



2014

**Торфяники Западной Сибири
и цикл углерода:
прошлое и настоящее**

**West Siberian Peatlands
and Carbon Cycle:
Past and Present**

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск
Институт лесоведения РАН, Москва
Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск
Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск
Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

ТОРФЯНИКИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ЦИКЛ УГЛЕРОДА: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

МАТЕРИАЛЫ

**Четвёртого Международного полевого симпозиума,
Новосибирск, 4 – 17 августа 2014 г.**

Ответственные редакторы:
профессор, доктор биологических наук А.А. Титлянова
профессор, доктор биологических наук М.И. Дергачёва

Издательство Томского университета
2014

УДК 551.510+556.5+574+631.4+550.47

Т 59

Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Четвёртого Международного полевого симпозиума (Новосибирск, 4–17 августа 2014) / под ред. проф., д-ра биол. наук А.А. Титляновой и проф., д-ра биол. наук М.И. Дергачёвой. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2014. – 380 с.

ISBN 978-5-7511-2279-9

Сборник содержит материалы IV Международного полевого симпозиума «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее». Опубликованные материалы охватывают разнообразные области болотоведения и смежных с ним дисциплин. Рассматриваются вопросы биоразнообразия флоры и фауны болот, биогеохимии и круговорота углерода в болотных экосистемах, а также обсуждаются проблемы генезиса, палеоэкологии и эволюции болот. Отдельно в сборнике освещена тема антропогенного воздействия и охраны болот.

Для широкого круга специалистов, работающих в области болотоведения, биогеохимии, экологии, почвоведения, охраны природы, рационального использования ресурсов, а также студентов и преподавателей вузов.

Организационная и финансовая поддержка:

1. ОАО «Новосибирскнефтегаз».
2. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 69 «Интегрированные исследования климатических, гидрологических и экосистемных процессов на территории болот Западной Сибири».
3. Международный проект «Биогеохимические циклы Арктических болотно-озерных ландшафтов Западной Сибири как индикатор климатических изменений глобального масштаба и основа для рационального природопользования региона (BIO-GEO-CLIM)».
4. Российский фонд фундаментальных исследований (Грант № 14-35-10006 мол_г).

ISBN 978-5-7511-2279-9

© Авторы, текст, 2014

© ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 2014

Сборник включен в систему РИНЦ (www.elibrary.ru)

Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Novosibirsk
National Research Tomsk State University
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk
Institute of Forest Science RAS, Moscow
Yugra State University, Khanty-Mansiysk
Institute of Biology, Karelian Research Centre, Petrozavodsk
V.L. Komarov Botanical Institute, St-Petersburg

WEST SIBERIAN PEATLANDS AND CARBON CYCLE: PAST AND PRESENT

PROCEEDINGS
of the Fourth International Field Symposium
Novosibirsk, August 4 - 17, 2014

Edited by
Professor A.A. Titlyanova
Professor M.I. Dergacheva

Publishing house of Tomsk University
2014

UDK 551.510+556.5+574+631.4+550.47

West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: past and present: Proceedings of the Fourth International Field Symposium (Novosibirsk, August 4–17, 2014) / Ed. by Prof. A.A. Titlyanova and Prof. M.I. Dergacheva/ Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 2014. – 380 p.

ISBN 978-5-7511-2279-9

The book contains proceedings of the Fourth International Field Symposium “West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present”. Published abstracts and papers cover diverse areas of mire study and allied disciplines. The issues of biodiversity of mire flora and fauna, biogeochemistry and carbon cycling in wetlands as well as problems of the mire genesis, evolution and paleoecology are considered. One of the main questions is the topic of human impacts and mire conservation.

Proceedings of the symposium are of interest for researchers of mire study, biogeochemistry, ecology, soil science, environmental protection, nature conservation.

Supported by:

1. JSC “Novosibirskneftegaz”.
2. Interdisciplinary integration project of SB RAS № 69 «Integrated study of climatic, hydrological and ecosystem processes in mires of Western Siberia».
3. International project «Biogeochemical cycles of Arctic wetlands of Western Siberia as an indicator of climate change on a global scale and the basis for environmental management in the region (BIO-GEO-CLIM)».
4. Russian Foundation for Basic Research (Grant # 14-35-10006 мол_г).

ISBN 978-5-7511-2279-9

© Авторы, текст, 2014

© ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 2014

Сборник включен в систему РИНЦ (www.elibrary.ru)

ВВЕДЕНИЕ

Среди наземных экосистем с избыточным увлажнением болотам принадлежит ключевая роль в динамике глобального цикла углерода. Они обладают способностью реагировать на изменения климата, сохраняя в торфе историю этих изменений. Аккумулируя углерод при непосредственном газообмене с атмосферой, они оказывают громадное влияние на содержание углеродсодержащих газов в атмосфере, и следовательно на климатические характеристики природной среды. В свою очередь изменения климата обуславливают существенные изменения в режиме функционирования болот. Эта взаимообусловленность предопределяет актуальность всестороннего анализа функционирования болотных экосистем при возможных ожидаемых или уже происходящих изменениях климата на планете. В аспекте указанной взаимозависимости значение разносторонних исследований болотных систем Западно-Сибирской равнины трудно переоценить. Она обладает широким разнообразием экологической приуроченности болот и охватывают целый спектр географических широтных поясов – тундру и лесотундру, все подзоны тайги, зону степи, охватывающих область вечной мерзлоты и внемерзлотную область. Исследования в контрастных болотных экосистемах позволяют выявить различия в режимах их функционирования и провести сравнительный анализ этих режимов.

Большое значение полученных характеристик функционирования болот Западной Сибири в решении современных и предстоящих экологических, ландшафтно-климатических, и социально-экономических проблем, с которыми сталкивается человечество, предопределило интерес, вызванный данным симпозиумом, и широкий спектр тематики представленных сообщений. В докладах затронуты вопросы истории возникновения и развития болот Западной Сибири, реконструкции палеоклимата, особенности формирования растительности и почв, оценки продуктивности экосистем и баланса углерода, эмиссии метана, роль антропогенных факторов в современном состоянии болотных систем. Наряду с большой серией докладов, посвященных Западно-Сибирскому региону, в программе симпозиума представлены доклады, содержащие результаты исследования болот и территорий с избыточным увлажнением в соседних регионах и странах Европы.

Международный полевой симпозиум «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее» призван внести свою лепту в решение насущных экологических проблем переувлажненных территорий. Учёные России, Белоруссии, Украины, Литвы, Польши, Венгрии, Нидерландов, Франции и Великобритании представят результаты своих научных исследований, что, несомненно, послужит углублению понимания механизмов болотобразовательных процессов.

Проведение очередного обсуждения современных экологических процессов в глобальном аспекте чрезвычайно актуально. Новые подходы и новые данные позволяют глубже понять природу происходящих изменений природы, уточнить роль в них человека, заложить более достоверные научные знания в основу принимаемых политических и хозяйственных решений. В качестве организаторов симпозиума выступили такие научные организации, как институты Сибирского отделения Российской академии наук, Томский государственный университет, Югорский государственный университет.

Совместное обсуждение рассматриваемых на симпозиуме проблем будет способствовать не только обмену данными, их сравнительному анализу, но и укреплению кооперации в исследованиях. Надеемся на плодотворность предстоящих дискуссий на пленарном и секционных заседаниях.

Н.П. Миронычева-Токарева

**ОБЗОР ДОКЛАДОВ,
представленных на заседаниях
Четвёртого Международного полевого симпозиума
«Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее»**

Как всегда, программа совещательной части Симпозиума была так же разностороння и многообразна, как многообразен предмет изучения болота. С большим трудом Оргкомитету удалось разделить 125 поступивших докладов на четыре секции: 1. Биоразнообразие флоры и фауны болот, биогеохимия, разнообразие и развитие болотных комплексов. 2. Круговорот углерода в болотных экосистемах: запасы фитомассы и первичная продукция, накопление углерода, процессы разложения, эмиссия парниковых газов. 3. Генезис, палеоэкология и эволюция болотных экосистем. 4. Хозяйственные воздействия на болота: мелиорация, технологии рекультивации, охрана болот и болотных территорий.

Только секция «Круговорот углерода» имела очерченные самим круговоротом рамки. Доклады же первой и третьей секции крайне разнообразны по предмету исследования, методам и результатам. В докладах, относящихся к направлению «Биоразнообразие» рассматривается разнообразие насекомых, раковинных амеб, диатомовых водорослей, мхов, высших растений, структур растительного покрова и отражение «живого» в торфе. В данном разделе привлекает внимание статья М.Я. Войтехова из г. Талдома Московской области. Им показано существование двух групп растений олиготрофных болот, которые отличаются по типу адаптации к олиготрофным условиям.

Растения первой группы перемещаются вслед за нарастающим сфагновым ковром целиком: чем выше нарастает сфагновый покров, тем выше с каждым годом закладываются у трав и кустарничков почки возобновления и новые придаточные корни, а погребенные части постепенно отмирают. Вторая группа видов использует другой способ сосуществования со сфагнами: их подземные органы проникают глубоко (на глубины до одного метра) за пределы деятельного горизонта торфа и обеспечивают минеральное питание фотосинтезирующих надземных органов, которые нарастают вместе со сфагновым ковром. Потребление минеральных элементов питания происходит в «богатых» слоях торфа или в подстилающих породах. Виды второй группы являются видами эвтрофных или мезотрофных болот. Их вегетативные клоны способны выжить после погребения мезотрофных и эвтрофных торфов олиготрофными и перехода болот в олиготрофную стадию развития. Поистине у Природы есть «тысячи мелких хитростей», о которых мы чаще всего ничего не знаем.

В настоящее время широко применяется дистанционное зондирование Земли и ГИС технологии для характеристики внешних границ болотных комплексов, их протяженности и площадей. В качестве источников дополнительной информации привлекаются полевые материалы, топографические карты различного масштаба, схемы районирования и т.д. Так, были изучены ландшафты Большого Васюганского болота (А.Е. Березин и др.); пространственные структуры болот национального парка «Водлозерский» (Антипин В.К.); картирование изолированных болот Обь-Томского водораздела (совместная работа сотрудников Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и Агентства охраны окружающей среды, США); вертикальное движение грунта в Якутии (совместная работа ученых Франции, Германии и России); гидрологический режим Сибирских болот (совместная работа ученых Франции и России) и др. С применением remote sensing and ground penetration radar работают и международные и русские коллективы. Именно в данном направлении особенно высока роль международного сотрудничества.

Около десяти работ первой секции посвящены геохимии и биохимии торфов и болотных вод. Рассматриваются миграция тяжелых металлов и их содержание в растениях. Показано, что в результате антропогенных воздействий изменяется миграционная способность тяжелых металлов (Е.С. Иванова), в растениях повышается содержание свинца, а при наложении двух или трех воздействий (например, пожар и близость автодороги) эффект усиливается (Л.П. Гашкова).

Применение современных хроматомасс-спектрометров, хроматографов, спектрофотометров и других анализирующих приборов с высокой разрешающей способностью позволило ученым проводить массовые анализы органических соединений, в том числе ферментов. В настоящий момент идет накопление фактического материала. Так, в работе О.В. Серебрянниковой с соавторами установлено содержание в верховых торфах одного болота 52 органических соединения. Обилие выявленных

соединений пока затрудняет выделение характерных биохимических свойств различных торфов. Вероятно, лишь продолжение работ в данном направлении, создание соответствующих баз данных и разработка особых компьютерных программ позволят выделить особенности (качественные и количественные) наборов органических соединений для разных торфов и сопоставить их с различными типами болот и растений–торфообразователей. Примером такого продвижения является работа тех же авторов (Серебренникова и др.) «Эволюция молекулярного состава липидов болотных растений в процессе торфообразования».

Развиваются работы в области ферментативной активности торфов. В этом направлении успешно работают польские ученые под руководством доктора L.W. Szajdak, Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences.

Разнообразие тематик докладов, представленных на заседаниях первой секции, отражает разнообразие как поставленных научных задач, так и свойств изучаемых объектов.

Гораздо компактнее выглядит тематика второй секции, так как представленные в ней сообщения объединены одной темой – круговоротом углерода. Половина докладов посвящено газообмену между атмосферой и почвой. В работе А.Г. Молчанова рассмотрена зависимость газообмена от уровня почвенно-грунтовых вод и показано, что в заболоченном сосняке нетто–продукция составляет 76 кг $\text{CO}_2/\text{га}$ в день. При этом половину продукции обеспечивает сфагнум, другую половину – хвоя сосны. При опускании уровня грунтовых вод нетто–продукция уменьшается, при УПГВ = 43 см величина продукции становится отрицательной, т.е. выделение CO_2 превышает его поглощение.

Три доклада представлены сотрудниками Института биологии Коми. Один доклад (С.В. Загирова, О.А. Михайлов) посвящен потокам CO_2 , два – потокам метана. На мезоолиготрофном болоте выделение CO_2 с поверхности болота весной превышало сток. Переключение на сток происходит очень быстро в мае. Обратный переход от стока к эмиссии зарегистрирован в сентябре. Переключение со стока на эмиссию и обратно связан с изменением температуры воздуха. В работе М.Н. Мигловца приведены величины количества эмитируемого метана (в г CH_4) с поверхности олиготрофных и мезотрофных болот. В докладе М.Д. Сивкова и Е.Н. Патовой рассматриваются удельные потоки метана ($\text{г}/\text{м}^2$ за сезон) в бесснежный и снежный периоды, оцененные в различные по погодным условиям годы. Доля эмиссии в снежные периоды составляла от 9 до 19% от годового потока. В годы с высоким УГВ динамика потоков метана хорошо описывалась экспоненциальной зависимостью от температуры торфа на глубине 30 см.

Величины эмиссии метана из тундровых болот и озер даны в работах В.С. Казанцева и Л.Л. Голубятникова. На основе измерений и проведенных расчетов оценен годовой поток метана в атмосферу с заболоченной территории тундровой зоны Западной Сибири (0,1 Гт CH_4), что составляет около 3% региональной эмиссии метана Западной Сибири.

Оценка эмиссии и поглощения CH_4 почвами России при помощи простейших математических моделей проведена М.В. Глаголевым с соавторами. Главный вывод: первоначальные (начало – середина 90-х годов) оценки эмиссии метана из почв России сильно колебались, вероятно, из-за недостатка экспериментальных данных. Ныне они стабилизировались на уровне 10,5–17,6 Мт $\text{C}/\text{год}$, что говорит об улучшении техники измерений и увеличении количества измерений.

Роль экстремальных погодных явлений в CO_2 –обмене между атмосферой и лесами рассмотрена в работе А.Ю. Курбатовой с соавторами. Экстремальное понижение температуры воздуха и изменения условий увлажнения влияют на интенсивность потока CO_2 и могут менять его знак (фитоценоз + почва ↔ атмосфера).

Польские ученые из Университета города Лодзь представили две работы об обменных процессах парниковых газов на болотах. Они сравнили данные, получаемые методами камер и методом eddy covariance и пришли к выводу, что второй метод более результативен, так как с его помощью можно оценить турбулентные потоки парниковых газов, что особенно важно для метана.

В целом можно сказать, что оценка интенсивности потоков CO_2 и CH_4 достигла такой надежности, при которой можно рассчитать эмиссию и сток газов для больших территорий вплоть до площади всей суши Земли.

За эти же последние 10 лет надежных данных о продуктивности болот и процессах разложения растительных остатков и торфа практически не прибавилось. Из 28 анализируемых работ секции «Круговорот углерода» лишь 6 посвящены продуктивности болот или продуктивности отдельных компонентов болотного фитоценоза. В работах, оценивающих годичный прирост сфагновых мхов,

рассматривается либо только линейный прирост (С.И. Грабовик), либо продукция отдельных видов сфагновых мхов, рассчитанная по линейному приросту (Н.П. Косых и др.). В этом же докладе показана зависимость между линейным приростом сфагновых мхов и их продукцией. Однако, сфагновые мхи важный, но не единственный компонент болотного сообщества. Н.Г. Коронатовой и Н.П. Косых проведено сравнение запасов и чистой первичной продукции древесного и мохово-травяно-кустарничкового ярусов в пяти олиготрофных болотах. Оценена полная продукция (надземная и подземная), что делается исследователями чрезвычайно редко. Показано, что ANP (надземная продукция) меняется от 270 до 380 г/м²-год, в то время как подземная (BNP) варьируется от 280 до 600 г/м²-год. Следовательно, при определении величины ANP исследователи оценивают лишь 40-50% от полной продукции (NPP).

Полная продукция оценивалась Т.А. Коптевой и В.А. Купцовой для торфяных болот в разных условиях увлажнения, а также при восстановлении болотных фитоценозов после пожаров. В одном случае авторы определяли величины ANP и BNP, в другом приняли BNP равной 66% от NPP. На неосушенном участке (экспериментальная оценка) ANP и BNP имели почти равные величины, на мелиорированном ANP превышает BNP за счет продукции сфагновых мхов.

Всего в двух работах имеются данные о динамике микробной биомассы в болотных экосистемах. В одной из них (авторы – М.А. Сергеева, Л.И. Инишева, Г.В. Ларина) представлена динамика численности бактерий, грибных спор и длины актиномицетного и грибного мицелия в болотах Горного Алтая. Фиксированная динамика обилия тех или иных групп микробного комплекса интересна сама по себе, но связать ее с газовым режимом торфяной залежи пока не представляется возможным. Во второй работе рассматривается связь состава фитоценоза и микробиальной активности (Булавко Г.И., Яковлев А.П. – Центральный ботанический сад НАН Беларуси). Показано, что растения меняют характер сезонной динамики активности микроорганизмов.

По сравнению с работами, посвященными продукционному процессу, работ, относящихся к деструкционным процессам еще меньше. В одной из них (Л.Г. Никонова, Е.А. Головацкая) изучалась скорость разложения растительных остатков в торфяной залежи олиготрофного болота; в другой (А.А. Титляновас соавторами) – минерализация торфа в переходном болоте; в третьей коллективом ученых из University of Abertay Dundee (В. Foereid) и Югорского государственного университета (Е.А. Заров, И.В. Филиппов, Е.Д. Лапшина) оценивалось влияние солнечной радиации на разложение торфа.

Почему работ, оценивающих продуктивность болотных фитоценозов, активность микроорганизмов и процессы разложения растительных остатков и торфа, так мало по сравнению с работами, посвященных потокам газов? Вероятно причина в том, что первые требуют непосредственной и утомительной работы руками в поле и в лаборатории, вторые основываются на измерении потоков газов приборами. Будем надеяться, что работу, связанную с продукционно-деструкционными процессами, будут выполнять тоже приборы. Вопрос: когда?

Доклады четвертой секции посвящены анализу антропогенного влияния на болота, рекультивации нарушенных земель и охране болотных экосистем (26 работ). Исследовались динамика возникновения торфяных пожаров в Томской области (И.Р. Хахимов, А.А. Синюткина), влияние огня на групповой состав органических веществ осушенных торфяных почв (И.А. Бадмажапова, А.Б. Гынинова), изменение после пожара населения птиц водно-болотных угодий (О.С. Носкова и др.), описывается новый способ локализации пожаров (А.М. Ерицов). В последней работе приведены статистические данные о пожарах в Европейской части России в 2010 году, когда был зарегистрирован самый засушливый лесопожарный сезон. Отсутствие осадков и сильный ветер позволили огню выйти из-под контроля, в связи с чем было зарегистрировано 32 тысячи пожаров, которые захватили 2,3 млн. га лесного фонда. Рассматриваются различные техники тушения торфяных пожаров и предлагается новый метод тушения, основанный на создании вертикальной преграды продвижению кромки пожара. В работе И.Р. Хахимова и А.А. Синюткиной показано, что большая часть пожаров происходит на наиболее освоенных и заселенных территориях.

В заповеднике Кержинский (Заволжье) выгорание растительности привело вначале к снижению населения птиц, однако позже увеличение мозаичности ландшафта способствовало росту обилия видового богатства и разнообразия орнито-комплексов.

Влияние гидрологических условий, пересечение естественных водотоков линиями автомобильных и железных дорог, воздействие водозаборов – рассматриваются в шести работах. Хочется отметить две из них: Н.А. Черновой и Н.Н. Пологовой о трансформации болотных экосистем под

влиянием Томского водозабора. Длительная эксплуатация крупнейшего в России водозабора, продолжающаяся уже около пятидесяти лет, и значительные объемы водоотбора (220 тыс. м³/сут) из подземного водоносного слоя привели к изменению уровня грунтовых вод, к обсыханию территории болотных экосистем и усилению лесообразовательного процесса – увеличению количества подроста в рядах и формированию молодых древостоев в бывших топях. Очень интересен доклад Л.Н. Лученок и Э.Н. Шкутова (Беларусь). В работе представлены результаты наблюдений за трансформацией торфяных почв и их ОВ на объектах, осушенных более 40–45 лет назад. Материалы по агроторфяным староосушенным почвам очень интересны, доклад стоит прослушать или прочесть в данном сборнике.

Далее следуют работы о влиянии разнообразных антропогенных воздействий (пожары, мелиорация, добыча нефти, торфоразработки, рекультивация) на флору и фауну болотных комплексов. Показано на примере болот природного парка «Кондинские озера» (левобережье Р. Конда, подзона средней тайги), что антропогенное освоение территории приводит к «унификации» флоры и растительности нарушенных территорий. Облик и строение антропогенно нарушенных сообществ определяются сравнительно небольшим числом пионерных видов. Однако за 13 лет антропогенного воздействия полноценные растительные сообщества не сложились, и можно говорить лишь о микрогруппировках растительности (Н.Н. Коротких, Т.Л. Беспалова, Т.В. Попова).

За осушением болот обычно следуют торфодобыча и пожары. При осушении болот низинного типа изменяются запас надземной фитомассы и видовой состав растительного покрова: исчезает кустарниковый ярус, уменьшается количество мхов, увеличивается фитомасса травяного и древесного ярусов (А.А. Синюткина, Л.П. Гашкова).

В статье венгерских ученых (S. Czóbel et al.) описываются болота Венгрии, которые характеризуются малыми размерами и активным воздействием на них человека. Изменение макроклиматических условий, даже если они будут не велики (небольшой подъем температуры и небольшое уменьшение осадков) могут инициировать существенные изменения в этих малых и разрозненных болотных экосистемах. Может произойти деградация, изменение распределения растений и животных, потеря биоразнообразия и т.д.

А.П. Яковлев (Беларусь) поднимает вопрос о биосферносовместимой технологии рекультивации выработанных торфяных месторождений. По мнению автора наиболее приемлемым вариантом рекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси является фиторекультивация на основе создания культурных фитоценозов болотных ягодных растений – клюквы и голубики. При их рекультивировании предотвращается пересыхание поверхности залежи, происходит ослабление ветровой эрозии, не меняется направление естественного хода сукцессии.

В докладе С.Э. Вомперского с соавторами рассматривается изменение запаса ОВ в торфянистом горизонте А_т заболоченных лесов в естественных условиях и при поверхностном осушении. Результаты длительных наблюдений показали, что при малых уклонах поверхности почвы за последние два-три десятилетия произошло заболачивание ельников. Запас ОВ в горизонте А_т увеличивался со скоростью 22–68 г/м² в год. При больших уклонах поверхности увеличения заболачивания не произошло, что свидетельствует о наличии процессов: заболачивание ↔ разболачивание. Большой прирост ОВ (включая очес) – 255 г/м² в год обнаружен после пожара в заболоченных долгомошных сосняках. Поверхностное осушение заболоченных лесов в большинстве случаев снижало запас ОВ в торфянистом горизонте со средней скоростью 32–46 г/м² в год. Гидролесомелиорация уменьшала исходный слой торфа А_т во всех типах леса на 27–49%. Полученные результаты свидетельствуют о быстрой и обратимой динамике торфообразования, а, следовательно, о быстрой смене в меняющихся условиях процесса заболачивания процессом разболачивания и обратно.

Очень мало работ посвящено охране болот – всего две. Уже это мизерное количество указывает на то, что с охраной болот далеко не всё благополучно. Текст доклада Е.И. Ковалевой и А.С. Яковлева показывает, что мы не имеем не только закона, и но и нормативных актов, регулирующих охрану. Так, согласно цитируемому докладу, Земельный кодекс РФ, статья 102 относит земли, покрытые поверхностными водами, к категории земель водного фонда. На практике значительные площади земель, покрытых болотами, не переведены в категорию земель водного фонда и не попадают под охрану, установленную для земель водного фонда. Далее авторы рассматривают положение дел с нормативами качества окружающей среды. На сегодняшний день нормативы разработаны на ряд веществ в почвах в части санитарно-гигиенического нормирования и отсутствуют в части

экологического нормирования. Не буду повторять текст доклада, его письменный вариант необходимо прочесть каждому, занимающемуся исследованием болотных комплексов.

Секция «Генезис, палеоэкология и эволюция болотных экосистем» представлена 21 докладом, в которых на материалах изучения конкретных болотных массивов рассматривается широкий круг вопросов, связанных с генезисом, экологией, динамикой и эволюцией болотных экосистем в позднплейстоцен-голоценовое время.

Так, в двух статьях Т.А. Бляхарчук с соавторами описывается динамика растительного покрова и климатической обстановки, а также анализируется изменение увлажненности и болотного местообитания за последние 4000 лет в южнотаежной зоне центрального сектора Западно-Сибирской равнины на примере изолированного болотного массива «Круглое» олиготрофной сосново-кустарничково-сфагновой фации. На основе анализа палинологических спектров дается поэтапная характеристика смены растительного покрова и климатической обстановки, в котором он мог формироваться (Т.А. Бляхарчук, Н.Н. Пологова). Изучение этого объекта позволило авторам (Т.А. Бляхарчук, И.В. Курьина, Н.Н. Пологова, Н.А. Чернова) подтвердить гипотезу асинхронности вековой ритмики увлажненности в лесной и степной зонах Западной Сибири.

Генезис и палеоэкология болот в голоцене на северо-западе Кондинской низменности в Западной Сибири рассматривается Т.Г. Антипиной и Н.К. Пановой из Ботанического сада УрО РАН на примере двух торфяников: вблизи археологического памятника – поселения Большая Умытья 69 и у озера Арантур. Исследования торфяников проводились в рамках проведения разведки торфяниковых археологических памятников. По результатам палинологического и ботанического анализа отложений авторами реконструированы смены растительности, болотообразовательного процесса и природных условий, судя по имеющимся радиоуглеродным датам, за последние 5,5 тыс. лет.

М.М. Адаменко и Я.М. Гутак из Новокузнецка представили новые данные об эволюции торфяных болот Кузнецкого Алатау в голоцене, рассмотрев структуру торфяных толщ высокогорных болот Тигертышского горного узла. Авторы подчеркнули, что полевые исследования показывают тесную взаимосвязь зависимости распространения болот, истории их развития и структуры торфяных залежей с гляциальной историей района, в то же время полученные данные свидетельствуют об отсутствии генетической связи формирования болот с существовавшими в прошлом здесь озерами. В статье дается также анализ изменения климатических обстановок за последние примерно 8000 лет и подчеркивается, что современные процессы торфообразования в Кузнецком Алатау начались около 5000 лет назад, поскольку датировка нижней границы слоя торфяника показывает возраст 5200 ± 85 лет.

Польские исследователи Sławomir Żurek и Marek Kloss описали 8 стадий развития одного из болотных фрагментов долины Бебжа, на основе анализа торфяной (более, чем 4-х метровой) толщи. Каждой из стадий дается приуроченность к глубине торфяного отложения и временные привязки в виде радиоуглеродных дат или периодов голоцена.

Ю.И. Прейс на основе анализа нарушений в закономерностях эндогенного развития болот, синхронных уже установленным глобальным или региональным климатическим сигналам, представила детальную реконструкцию динамики растительных сообществ, водных режимов и торфонакопления в контексте климатических изменений на протяжении среднего и верхнего голоцена. Автором сделан вывод о том, что в средней тайге Западной Сибири, в связи со значительными неоднократными нарушениями эндогенного развития болот криогенными процессами в периоды сухих похолоданий голоцена, получить наиболее объективные детальные реконструкции изменения их функционального состояния возможно лишь при учете прекращения аккумуляции торфа.

Большой ряд докладов посвящен характеристике торфяных толщ, охватывающих разные временные отрезки голоцена, имеющих разную географическую приуроченность и широту охвата проблемы.

Так, Dominik Pawłowski посвятил свое сообщение остаткам *Cladocera* в болотных отложениях в долине реки Grabia (Центральная Польша), Marianna Molnár, Zsófia Medzihradzky, Attila Barczy и Szilárd Czóbel предложили вниманию коллег предварительные результаты реконструкции растительности на основе анализа пыльцы в отложениях бассейна Sárrét в западной Венгрии, Ferenc Gyulai, Csaba Gyuricza, Patrícia Pósa – исследователи, как и предыдущие, представляющие Венгерскую науку – посвятили свое сообщение археобиологическим макроостаткам бывшего болота в окрестностях озера Балатон, существование которого относится к периоду со второй половины 7 века до конца 9 века, с целью решения длительной дискуссии об уровне воды в озере Балатон в предшествующие

современному периоду, а работа А.В. Гренадеровой и А.Б. Родионовой из России представляет разностороннюю характеристику торфяных болот северной лесостепи Приенисейской Сибири. Авторы последней статьи делают вывод о том, что болотные ландшафты лесостепных зон европейской части России, Западной Сибири и Красноярского края имеют общую особенность – примерно одинаковое время начала заболачивания – не ранее позднеатлантического периода; на территории Канской лесостепи торфонакопление началось в позднесуббореальное время около 3000 лет назад, средняя скорость торфонакопления составила 0,4 мм/год.

Комплексный анализ стратиграфии торфяной залежи, радиоуглеродное датирование торфа по ^{14}C позволило Л.В. Карпенко реконструировать генезис, возраст и историю развития болот северной части Сым-Дубческого междуречья на территории, как и в предыдущем случае, Красноярского края. Проведенные исследования позволили автору сделать ряд важных выводов, среди которых временное соотнесение начала болотообразования в северной части междуречья Сым-Дубчес (середина атлантического периода, около 6 тыс. л. н.), представление о том, что заболачивание изученной территории началось путем зарастания мелководного водоема или старицы евтрофными травяно- и осоково-сфагновыми фитоценозами, а также о средней скорости торфонакопления в разные периоды голоцена. Автор подчеркивает, что низинная стадия развития болота продолжалась длительный период – 2520 лет, а скорость торфонакопления в это время была относительно невысокой – 0,39 мм/год, тогда как остальные стадии с более высокой скоростью накопления торфа были существенно короче.

Развитию болот на территории северо-восточной Польши за период с момента последнего оледенения посвящен анализ изменений флоры и растительности в работе Danuta Drzymulska. В датированных по ^{14}C образцах торфа определены остатки 116 различных таксонов растений, которые позволили дать количественные представления об основных типах растительности и ее смене в послеледниковье.

И, наконец, хотелось бы отметить еще две статьи, посвященные оценке новых методических подходов к решению вопросов генезиса, отражения, моделирования и обоснования прогнозов поведения болот в меняющейся природной обстановке. Так, М.Г. Магур обсуждает возможности использования изотопного изучения *Sphagnum fuscum* (schimp.) Klinggg. для решения вышеназванных задач, а М.А. Климин предлагает для получения наиболее полной картины функционирования торфяников использовать пигментный профиль торфяных отложений, и в связи с этим описывает механизм формирования пигментных профилей в разных природных условиях.

В заключении можно сказать, что наблюдаемые в последнее десятилетие высокие темпы глобальных изменений климатических характеристик наземных экосистем вызвали громадный всплеск интереса к изучению болотных ландшафтов. Возросшая сеть научных наблюдений фиксирует разнообразные проявления глобальных изменений природной среды главным образом с негативных позиций. Важно понять, в какой степени современные изменения климата связаны с функционированием болотных экосистем. Новые подходы, новые данные позволят глубже понять природу происходящих изменений и заложить более достоверные научные знания в основу принимаемых хозяйственных решений.

А.А. Титлянова, М.И. Дергачева
Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОЛЕВЫЕ СИМПОЗИУМЫ ПО ТОРФЯНИКАМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ (2001, 2007, 2011 гг.)
WEST SIBERIAN PEATLANDS: ANALYSIS AND VISUALISATION OF PROCEEDINGS OF THREE INTERNATIONAL SYMPOSIA (2001, 2007, 2011)

В.В. Рыкова
V.V. Rykova

Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН, Новосибирск, Россия
 State Public Scientific Technological Library SB RAS, Novosibirsk, Russia
 E-mail: onbryk@spsl.nsc.ru

Одной из главнейших региональных проблем Западной Сибири является ее заболачивание, где площадь болот в отдельных районах достигает до 90%. «Мировой природный феномен» заболоченности Западно-Сибирской равнины (Нейштадт, 1971) привлекает внимание ученых и специалистов разных специальностей: экологов, географов, почвоведов, геологов, гидрологов, геоботаников. Значимую роль в обмене информацией между учеными и специалистами не только на региональном, но и на международном уровне играют конференции, а их материалы позволяют судить о состоянии современных научных и прикладных исследований. Необходимо отметить, что в данном регионе регулярно проводятся совещания и конференции, касающиеся вопросов изучения природных ресурсов болот и их освоения. Особое место среди них занимают Международные полевые симпозиумы «Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Ноябрьск, 2001 г.; Ханты-Мансийск, 2007, 2011 гг.), которые проводятся на постоянной основе с начала нынешнего столетия, собирая ведущих исследователей-болотоведов со всего мира. Обсуждение проблем круговорота углерода, биоразнообразия и охраны болотных экосистем, антропогенного влияния на них не ограничиваются рамками только Западной Сибири и Российской Федерации, региональный охват материалов исследований, представленных на симпозиумах весьма широк – Анды, Южная Африка, Австралия, Северная Америка, страны зарубежной Европы.



Рис. 1. Количественная характеристика трудов симпозиумов 2001, 2007, 2011 гг.

В данной работе сделана попытка статистического анализа материалов вышеназванных конференций, визуализированного в графиках, таблицах, схемах.

Количество публикаций, авторов, принимающих участие в их написании, научных учреждений и стран, которые они представляют, неуклонно возрастает от 2001 к 2011 гг., что является свидетельством растущего интереса к конференциям со стороны ученых и специалистов (Табл. 1, рис. 1). Если в 2001 г. преобладали работы на английском языке, то в 2007, 2011 гг. большая часть работ - русскоязычные.

Как видно из табл. 1 в каждой конференции принимали участие представители десяти-пятнадцати стран, в общей сложности материалы конференций включают работы ученых из 19 государств (Табл. 2).

Таблица 1. Количественная характеристика трудов симпозиумов по годам

Общее количество	2001	2007	2011
Статей	82	79	95
в т.ч. на русском языке	12	54	76
на английском языке	70	25	19
Авторов	134	154	186
в т.ч. российских	95	98	129
иностраннных	39	56	57
Научных учреждений	46	63	86
Стран участниц	10	11	15

Таблица 2. Представительство авторов из разных стран в трудах симпозиумов

№	Страна	2001	2007	2011
1	Австралия	+		
2	Бельгия			+
3	Беларусь	+		+
4	Великобритания		+	+
5	Венгрия		+	
6	Германия	+	+	+
7	Канада	+		+
8	Нидерланды	+	+	+
9	Польша		+	
10	Россия	+	+	+
11	Словакия			+
12	США	+	+	+
13	Украина			+
14	Финляндия	+	+	
15	Франция			+
16	Чехия	+	+	+
17	Эстония		+	
18	ЮАР			+
19	Япония	+	+	



Рис. 2. Региональный охват материалов конференций

Авторы с наивысшей публикационной активностью в рамках полевых симпозиумов представлены в табл. 3 (за минимальный порог ранжирования принято 5 работ). Следует отметить, что 36 ученых и специалистов присылали свои работы на вышеозначенные конференции дважды, а 21 – трижды.

Распределение публикаций по регионам исследований показано на рис. 2, с безусловным преобладанием материалов по Западной Сибири, где активно ведутся работы по различным аспектам исследований болотных экосистем академическими, научно-исследовательскими учреждениями и высшими учебными заведениями: Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск), Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск), СибНИИ рационального природопользования (Нижевартовск), СибНИИ сельского хозяйства и торфа СО РАСХН (Томск), Томский, Югорский, Тюменский государственные университеты и др.

Значительный массив документов составляют работы, отражающие результаты изучения европейских болот, как российских так и зарубежных.

Количество секций менялось от симпозиума к симпозиуму: 2001 г. – 4, 2007 г. – 5, 2011 г. – 3, их тематика показана на рис. 3. Основные проблемы, обсуждаемые на симпозиумах – эволюция торфяников, биоразнообразие компонентов болотных экосистем, круговорот углерода, антропогенное воздействие и мероприятия по охране и рекультивации болот. В заключение следует отметить, что тираж охарактеризованных изданий невелик – 200 экземпляров. Поскольку материалы симпозиумов представляют интерес для широкого круга потребителей научной информации, хотелось бы получить возможность ознакомления с полными текстами статей для пользователей Интернета. Представление текстов публикаций в Научной электронной библиотеке (e-LIBRARY), на сайтах институтов – организаторов симпозиума, в полнотекстовой базе данных ГПНТБ СО РАН «Научные мероприятия РАН» будет полезно и авторам работ, так как это может способствовать повышению их индекса цитирования.

Таблица 3. Авторы с высокой публикационной активностью

ФИО	Кол-во публикаций	ФИО	Кол-во публикаций
Васильев С.В.	5	Миронычева-Токарева Н.П.	6
Лопатин К.И.	5	Мульдьяров Е.Я.	6
Сирин А.А.	5	Прейс Ю.И.	6
Филиппов И.В.	5	Кременецкий К.В.	7
Шнырев Н.А.	5	Панов В.В.	7
Grootjans A.	5	Bleuten W.	7
Vitt D.H.	5	Глаголев М.В.	8
Величко А.А.	6	Косых Н.П.	10
Головацкая Е.А.	6	Лапшина Е.Д.	17
Корнатов Н.Г.	6		



Рис. 3. Тематика секций по годам

1. Нейштадт М.И. Мировой природный феномен - заболоченность Западно-Сибирской равнины // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1971. – № 1. – С. 21-34.
2. Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее : материалы Междунар. полевого симп. (Ноябрьск, 18-22 авг. 2001 г.) / Под ред. С. В. Васильева, А. А. Титляновой, А. А. Величко. – Новосибирск, 2001. – 247 с.
3. Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Второго Междунар. полевого симп. (Ханты-Мансийск, 24 авг. – 2 сент. 2007 г.) / Под ред. С. Э. Вомперского. – Томск, 2007. – 174 с.
4. Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее : материалы Третьего Междунар. полевого симп. (Ханты-Мансийск, 24 июня – 5 июля 20011 г.) / Под ред. С.Э. Вомперского. – Новосибирск, 2011. – 214 с.

Section 1

**Biodiversity of Wetland Flora
and Fauna, Biogeochemistry,
Diversity and Development of
Wetland Complexes**

**Биоразнообразие флоры и
фауны болот, биогеохимия,
разнообразие и развитие
болотных комплексов**

SPATIAL DISTRIBUTION AND SYNOPTIC CONDITIONS OF SNOW ACCUMULATION AND SNOW ABLATION IN THE WEST SIBERIAN PLAINS

Ewa Bednorz¹, Joanna Wibig²

¹ Department of Climatology, Adam Mickiewicz University in Poznan, Poland

E-mail: ewabedno@amu.edu.pl

² Department of Meteorology and Climatology, University of Lodz, Poland

E-mail: zameteo@uni.lodz.pl

Spatial distribution and seasonal changes of snow accumulation and ablation in 20 stations located in the West Siberian Plains were analysed on the basis of BMDS (Baseline Meteorological Data in Siberia) version 5.0 dataset for the period 1978-2008. Mean duration of snow cover in the West Siberian Plains ranges from approximately eight months in the north to about five months in the south. Mean maximum depth of seasonal snow cover reaches values from below 30 cm to over 80 cm, depending on the region, and it may be observed in February, March or April. While the snowmelt period is usually very short and it lasts 1 month or sometimes 2 months (March-April or April-May), the accumulation of snow is noted for the most of the cold season.

Synoptic conditions of snow accumulation and ablation were considered in terms of sea level pressure (SLP) patterns, which determine the atmospheric circulation and the transport of air masses. Maps of circulation patterns responsible for snow

accumulation in the West Siberian Plains (composites and anomalies) were constructed for the days with intense snowfalls on the basis of NCEP/NCAR reanalysis data. Intense snowfalls are associated with negative anomalies of SLP. This means increased cyclonal activity over the analysed region. The snow-bringing-lows may origin from the North Atlantic and migrate east through the moderate zone cyclonal track; they may form locally; or – in the northernmost part of the analysed region – the low pressure systems may originate from the Arctic. Most pressure patterns causing snowfalls characterize with the Siberian High weaker than normal or shifted to the south.

Similar maps were constructed for the days with intense snowmelt. Much lower SLP anomalies occur during snow ablation. This suggests smaller influence of air circulation on snow cover reduction in spring and higher impact of insolation.

The work was supported by grant NCN nr 2011/01//B/st10/01923 founded by Polish National Science Centre.

THE EFFECT OF DRAINAGE ON PEATLAND IN ORGANIC SOIL PROPERTIES IN STOLOWE MOUNTAINS NATIONAL PARK (SUDETES)

Adam Bogacz*, Bartłomiej Glina, Katarzyna Januszewska, Anna Midor

Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Institute of Soil Science and Environmental Protection, Wrocław, Poland

*E-mail: adam.bogacz@up.wroc.pl

Materials and methods

The aim of this work was to determine the variability of properties of organic soils drained for forestry. Peat horizons were analyzed and classified by types - and species of peat. Ten profiles of shallow peat soils identified. Peat samples were collected from study areas using a 6.0 cm diameter Instorfu peat auger. Cores were taken to the depth where underlying mineral material was encountered. peat samples collected with ditches and areas between their. The cores were sectioned to subsamples at intervals at major stratigraphic breaks. Soil horizons were determined on the basis of color, degree of organic matter and decomposition. Some physical, chemical properties and botanical composition of peat were determined in this material. Peat humification degree was measured using two methods: SPEC method and half syringe method (Lynn et al., 1974), content was estimated by combusting the material in a muffle furnace at 500°C for 4 hours. The texture of mineral horizons was determined using the Bouyoucos hydrometer method (Gee, Bauder, 1986). The specific gravity (W) and bulk density (Z) of organic soils were calculated using the following formula's (Okruszko, 1971): $W=0.11A+1.451$, (1.451) represents the specific gravity of humus, $Z=0.004A+0.0913$, A is a ash content and constant (0.0913) represents the bulk density of humus. The following chemical properties of organic soil horizons were analyzed: content of total carbon and nitrogen, acidity in H_2O and 1mol dm^{-3} KCl and CECe in CH_3COONH_4 at pH 7. Base saturation (BS) of soil sorption complex was calculated. The soils were classified to reference groups in WRB 2007 Classification System.

Results

Investigation showed that organic soil developed on a sandy weathered sandstone base according to *oligotrophic* type of sites. Sometimes organic horizons were mixed with sand and separated by thin sandy layers. Those soils were classified as Fibric or Hemic Histosols Dystric. The throphism of organic soil in this object resulted from both natural factors and anthropo-pedogenesis. Many peatlands in the Stolowe Mountains National Park area were

drained for forestry before World War II. Several amelioration attempts were undertaken as early as in the nineteenth century. The system of ditches and forest roads were built on sandstone basement. The analysed peatland (Długie Mokradło Peatland) was located in the top plateau. The object is intensively (3x3m) cut by a melioration ditch. This ditch has been recently blocked (50 wood dams) to rewet the objects. Several forest roads pass in the close neighbourhood of investigated areas. In a biggest part of Długie Mokradło Peatlands, we can observe artificial spruce habitat. Soils represented ombrogenic type of hydrological conditions. In that site, an ombrogenic type of hydrological input is the predominant mechanism of soil evolution. The depth of organic horizons ranged from 40 to 60 cm. The object represented spruce forests habitat introduced by man. The process of forestry management changed morphological features of soils. Analysis of organic horizons showed that their specific gravity and bulk density were changed with depth. The values of bulk density of peatland soils are connected with the high ash content. Ash content was different in situated layers. Generally, the hummification process was higher intensified in upper soil horizons than in the deeper ones. This situation was influenced by trophical status of this soils. The pH of sand and peat layers in a Długie Mokradło Peatland was strongly acidic: The ratio C/N in organic horizons ranged between 20:1 to 40:1. Lower ratios of C/N in some upper horizons were probably caused by decomposition and mineralization of organic matter. Strongly acidic soil horizons usually exhibited high cation exchange capacity (CECe). In general, the base saturated (BS) did not exceed 50%.

Conclusions

Shallow organic soils occupy the ombrotrophic sites of a border part of Długie Mokradło Peatland. The little variety of organic soil throphism in the object resulted from the placement on the base sandstone, partial mixing of soil horizons. Peat horizons present in the studied profiles were classified as hemic and fibric, sometimes as sapric. Forest management changed the properties of organic soil in the drier part of observed areas.

1. Gee G.W., Bauder J.W. Particle-size analysis. *In: Methods of Analysis. Part I.* (Ed): Klute A. Agronomy series No. 9. Am. Soc. Agronomy Soil Sci. Am. Inc. Publ, Medison, WI. - 1986. - P.383-411.
2. Lynn W.C., Mckinzie W.E., Grossman R.B. Field laboratory tests for characterization of Histosols. *In: Histosols: Their Characteristics, Classification and Use.* (Ed.): Stelly M., SSSA Spec. Pub. 6 Medison, WI. - 1974. - P.11-20.
3. Okruszko H. Określenie ciężaru właściwego gleb hydrogenicznych na podstawie zawartości w nich części mineralnych. *Wiad. IMUZ*, 10, 1. - 1971. - P. 47-54.

MAPPING OF ISOLATED WETLANDS OF OB-TOM INTERFLUVE USING QUICKBIRD HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGES

КАРТИРОВАНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ БОЛОТ ОБЬ-ТОМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ QUICKBIRD ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

E.A. Dyukarev^{1}, B.B. Autrey^{2**}, A.G. Dyukarev¹, C.R. Lane²
E.A. Дюкарев^{1*}, Б. Аутрей^{2**}, А.Г. Дюкарев¹, Ч.Р. Лэйн²*

¹ Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

*E-mail: egor@imces.ru

² US Environmental Protection Agency, USA

**E-mail: Lane.Charles@epa.gov

Wetland ecosystems have an important role in the global balance of greenhouse gases. Through respiration and decomposition, wetland ecosystems both accept and release atmospheric carbon while accumulating a portion of it in peat organic matter. Changes in climatic and hydrological conditions caused by both anthropogenic and natural conditions may be influencing the carbon balance and converting bog ecosystems from carbon sinks into carbon sources. Small isolated peatlands that have many of the same properties as large bog ecosystems (e.g., vegetation cover, hydrological regime) may respond more quickly to climate changes and anthropogenic impacts. As a result, these small peatlands are well suited as, and can be used for, modeling and forecasting the long-term responses of large bog massifs to climate changes.

The study area is located in the South Taiga zone of West Siberia. A feature of the Ob–Tom interfluve are the high nonuniformity of the landscape structure (combination of old plains composed of loam and old drainage lines composed of sand deposits), significant anthropogenic and anthropogenic pressure on the environment. The environmental situation in the Ob–Tom' interfluve area is a result of a complex of transforming factors, including deforestation, land tillage, and bog reclamation, which occur against the background of climate variability. However, the most important factor is the development of the groundwater deposit. The Tomsk intake is a unique construction for Russia, which includes 177 linearly arranged wells. The water intake line is 54 km long. The total volume of the water intake is about 250 thous. m³ per day. Sequential installation of the water intake began in 1972, and since 1990, the intake has been the only source of drinking water for the city of Tomsk. During its operation, an extensive cone of depression has formed in aquifers, stretching from the Tom' River to the Ob River. For the first stage of the intake, the depth of drawdown of the aquifers reaches 9–10 m, and for individual wells, it is up to 15 m. The operation of the water intake structure for more than 35 years has led to

a change in the hydrogeological conditions, which affected the natural environment.

Using the remote sensing data for integrated study of natural objects is actual for investigation of difficult to access areas of West Siberia. Wetland structure can be recognized at space images due to specific texture of wetland vegetation and wetlands shape. Ground data on wetlands location and properties are increases the accuracy of wetland mapping. Maps of wetlands composed using satellite data can be used for estimation of areas occupied by different ecosystems and analyze disturbances in ecosystem functioning.

High-resolution QuickBird space images were collected for analysis of spatial structure of the forest-bog complexes at Ob-Tom interfluve area. QuickBird is a high-resolution commercial earth observation satellite, owned by DigitalGlobe and launched in 2001 as the first satellite in a constellation of three scheduled to be in orbit by 2008. The satellite collects panchromatic imagery at 60 centimeter resolution and multispectral imagery at 2.4- and 2.8-meter resolutions. At this resolution, detail such as buildings and other infrastructure are easily visible. Separate trees, small ponds and forest trails are visible at forest-bog complexes. Images were obtained from a web mapping service Bing Maps (<http://www.bing.com/maps>) provided as a part of Microsoft's Bing suite of search engines. Images at 17 level of magnification were joined and saved as a single image at SASPlanet software (<http://sasgis.ru>). The combined image was cut at 40 segments (11008x6937 pixels) to reduce size of a single image for processing. Central part of the area is presented by early spring satellite images. Snow patches are recognizable at open spaces within forest. Right and left parts of the area are covered by summer time images, and some amount of clouds exists at the left side.

Each of the 40 segments from was carefully examined and wetlands were manually delineated. Wetlands have clear visible signs at the high resolution space images. Light spots within dark forest

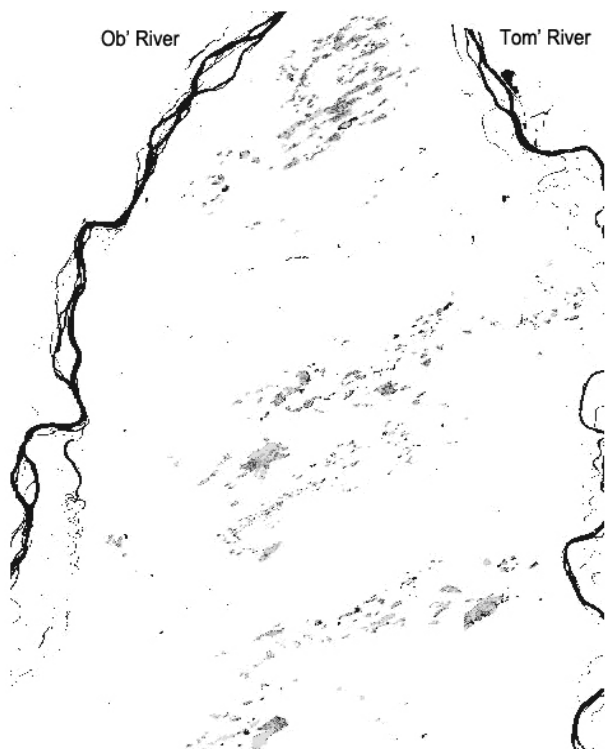


Fig. 1. Scheme of isolated wetlands of the Ob-Tom interfluvial area.

area usually related with open wetland or glade. Texture of forested wetland is finer than at mature pine forest due to smaller size of trees. Dark spots at light green (summer) of light brown (spring) areas can be identified as a very wet areas (fens) at open wetlands. Wetland edge is a sharp curve line usually.

Mapping of wetlands for the Ob-Tom interfluvial area allowed us to find 595 wetlands in total. Wetlands area is more than 25 000 ha. 567 wetlands were recognized as isolated wetlands with the area about 10 000 ha (of 2.5% of the study area). Isolated wetlands have no visible surface channels or streams connecting them with other water bodies. The map of wetlands of the Ob-Tom interfluvial area is shown at Fig.1. Large wetlands usually have a connection with creeks or rivers and cannot be related to isolated wetlands.

Average wetland content for West Siberia is about 30%. Small amount of wetlands (3.5%) at the

study area is determined by the geomorphological structure of underlying rocks.

Distribution of isolated wetlands by size is shown at Fig.2. Isolated wetlands with area less 2 ha are the most frequent. It was found 128 wetlands with the total area 127 ha at the study area. Frequency of wetland appearance is decreases with wetland size increase. Only 13 wetlands have area from 26 to 28 ha. Half of the total amount of wetlands has area less than 6.4 ha. The largest isolated wetland occupies 797 ha, and only 5% have area more than 50 ha.

Route studies were made for survey about 100 isolated wetlands to assess the quality of classification isolated wetlands. Botanical descriptions sensing the depth of peat deposits was made. The variety of isolated wetlands exist on the territory was reduced to three basic classes: forested bogs (pine-shrub-sphagnum communities with varying height and density of the tree layer), open fens (peat moss and sedge-sphagnum fens with water level near the surface) and the dried bogs with substantially transformed vegetation and degraded peat deposit. Free water in degraded peat deposits during summer time is not available. Peat density is approximately twice higher than in wet condition. Peat thickness reduces and at the contact of bog and upland is observed failing landforms and inrush old trees. There is a high risk of fires.

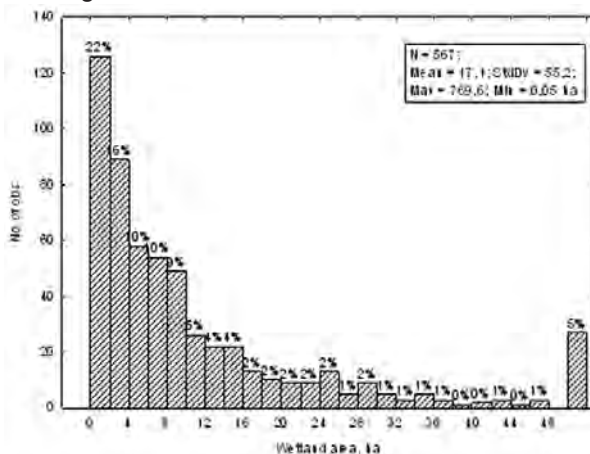


Fig. 2. Distribution of isolated wetlands by area classes.

The work was supported by grants ISTC № 4079.

GROUND MOVEMENT ESTIMATION IN YAKUTIA USING DUAL-POL INSAR TERRASAR-X DATA

Franck Garestier¹, Elena Zakharova², Alexei Kouraev³, Roman V. Desyatkin⁴, Stéphane Guillaso⁵

¹ M2C, UMR 6143, University of Caen, France

² CNRS, LEGOS, UMR5566 Toulouse, France and State Oceanography Institute, St. Petersburg branch, Russia

³ University of Toulouse III, LEGOS, UMR5566 Toulouse, France; State Oceanography Institute, St. Petersburg branch, Russia and Tomsk State University, Russia

⁴ Institute of the Biological problems of the cryolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

⁵ TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing, Berlin, Germany

Introduction

Thawing permafrost and the resulting microbial decomposition of previously frozen organic carbon is one of the most significant potential feedbacks from terrestrial ecosystems to the atmosphere in a changing climate [Zimov et al., 2006]. Permafrost has a profound influence on the hydrology, landscape and ecology of northern environments. The thawing is restricted to some meters below the top layer of soil and a permafrost layer remains frozen below the surface. In such areas, the top layer of soil that thaws during the summer and freezes in winter -known as the active layer- warms up enough to enable plants to grow during the spring and summer. For an accurate assessment of the carbon transfers, the active layer thickness over different soils and surface types needs to be known, as well as the dynamics of soil moisture during the annual freeze/thaw cycle. In this initiating work, time series of X-Band SAR data are investigated for surface change detection. Polarimetric and interferometric estimators are evaluated as a function of the ground measurements for characterization of the processes occurring in the active layer and on the surface.

SAR data

TerraSAR-X data have been acquired over two sites located around 50 km at east of Yakutsk (Central Siberia) every 11 days during one year to cover a whole freeze/thaw cycle. The selected polarimetric channels were HH and HV ensuring sensitivity to vegetation dynamics and enabling polarimetric optimization of the coherence.

Ground measurements

Ground measurements were performed over the two sites two months before the SAR acquisition. Active layer depth, soil moisture gradient, vegetation height and type were collected. We also have used temperature vertical profiles measured over instrumented sites during height years. These profiles were established over 5 typical East-Siberian environments: two alas (thermokarstic depressions) composed by grass and other herbaceous vegetation and lakes, and three other sites covered respectively by birch, larch and pine forests.

Results

First, using our SAR time series, dynamics of estimators derived from polarimetric decomposition techniques [Lee et al., 2009; Cloude et al., 2009] is investigated over the different surface types to determine how relevant is SAR polarimetry at Dual-Pol to follow the surface changes due to variations of vegetation state, soil moisture and snow cover, in such an environment.

Secondly, vertical ground movements due to change of the water state and its migration in porous soils during the freeze/thaw cycle are detected using differential interferometry [Wang et al., 1999; Ferretti et al., 2001; Bernardino et al., 2002] at different polarizations. The amount of subsidence is then linked to the soil physical properties and its relation with the active layer thickness is investigated.

1. Zimov S. A. , Schuur E. A. G. , Chapin F. S. Permafrost and the global carbon budget // Science. - 2006. - Vol. 312, no. 5780. - P. 1612-1613.

2. Lee J.-S., Pottier E. Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2009.

3. Cloude S. R. Polarisation: Applications in Remote Sensing. - Oxford University Press, 2009.

4. Wang Z., Shusun L. Detection of winter frost heaving of the active layer of Arctic permafrost using SAR differential interferograms. // Proc. of IGARSS 99, Hamburg, Germany, 1999.

5. Ferretti A., Prati C., Rocca C. Permanent scatterers in SAR interferometry // IEEE TGRS. - 2001. - Vol. 39. - P. 8-20.

6. Bernardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms // IEEE TGRS. - 2002. - Vol. 40, No. 11. - P. 2375 – 2383.

SPRING MIRES OF NORTH-EASTERN POLAND

Andrzej Lachacz

Department of Soil Science and Soil Protection, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

E-mail: andrzej.lachacz@uwm.edu.pl

Spring mires develop as a result of soligenous hydrological feeding (Dembek, 1992). These peatlands are alimented with mobile ground waters. When groundwater is rich in calcium carbonate, the mire is called calcareous fen (Almendinger & Leete, 1998). Because ground water outflow is more or less confined, the spring mires are usually small in size. In Poland they occupy less than 1% of total peatland area. The spring mires of Masurian Lakeland (southern part of former East Prussia – Ostpreussen) were the subject of the pioneering investigations of Hess von Wichdorff & Range (1906), Hess von Wichdorff (1913) and Steffen (1922, 1931). In these papers, for the first time attention was focused on spring mires, and their origin was elucidated. In addition, a system of classification was introduced, with typical sites described as examples. They were probably the first scientific papers in the world devoted to spring mires of lowland areas.

Due to intensive peat accumulation, spring mires have characteristic convex shape. Generally, based on morphology, spring mires are divided into two groups: dome-like mires developed on productive single springs, and mires on hill slopes (hanging mires). Between those two main types many intermediate forms exist. Hess von Wichdorff (1913) described four types of spring mires: type A – dome-like, type B – hanging, type C – mires in kettles, and type D – flat spring swamps.

Although soligenous feeding of mires is quite common in undulating post-glacial landscapes (Dembek, 1992; Piaścik et al., 2003), well developed spring mires are relatively rare and they merit protection for several reasons. Spring mires create a peculiar habitat which greatly differs from adjacent arable lands, and they are very important for nature protection (Szymank & Hauke, 1998). Spring mires support specific vegetation, with the inclusion of rare, boreal, and calciphilous plant species. This is due to the constant water supply and cold thermal conditions (Succow et al., 2001). According to Council Directive (92/43/EEC) of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, which is a base for pan-European Ecological network Natura 2000, the following habitats occurring on spring mires should be protected:

*7210 – Calcareous fens with *Cladium mariscus* and species of the *Caricion devallianae*,

*7220 – Petrifying springs with tufa formation (*Cratoneurion*),

7230 – Alkaline fens,

*91E0 – Alluvial forests with *Alnus glutinosa* and *Fraxinus excelsior* (including among others lowland spring alder forests – *Cardamino-Alnetum*, *Fraxino-Alnetum*).

In Annex II to this Directive *Liparis loeselii* (L.) Rich. and *Saxifraga hirculus* L. – endangered plant species occurring on spring mires are included.

In the previous paper (Lachacz, 2000) current status of spring mires located in NE Poland was described. Further investigations carried out at the beginning of 21st century were focused on habitat conditions of spring mires as a base for their protection in the frame of Natura 2000 network. Below the most interesting spring mires in NE Poland are briefly described. In brackets there are topographical names used in old German literature.

Edge of Skaliska Basin (Skallischer Forst, Skallischer Becken), vicinity of Popioiy village (Popiollen), rural districts – Banie Mazurskie (Benkheim) and Budry (Buddern).

At this area Hess von Wichdorff (1913) described several interesting spring mires. One of them is a small (ca. 0.2 ha) mire situated close to the former railway station of Popioiy, and was described as a spring mire in a kettle (type C). Although this mire has been artificially drained for many years, it maintained its characteristic shape, which Hess von Wichdorff (1913) described in the following words: “The whole picture of this kettle mire is reminiscent of a stream of lava flowing from a half-open volcanic crater”. The spring mire is covered by shrubby vegetation of *Sambucus nigra*, *Salix* sp., and *Frangula alnus* and many nitrophilous plant species. This peatland should be protected as a geological reference site.

Valley of the Mazurka (Krebsbach) river, near the village of Sokyiki (Sokolken), Eik Lakeland, rural district – Kowale Oleckie.

In the 20-25-metre-deep valley of the Mazurka river, there are spring mires which were investigated for the first time by Hess von Wichdorff & Range (1906). Their vegetation was described by Steffen (1922, 1931). During field research, two hanging mires and one dome-like mire were stated. A dome-like mire (cupola – height ca. 3 m, diameter 30 m) with a quaggy upper surface is the most interesting. *Alnus glutinosa* trees encircle this cupola. A comparison of the present-day floral composition with that described by Steffen (1922) indicates the process of plant impoverishment, e.g. *Saxifraga hirculus* can not now be found (Lachacz, 2006).

Romincka Primeval Forest (Rominter Heide).

Steffen (1922, 1931) described about dozen spring mires in this extensive forest area. Additionally, a distribution map of these mires was presented (Steffen, 1922). Nowadays the Romincka Primeval Forest lies in two countries. The southern part (ca. 12 000 ha) belongs to Poland, and the northern belongs to Russia (District of Kaliningrad) – ca. 23 500 ha. After WW II, the majority of the spring mires described by Steffen (1922, 1931) fell within the Russian part, including the biggest dome-like mire which was described by Lettau (1901) in the forest district of Nassawen. Its height was recorded as ca. 12 m, and slopes up to 60°. In the Polish part there are some spring mires hanging in river valleys of Błędzianka (Blinde Fluss) and Żytkiejska Struga (Szittkehmer Fluss). The mires are covered by wet spruce forest (*Betulo pubescentis-Piceetum*) and alder carr (*Circaeo-alnetum*). Some places are covered by *Caricetum paniculatae* and *Cirsietum rivularis*, which are typical plant associations for spring mires. The most interesting domed mire is situated half-way between the nature reserve “Czerwona Struga” and the Bludzia river. It covers a large area – 0.5 ha. The cupola, 8 metres high, is covered by reedy rushes (*Phragmitetum communis*). This mire is clearly visible as it is surrounded by flat *Phragmitetum* wetland of 20 ha. Generally, the present state of the spring mires in the Romincka Primeval Forest can be assessed as good. The Polish part of the forest has been protected since 1998 as the Romincka Primeval Forest Landscape Park (area 14620 ha).

Vicinity of Koniuszyn lake (Kommusin See), Olsztyn Lakeland, rural district – Nidzica.

A row of hanging spring mires in the valley of the Koniuszyn brook (Kommusin Bach), was described by Steffen (1922, 1931). The spring area has been protected since 1978 as the nature reserve “Koniuszanka I” (area 24.0 ha). The springs of Koniuszanka brook, and the spring mires connected with them, are the result of tunnelling (piping) activities, which are rare in lowland areas. The Napiwoda stream (Grünfließ) soaks into fluvio-glacial sands and subsequently emerges in the form of Koniuszanka brook springs. The underground route is ca. 4 km long and is marked by many sinks of depth up to 5 metres. Within the spring area there are hanging mires of considerably size (ca. 24 ha) covered by sedge communities: *Caricetum paniculatae*, *C. caespitosae*, *C. vulpinae*, as well as by reedy rushes, and alder carrs. These plant communities are well preserved and surrounded by an old coniferous forest. These sites should be treated together as very rare geomorphological, hydrological and vegetational phenomena.

Upper course of the Jyna (Alle) river, Olsztyn Lakeland, rural district – Nidzica.

The spring mires occurring in the Jyna river valley were investigated in detail by Steffen (1922, 1931). In 1950, a landscape nature reserve (area 121 ha) was established there. There are several places in the Jyna river valley where hanging spring mires are to be found. Those which are closest to the headwaters of the Jyna river are located west of the water-mill pond of Jycki Miyn (Lahna Mühle). This spring mire covers ca. 0.5 ha and supports sedge communities. The next such site is located close to a former water-mill hamlet called Oriowski Miyn (Orlau Mühle) where an extensive mire covered by sedge communities as well as by reedy rushes and wet meadows occurs.

Vicinity of Ardung lake, between Leszno (Leschno) and Nerwik (Nerwig) villages, Olsztyn Lakeland, rural districts – Purda and Barczewo.

In the Purda Forests (Purdener Forst), Steffen (1922, 1931) described an interesting and extensive spring area. There are numerous springs, which form hanging mires as well as erosive niches with peaty bottoms. Now some parts of these hanging mires have been artificially drained and alderwood planted, other parts were converted into fish ponds. In spite of considerable human impact, this spring area is still very interesting from a nature protection point of view. In 1992 two ecological grounds were established there. One protects a site where *Trollius europaeus* grows (area 0.7 ha), and another protects a stand of *Polemonium coeruleum* (area 0,5 ha).

Vicinity of Sokolica village, Skpopol Plain, rural district – Bartoszyce.

The big (3,3 ha) dome-like spring mire is situated 1.5 km east of Sokolica village. The height of the dome is almost 2 m on the side where mineral-soil pasture exists, and ca. 6 m on the opposite side, next to a flat peat meadow. Because of its unusual size, it is a clearly visible peculiar landscape feature. The domed surface is mostly overgrown with reed vegetation (*Phragmites australis*). There is a spring-water body on the top of the dome, surrounded by sedge vegetation (*Carex paniculata*, *C. acutiformis*), where the process of calcium carbonate precipitation and formation of soft tufaceous limestone takes place. The second mire is situated less than 2 km south-east of the first one, very close to Spurgle village. This is a large (7,6 ha) mire on a hill slope (mainly of the hanging type) covered by alder vegetation (*Alnetum incanae*, *Carici elongatae-Alnetum*). There are some places covered by reed vegetation, sedge communities of *Caricetum paniculatae* and spring phytocoenosis of *Cardaminetum amarae*. The overall thickness of accumulated spring deposits exceeds 16 m (probably the thickest deposit in Poland). The two mires have undergone unfavourable

transformations in the past as a drainage system of open ditches is present in the immediate vicinity. Because in numerous spring water courses running on the mire, the process of calcium carbonate precipitation on the moss *Cratoneuron filicinum* takes place, the two spring mires are planned as Natura 2000 area (Lachacz, 2009).

The present state of the natural environment of spring mires varies greatly. The majority are affected

by human activity. In some places e.g. Romincka Primeval Forest, the process of regeneration of spring mires is noted. But generally, the process of flora impoverishment is recorded. It is suggested that the number of legally protected spring mires in NE Poland should be increased in the form of Natura 2000 areas, nature reserves, ecological grounds, and geological reference sites.

1. Almendinger J.E., Leete J.H. Regional and local hydrogeology of calcareous fens in the Minnesota River Basin, USA // *Wetlands*. - 1998. - 18(2). - P. 184–202.
2. Dembek W. Soligenous peatlands in Poland and some problems with their protection and utilization // *Proceedings of the 9th International Peat Congress*. Uppsala (22-26.06.1992). - 1992. - 1(3). - P. 278-293.
3. Hess von Wichdorff H. Zur weiteren Kenntnis der Quellmoore in Norddeutschland. *Jahresberichte der Königlichen Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie*. - 1913. - 33(2). - P. 319–341.
4. Hess von Wichdorff H., Range P. Über Quellmoore in Masuren (Ostpreussen). *Jahresberichte der Königlichen Preussischen Geologischen Landesanstalt und Bergakademie*. - 1906. - 27(1). - P. 95–106.
5. Lachacz A. Conservation of spring mires in the Masurian Lakeland, northeastern Poland // *Proceedings of the 11th International Peat Congress*, Québec (6–12.08.2000). - 2000. - Vol. 1. - P. 221–229.
6. Lachacz A. Transformations of spring mires in the Borecka Primeval Forest // *Polish Journal of Environmental Studies*. - 2006. - 15(5D). - P. 199–206.
7. Lachacz A. Torfowiska źródłkowe koło Łabędnika [Spring mires close to Łabędnik village]. *In: Obszary Natura 2000 w województwie warmińsko-mazurskim [Natura 2000 areas in Warmia and Mazury Province]*. Cz. Hołdyński, M. Krupa (Eds), Publishing House Mantis. Olsztyn, 2009. - P. 267–269.
8. Lettau A. *In Jahresberichten des Preussischen Botanischen Vereins 1900-1901*. Schriften der Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft in Königsberg (Pr.), 1901. - 42. - P. 4.
9. Piaścik H., Gotkiewicz J., Lachacz A. Bestandsaufnahme und Bewertung der Feuchtgebiete im nordöstlichen Polen für den Umweltschutz // *Telma*. - 2003. - 33. - P. 231-238.
10. Ssymank A., Hauke U. Landscape ecology of calcareous fens (*Caricion davallianae*) and the *Cladietum marisci* in the lowlands of NE-Germany and their relevance for nature conservation in the European Union Habitats Directive // *Phytocoenologia*. - 1998. - 28(1). - P. 105–142.
11. Steffen H. Zur weiteren Kenntnis der Quellmoore des Preussischen Landrückens mit hauptsächlichlicher Berücksichtigung ihrer Vegetation // *Botanisches Archiv*. - 1922. - 1. - P. 261–313.
12. Steffen H. *Vegetationskunde von Ostpreußen*. Pflanzensoziologie 1. Gustav Fischer Verlag, Jena, 1931. - P. 405.
13. Succow M., Stegmann H., Koska I. Quellmoore. *In: Landschaftsökologische Moorkunde*. M. Succow, H. Joosten (Eds), E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2001. - Stuttgart. - P. 353–365.

DETECTING SPATIAL BOG PATTERN USING REMOTE SENSING AND GROUND PENETRATION RADAR (BELAMORO-KULOYSKOE PLATEAU CASE STUDY)

T.V. Orlov*, S.A. Sadkov

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Moscow, Russia

*E-mail: tim.orlov@gmail.com

Introduction

Wetlands are the key system at estimation of carbon storage, intensity of gas emission and regional potential for human activity. A type and a pattern of wetlands are the main parameters in potential human activity assessment and forecasting their response on the impact.

Bogs and fens are spread widely at Belomoro-Kuloyskoe plateau (north of Russia, Arkhanglesk region). They are located at the top of moraine and fluvio-glacial hills and depressions between hills. Bogs and fens have rather complex inner pattern. One peatland massive can include different microlandscapes of flat, hummock, and ridge-hollow types. And every microlandscape consist of elemental systems like ridges, hollows, hummocks, depressions between hummocks, forested islands etc. Thus complex inner pattern should be considered at any forecast and estimation.

The main aim of the research was to develop an approach of identification of peatland types, depth of peat and a shape of peatland bottom using available remote sensing data (Savelyeva, 1991) with minimum field work.

Combining several zooming data levels was the base of this approach. At first level of zooming we used middle resolution images (15-60 m/pix) for the

whole area. At the second zooming level we used high resolution images (0,5-2 m/pix) for the local representational areas. At the third level we used field descriptive researches for verification results of interpretation of the second level data. At the fourth level we used drilling and ground penetrating radar (GPR) profiling on key sites investigating peatland depth, shape of the bottom, and lithology of the bottom.

Materials and methods

The main materials were:

- scene of the Landsat-8 image, acquired 06.08.2013, 15-30 m/pix resolution;
- scene of GeoEye image, acquired 14.08.2006, 0,5 m/pix resolution;
- GPR profiling data— 21 profile at typical peatlands;
- peat drilling data— 50 samples of peat depth;
- field vegetation and landscape descriptions — 500 pcs.

A landsat image was used for determine of peatlands. We used 5-NIR; 6-SWIR-2; 2-Blue combination of bands. This combination is very useful for peatland differentiation. Numerous peatlands elements and types are shown clearly using this combination (fig 1.).

There were done classification of this combination using neural network algorithm. There were determined 223 classes of different types and

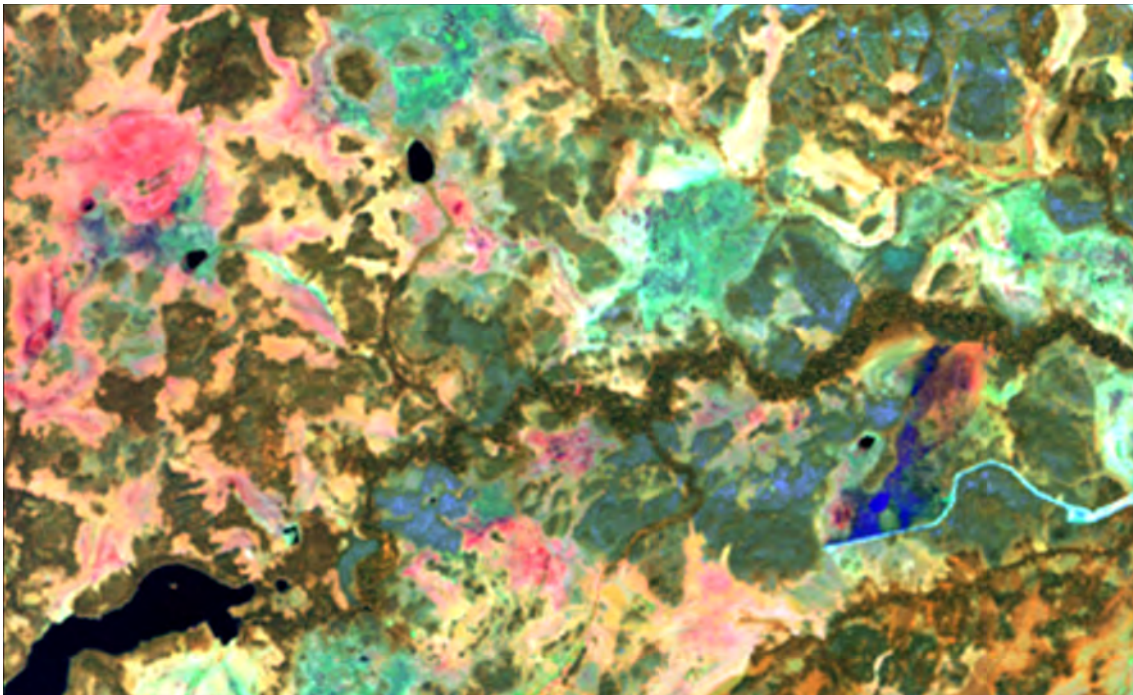


Fig.1. Landsat image combination 5-NIR; 6-SWIR-2; 2-Blue (gray scale)

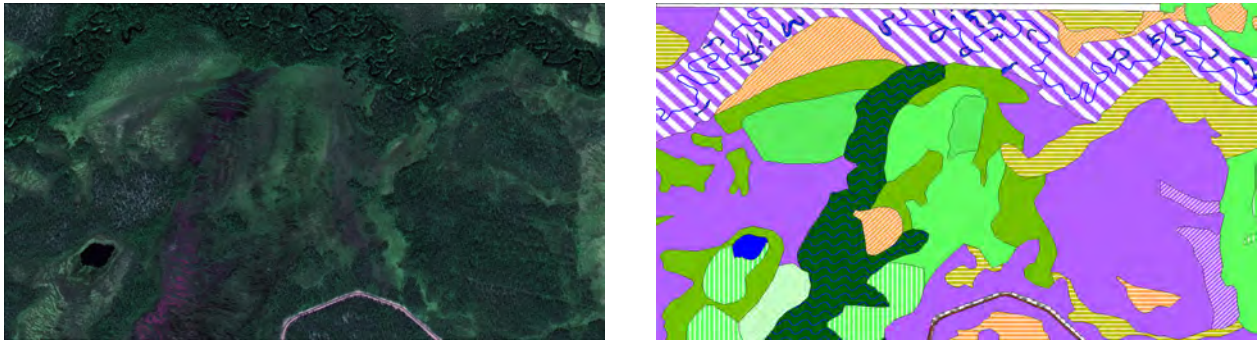


Fig. 2. Result of hand recognition of GeoEye image. a) a fragment of GeoEye image, b) a fragment of hand recognition scheme.

elements of peatlands (Schowengerdt, 2007). Some differences between classes were so small, so these classes were combined. In fact it is possible to determine approximately 20 types of peatlands and their elements.

Hand recognition of GeoEye images was developed in accordance with Landsat classification (fig .2).

The main interpretation parameters of the hand recognition were color, shape of the micro-landscapes, their neighborhood, orientation, texture of the image. Pattern of the image was considered preciously as the most informative parameter.

The descriptive field researches included:

- composition of forest stand according to each floor;
- composition and fullness of grass vegetation using scale of Drude;
- composition and fullness of moss cover in percentage;
- soil parameters;
- etc.

There was done GPR profiling for key sites. We used Zond-12e advanced radar with shielded 300 MHz antenna unit (Vladov, Starovoytov, 2005).

So we got shapes of the peatland bottom and some times under bottom layers.

Handy drilling of peat were done too for GPR profiling verification. Range of peat depth was from 0,4 m to 5,5 m.

Results

There were determined two main types of peatlands:

- narrow peatlands with clear orientation and flow inside it;
- wide peatlands without any significant orientation.

Peatlands of the first type have very complex pattern, they can include peatlands of the second type. At some cases it is very hard to define a boundary between the peatland types.

The were determined main combinations of Landsat and GeoEye image samples and GPR profiles (fig. 3, 4).

The Shape of the bottom of this type of peatland has a very clear buried erosion trace. The main surface peatland flow usually coincides with the buried erosion trace at the bottom

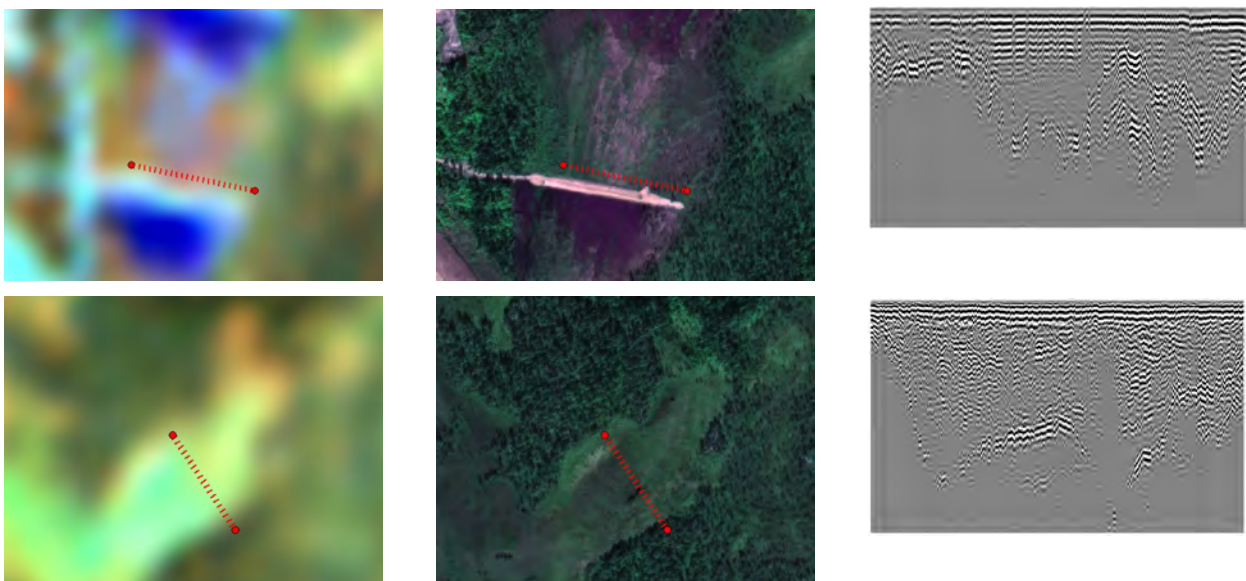


Fig. 3. Examples of narrow peatlands with flow inside it. a,d – Landsat image sample; b,e GeoEye image sample; c, f – GPR profile

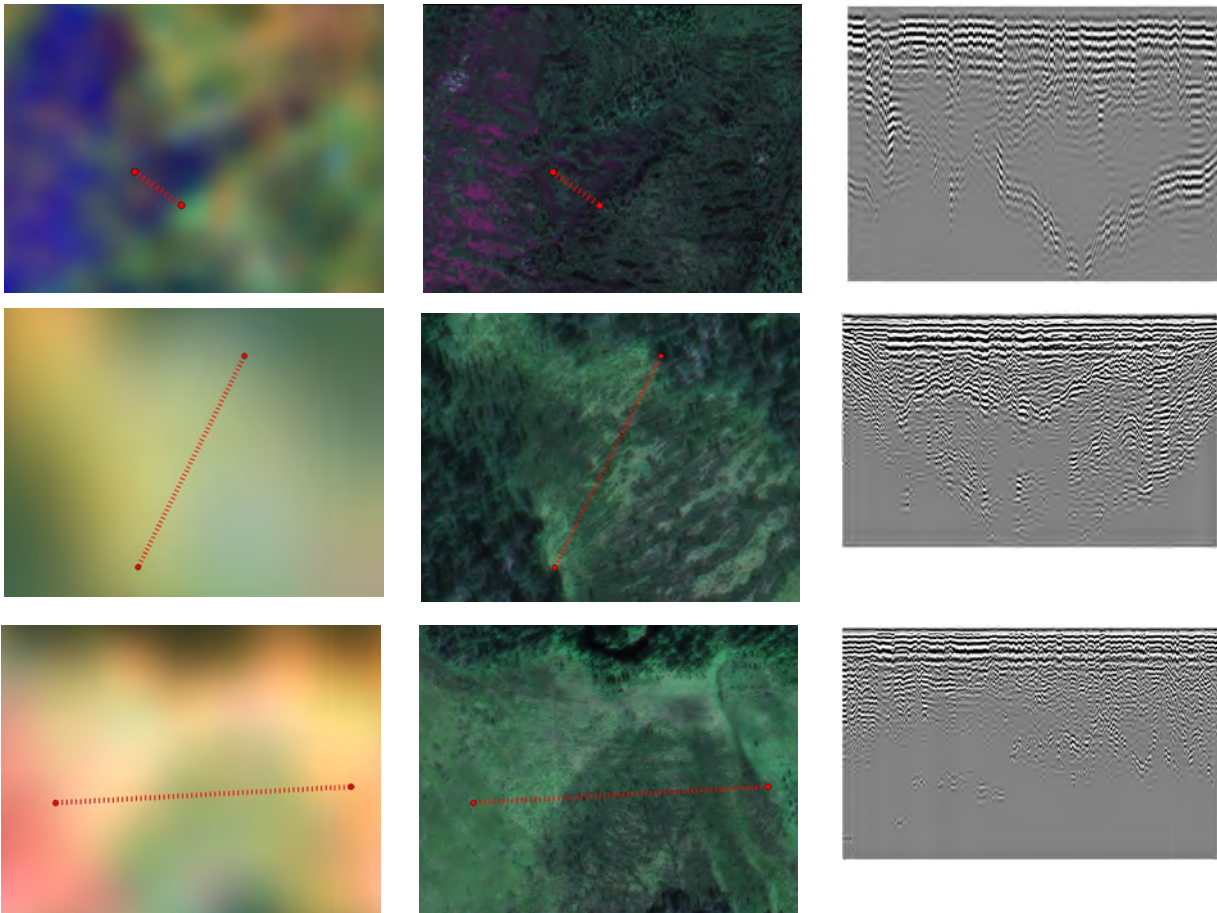


Fig. 4. Examples of vast peatlands with complex pattern. *a,d,c* – Landsat image sample; *b,e,h* -GeoEye image sample; *c, f, j* – GPR profile

The irregularity of peatland bottom is not so strong as in the first case. But peatlands of this type have some flows inside them also. These flows coincide with bottom irregularities (fig 4. a-c). The Landsat image helps us to determine main type of a peatland. The GeoEye image shows the pattern of the peatland and thus shows peatland main elements.

Conclusion

There were researched several main types (Boch, Mazing, 1979) of peatlands including ridge-hollow, ridge-depression, large ridge-hollow, flat, hummock,

etc. There was determined a specific type of a peatland. The shape of the bottom of this type shows that erosion forms were the base of these peatlands.

There were determined main interpretation criteria of Belomoro-Kuloyskoye plateau peatlands for Landsat-8 and GeoEye images.

There were determined some new specific data about peat structure.

Further researches are very perspective and should deep the obtained results.

1. Boch M.S. Mazing V.V. Ecosystems of USSR peatlands. – L.: Nauka, 1979. (Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. – Л.: Наука, 1979)
2. Vladov M.L. Starovoytov A.V. Introduction in georadiolocation. – M.: MSU, 2005 (Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2005).
3. Savelyeva T.S. Pattern of river watersheds of peatlands. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. (Савельева Т.С. Структура речных водосборов в болотных ландшафтах – Л.: Гидрометеоиздат, 1991)
4. Schowengerdt R.A. Remote Sensing. Models and Methods for Image Processing. Third Edition. – Elsevier Inc., 2007

THE UREASE ACTIVITY AND NITROGEN FORMS OF *SPHAGNUM* AND *CAREX* DOMINATED PEAT

Lech W. Szajdak^{1*}, Lydia I. Inisheva², Elena D. Lapshina³, Wioletta Gaca^{1**}, Katarzyna Styła^{1***}, Teresa Meysner^{1****}, Marek Szczepański^{1*****}

¹ Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poland

*E-mail: szajlech@man.poznan.pl

**E-mail: wgaca@man.poznan.pl

***E-mail: styła.katarzyna@gmail.com

****E-mail: teresa_meynsner@tlen.pl

***** E-mail: mszczepanski@tlen.pl

² Tomsk State Pedagogical University, Testing Agroecology Laboratory, Tomsk, Russia

E-mail: inisheva@mail.ru

³ Yugra State University, Institute of Biology and Biophysic, Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: e_lapshina@ugrasu.ru

Introduction

The dominant peat forming species *Sphagnum* mosses are considered to be important in regulating the environment to their advantage at the expense of other vegetation (van Breemen 1995). It stores more carbon in both dead and living biomass, than any other genus of plant. Peatmosses do not biosynthesize lignin and instead accumulate other phenyl-propanoids including trans-sphagnum acid (Weng, Chapple 2010). It has been shown that due to anthropogenic changes such as increased nitrogen deposition, *Sphagnum* peatlands have become more susceptible to vascular species invasion, which could reduce the carbon store capacity of the peat (Tomassen et al. 2004). In addition, the higher nutrient content of vascular species results in more labile litter (Comont et al. 2006). Microbial activity within peatlands is currently limited due to the lack of labile carbon. However, its increased input from vascular species could enhance microbial communities, further sustaining the development of the invading species (Bergman et al. 1998).

Several studies have revealed the high indicator value of *Carex* species, and their presence or absence may reflect not only environmental changes on the ecosystem-level, but also, at a large scale, recent changes due to modern land use (Fojt, Harding 1995). Many sedges are associated with cultivated grassland of low productivity or unmanaged, near-natural ecosystems, though there are a few species whose abundance has been promoted by modern human activities (Schütz 2000).

The aim of the investigation is to compare the urease activity and nitrogen forms in *Sphagnum* and *Carex* dominated peat.

Materials and methods

The samples of peat soils were taken from two layers 0-50 cm (acrotelm) and 50-100 cm (catotelm) of *Sphagnum* sites: Kusowo Bog, The Great Vasyugan Mire, Mukhrino Field Station and *Carex* sites: Zbęchy, Bridge, Shelterbelt, Hirudo, Stażka Mire, Tagan in Poland and Russia. The Great Vasyugan

Mire is located within boundary of four regions of Russian Federation: Tyumen, Omsk, Tomsk and Novosibirsk regions (mainly Tomsk and Novosibirsk regions) (Inisheva et al. 2011). Mire ecosystem Tagan is situated near Tomsk, West Siberia, Russia on the second flood-plain terrace of the river Tom of ancient flow channel. Mukhrino Field Station is located at the east bank of the Irtysh River near the confluence with the Ob River in the central taiga area of Western Siberia, 26 km west of the town of Khanty-Mansiysk. Stażka Mire is the southern part of the Tuchola Landscape Park and part of the Stażka River Mires Reserve. Kusowo Bog Nature Reserve (2010-UNESCO Biosphere Reserve) was established to protect the major part of the bog and its adjacent dystrophic pond. Zbęchy, Bridge, Shelterbelt and Hirudo is a transect of peatland 4.5 km long located in the Gen. Dezydery Chłapowski Agroecological Landscape Park in Turew (40 kilometers South-West of Poznań, West Polish Lowland).

Urease activity in soils was determined by Hoffmann and Teicher method (Szajdak et al. 2011a, b). This method involves determination of the ammonium released by urease activity when soil is incubated with buffered (pH 6.7) urea solution and toluene at 37°C for 3 h. The absorbance of the solution was measured colorimetrically at $\lambda_{max}=630$ nm using a UV-VIS spectrophotometer Beckman DU®-68 USA. Soil pH was measured in 1N KCl (1:20 v/v) suspensions by potentiometric method. Total nitrogen was estimated by the Kjeldahl method. Ammonium ions were assayed on ion chromatograph Waters 1515 (USA). Nitrate ions were measured on ion chromatograph HIC-6A Shimadzu (Japan) (Szajdak, Gaca 2010).

All chemical, biochemical analyzes were run in triplicate, and the results were averaged. The confidence intervals were calculated using the following formula: $\bar{x} \pm t_{\alpha(n-1)} SE$, where: \bar{x} - mean, $t_{\alpha(n-1)}$ - value of the Student test for $\alpha = 0.05$, and $n-1$ degree of freedom, SE - standard error.

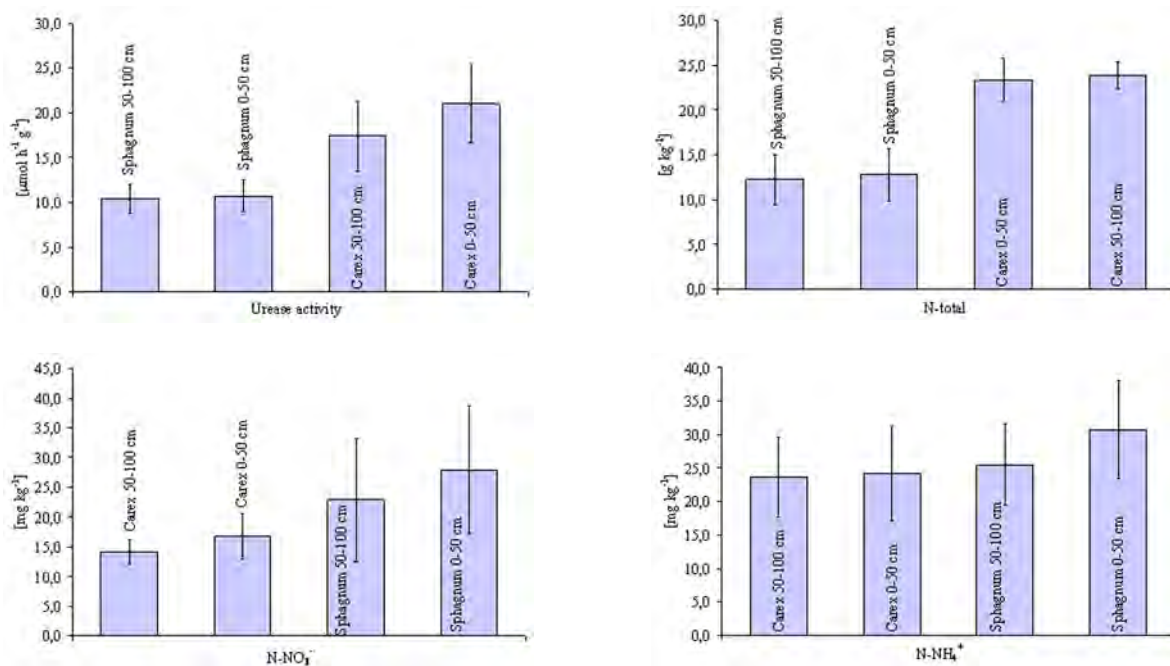


Fig. 1. Mean urease activity (a) and contents of N-total (b), N-NO₃⁻ (c), N-NH₄⁺ (d) in *Sphagnum* and *Carex* dominated peat in 0-50 cm and 50-100 cm layers

Results and discussion

Urease is the most important enzymes involved in organic matter mineralization in peat, nitrogen and carbon cycle. This enzyme releases N-NH₄⁺ and dioxide carbon through urea hydrolysis and is essential in the chain of hydrolysis of amino compounds which are supplied to the soil from plants and to a lesser extend from animals and microorganisms. Soil ureases are microbial products that can accumulate in cell-free forms in the soil because they are highly resistant to environmental degradation (Sardans et al. 2008). Functionally, ureases belong to the superfamily of amidohydrolases and phosphotriestrases. The primary common feature of the enzymes is the presence of dinuclear nickel in their active sites, whose task is to activate the substrate and water for the reaction (Holm, Sander 1997). Our study showed significant higher differences of urease activity in *Carex* than in *Sphagnum* dominated of both layers (0-50 and 50-100 cm) (Fig. 1a). This enzyme was ranged between 10.42 and 10.74 μmol h⁻¹ g⁻¹ in *Sphagnum* and from 17.42 to 21.01 μmol h⁻¹ g⁻¹ in *Carex* (Fig. 1a). According to Błońska (2010) the weakening of enzymatic activity in soil with the increase of soil acidity is the effect of destroying ion and hydrogen bonds in enzyme active centre.

In our investigation higher pH was detected in peats from *Carex* site (from 3.43 to 7.13) than in *Sphagnum* site (from 2.40 to 4.59).

This study was supported by the grants: No. N N310 310139 founded by the Foundation of the Polish Science; DEC 2013/09/B/NZ9/03169 founded by the Polish National Sciences Centre; Peat - AcroCato founded by the FP7 Interact - Transnational Access

The predominant nitrogen form available to plants is N-NO₃⁻, since under most soil conditions NH₄⁺ is rapidly nitrified to NO₃⁻. In wet and acidic soils, NH₄⁺ has been thought to be the source of nitrogen: hypoxic conditions strongly inhibit nitrification and promote denitrification, and NO₃⁻ is readily leached, whereas NH₄⁺ binds to the cation exchange complex (Choo et al. 2002). In the peatlands ammonium ion is generally adsorbed as exchangeable ion clays, and chemisorbed by humic substances, or fixed within the clay lattice (Savant, DeDatta 1982).

Our investigations have reported significant higher content of N-total in acrotelm and catotelm in *Carex*-dominated peat (Fig. 1b). However, the results on N-NH₄⁺, N-NO₃⁻ did not reveal statistically significant diversity between *Sphagnum* and *Carex* dominated peat (Fig. 1c, d). Ammonium ions concentrations ranged from 25.51 to 30.68 mg kg⁻¹ in *Sphagnum* and from 23.66 to 24.18 mg kg⁻¹ in *Carex*. The amount of nitrate ions was from 22.86 to 27.94 mg kg⁻¹ in *Sphagnum* and from 14.15 to 16.72 mg kg⁻¹ in *Carex*. Therefore, Scheffer et al. (2001) indicated its lower content in *Sphagnum squarrosum* than *Carex diandra* in acrotelm. Glenn et al. (2006) was found that the nitrogen content at the poor fen site of *Sphagnum* spp. was less than half.

1. Bergman I., Svensson B.H., Nilsson M. Regulation of methane production in a Swedish acid mire by pH, temperature and substrate // *Soil Biol. Biochem.* - 1998. - 30. - P. 729–741.
2. Błońska E. Enzyme activity in forest peat soils // *Fol. For. Pol.* - 2010. - 52(1). - P. 20–25.
3. Choo Y.-S., Lee Ch.-B., Albert R. Effects of nitrogen nutrition on the pattern of ions and organic solutes in five sedges (*Carex* spp.) // *Flora*, 2002. - 19. - P. 56–66.
4. Comont L., Laggoun-Defarge F., Disnar J.R. Evolution of organic matter indicator in response to major environmental changes: the case of a formerly cut-over peat bog (Le Russey, Jura Mountains, France) // *Org. Geochem.* - 2006. - 37. - P. 1736–1751.
5. Fojt W., Harding M. Thirty years of change in the vegetation communities of valley mires in Suffolk England // *J. Appl. Ecol.* - 1995. - 32. - P. 561–577.
6. Glenn A.J., Flanagan L.B., Syed K.H., Carlson P.J. Comparison of net ecosystem CO₂ exchange in two peatlands in western Canada with contrasting dominant vegetation, *Sphagnum* and *Carex* // *Agr. Forest Meteorol.* - 2006. - 140. - P. 115–135.
7. Holm L., Sander C. An evolutionary treasure: unification of a broad set of amidohydrolases related to urease // *Proteins.* - 1997. - 28. - P. 72–82.
8. Inisheva L.I., Zemtsov A.A., Novikov S.M. Vasyugan Mire. Natural conditions, structure and functioning. - Russian Academy of Agricultural Science, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia, 2011. - 158p.
9. Sardans J., Pecuelas J., Estiarte M. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland // *Appl. Soil Ecol.* - 2008. - 39. - P. 223–235.
10. Savant N.K., DeDatta S.K. Nitrogen transformations in wetland rice soils // *Adv. Agron.* - 1982. - 35. - P. 241–302.
11. Scheffer R.A., van Logtestijn R.S.P., Verhoven J.T.A. Decomposition of *Carex* and *Sphagnum* litter in two mesotrophic fens differing in dominant plant species // *OIKOS.* - 2001. - 92. - P. 44–54.
12. Schütz W. Ecology of seed dormancy and germination in sedges (*Carex*) // *Perspect. Plant Ecol.* - 2000. - 3(1). - P. 67–89.
13. Szajdak L.W., Gaca W. The influence of nitrogen on denitrification processes in soil under shelterbelt and adjoining cultivated field. *In: Physical, chemical, and biological processes in soils.* (Eds) Szajdak L.W., Karabanov A.K. Institute for Agricultural and Forest Environment. Polish Academy of Sciences. Wyd. Prodrug, Poznań, 2010. - P. 225–235.
14. Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Maryganova V. Enzymes activity and IAA contents in soils. *In: Forestry and agroforestry. Research methods in plant sciences.* (Eds) Narwal S.S., Pavlovic P., John J., S.S. Studium Press, Houston. Texas LLC. USA, 2011a. - P. 207–230.
15. Szajdak L.W., Meysner T., Styła K. Biochemical and chemical characterization of soils under shelterbelts and adjoining cultivated fields. *In: Shelterbelts: efficient element of the landscape. Chemical and biochemical investigations of ground water and soil.* (Ed.) Szajdak L.W. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2011b. - 90p.
16. Tomassen H.B.M., Smolders A.J.P., Limpens J., Lamers L.P.M., Roelofs J.G.M. Expansion of invasive species on ombrotrophic bogs: desiccation or high N deposition? // *J. Appl. Ecol.* - 2004. - 41. - P. 139–150.
17. Weng J.K., Chapple C. The origin and evolution of lignin biosynthesis. - *New Phytol.* - 2010. - 187. - P. 273–285.
18. van Breemen N. How *Sphagnum* bogs down other plants // *TREE.* - 1995. - 10(7). - P. 270–275.

THE XANTHINE OXIDASE AND PHENOL OXIDASE ACTIVITY OF NATURAL PEAT AND PEAT-MOORSH SOILS

Lech W. Szajdak^{1*}, *Lydia I. Inisheva*², *Elena D. Lapshina*³, *Katarzyna Styła*^{1**},
Wioletta Gaca^{1***}, *Teresa Meysner*^{1****}, *Marek Szczepański*^{1*****}

¹ Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poland

*E-mail: szajlech@man.poznan.pl

**E-mail: styła.katarzyna@gmail.com

***E-mail: wgaca@man.poznan.pl

****E-mail: teresa_meysner@tlen.pl

*****E-mail: mszczepanski@tlen.pl

² Tomsk State Pedagogical University, Testing Agroecology Laboratory, Tomsk, Russia

E-mail: inisheva@mail.ru

³ Yugra State University, Institute of Biology and Biophysic, Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: e_lapshina@ugrasu.ru

Introduction

The melioration of peatlands led to the biotic and abiotic changes, which implicated the degradation of organic matter and organic compounds. Decrease of water table in peatlands characterizes the differentiation of peptides and amino acids from hydrophilic to hydrophobic (Szajdak 2014). The process of muck formation includes the physical, chemical and physicochemical transformation of organic matter, particularly of its colloidal constituents. The organic mass undergoes partial mineralization as well as humification. Due to mineralization, a partial decrease of the organic matter takes place, reflected by a distinct decrease in the organic carbon content, followed by an increase in the ash content. Humification transforms part of the organic matter into humus compounds, although, according to most scientists, humic acids are not formed until the more advanced stages of muck development. Although they are linked with of peat decomposition, transformations taking place on the surface of the de-watered peats in the muck formation process should not be confused with decay of peat taking place deep in the marshes in saturated conditions (Myślińska 2003).

Decomposition of organic materials in raised-bogs is very slow because of the low pH and temperature of the soil. Cellulose and lignin are the two most important organic compounds found in peatlands. The bacteria play an important role in the degradation of these components. Both cellulose and lignin compounds come from plant residues and are degraded to mono- and disaccharides respective to phenol (Szentés et al. 2011).

The aim of the investigation is to compare the activity of xanthine oxidase and phenol oxidase in natural peat and peat-moorsh soils.

Materials and methods

Natural peatlands (Kusowo Bog, Stażka Mire, The Great Vasyugan Mire, Mukhrino Field Station, Tagan 1) and peat-moorsh (Zbęchy, Bridge, Shelterbelt, Hirudo, Tagan 2.) differing with the type of peat and hydrological regime situated in northern and central Poland and western Siberia (Russia) region have been investigated (Fig.). Kusowo Bog is

located in the West Pomeranian Voivodship in Poland the Baltic type raised bog. It is Nature Reserve (2010-UNESCO Biosphere Reserve). Stażka Mire is the southern part of the Tuchola Landscape Park and part of the Stażka River Mires Reserve. The Great Vasyugan Mire is situated within boundary of four regions of Russian Federation: Tyumen, Omsk, Tomsk and Novosibirsk regions (mainly Tomsk and Novosibirsk regions) (Inisheva et al. 2011). Mukhrino Field Station is owned and run by the UNESCO Chair on Environmental Dynamics and Climate Change at the Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia. It is located at the east bank of the Irtys River near the confluence with the Ob River in the central taiga area of Western Siberia, 26 km west of the town of Khanty-Mansiysk. Tagan peatland is located 20 kilometers near Tomsk, West Siberia, Russia on the second flood-plain terrace of the river Tom of ancient flow channel. Zbęchy, Bridge, Shelterbelt and Hirudo placed in the Agroecological Landscape Park host D. Chłapowski in Turew (40 kilometers South-West of Poznań, West Polish Lowland).

The peat samples were taken for analyses from 2008 to 2012 from 0 to 50 cm (acrotelm) and from 50 to 100 cm (catotelm) depths in the stratigraphic profile of each peat deposit. Soil bulk density was determined in soil cores collected and porosity calculated. The total organic carbon was analyzed on Total Organic Carbon Analyzer (TOC 5050A) with Solid Sample Module (SSM-5000A) produced by Shimadzu (Japan). Total nitrogen was estimated by the Kjeldahl method. Xanthine oxidase activity was performed by Krawczyński method (Szajdak et al. 2011a, b). The absorbance of the solution was measured colorimetrically at $\lambda_{max}=290$ nm using a UV-VIS spectrophotometer Beckman DU®-68 USA. Phenol oxidase was analyzed by Perucci method (Szajdak et al. 2011a, b). The absorbance of the solution was assayed colorimetrically at $\lambda_{max}=525$ nm using a UV-VIS spectrophotometer Beckman DU®-68 USA.

All chemical, biochemical analyzes were run in triplicate, and the results were averaged. The confidence intervals were calculated using the following formula: $\bar{x} \pm t_{\alpha(n-1)} SE$, where: \bar{x} - mean, $t_{\alpha(n-1)}$ - value



Fig. Setting of the study site

▲ natural peat: B - Kusowo Bog; C - Stażka Mire; D - Mukhrino Field Station: KM1, KM2, KM3, KM4, KM10, KM15, KM16, KM17, KM18; E - Vasugan P2, Vasugan P3, F1 - Tagan 1
 ● peat-moorshes: A - Zbęchy, Bridge, Shelterbelt, Hirudo; F2 - Tagan 2

of the Student test for $\alpha = 0.05$, and $n-1$ degree of freedom, SE - standard error.

Results and discussion

It is known, that the macromolecules of complex organic compounds under the influence of enzymes, secreted by microorganisms, are exposed by destruction. The degradation products form the heterocyclic compounds, which interact with certain kinds of microorganisms and produce low and high molecular organic substances such as carbohydrates, and lignin as well as peptides (Szajdak, Inisheva 2014). Phenol oxidase and xanthine oxidase plays an important role in redox processes of peat soils. Polyphenol oxidases represent a group of copper-containing enzymes catalyzing oxidation of phenolic compounds in the presence of molecular oxygen. They are responsible for enzymatic browning reactions, participating in the formation of humic acids, and indicating the capacity of the microflora which degrade recalcitrant organic substances. Phenol oxidase is one of the few enzymes able to degrade recalcitrant phenolic materials as lignin. Whereas, xanthine oxidase oxidizes hypoxanthine and xanthine to uric acid in the purine catabolic pathway and participating in the cycle of nitrogen in soils (Benitez et al. 2006; Ayaz et al. 2008).

Our study showed significant higher differences of phenol oxidase and xanthine oxidase activity in natural than drained peat in both of layers (0-50 and 50-100 cm) (Table). Peat-moorsh soils had a lower mean value of phenol oxidase activities from 21.58 to 22.80 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ compared to the natural peat from 41.55 to 41.87 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$. However, xanthine oxidase activity ranged from 6.72 to 11.86 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ in drained peat and from 19.95 to 23.04 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ in natural peat. Fenner et al. (2005) suggested that

enzymatic processes are likely to contribute to the differences in DOC (including phenolics) concentrations in wetlands, reinforcing physicochemical processes. Large increases in total phenol oxidase activities in the droughted wetland were also induced as a result of oxygenation. But Xiang et al. (2013) believed that the phenol oxidase activities along the vertical profile under drought conditions are significantly lower than the corresponding values under waterlogging.

Borren et al. (2004) have proved that the dry bulk density and carbon content were nearly constant with depth in natural peat. These studies were consistent with our results in natural peat. The measured values of bulk density were 0.11 g cm^{-3} in both layers (Table 1). This parameter reaches the values in the range from 0.16 to 0.26 g cm^{-3} in peat-moorshes. Anashari et al. (2010) reported higher TOC in undrained peat than in drained peat. Our investigations demonstrated significant differences between natural (470.62 g kg^{-1}) and drained peat (384.18 g kg^{-1}) for TOC in acrotelm (Table 1). Total nitrogen in drained peat is significantly different than in undrained (Anashari et al. 2010). Bieniek and Łachacz (2012) confirmed higher quantities of total nitrogen in surface horizon layer of peat-muck soils in comparison with peat soils. It was according to our results. Total nitrogen content in natural peat was from 14.99 to 15.14 g kg^{-1} and in peat-moorshes from 25.18 to 25.34 g kg^{-1} .

These investigations have shown that the C/N ratio in samples of strongly decomposed peat ranged from 15.67 to 19.28 in drained and from 36.78 to 38.01 in undrained peat, which suggests a low decomposition degree of organic residues in natural peat. The reason of the significant lower C/N in

Table. Mean contents of chemical compounds, physical parameters, enzyme activities and factors of biochemical transformation for enzymes activities in natural and peat-moorsh soils in 0-50 cm and 50-100 cm layers

Parameters	Natural peat		Peat-moorsh soils	
	0-50 cm	50-100 cm	0-50 cm	50-100 cm
POA [$\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$]	41.55 \pm 9.24	41.87 \pm 8.98	21.58 \pm 4.98	22.80 \pm 5.04
XOA [$\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$]	23.04 \pm 4.19	19.95 \pm 4.94	6.72 \pm 2.27	11.86 \pm 3.28
Moisture [%]	91.38 \pm 1.59	88.57 \pm 2.87	74.10 \pm 2.80	83.28 \pm 1.52
Bulk density [g cm^{-3}]	0.11 \pm 0.03	0.11 \pm 0.01	0.26 \pm 0.01	0.16 \pm 0.01
Porosity [%]	93.27 \pm 1.22	92.93 \pm 0.50	84.59 \pm 0.68	89.75 \pm 0.41
TOC [g kg^{-1}]	470.62 \pm 37.19	493.48 \pm 40.65	384.18 \pm 29.07	483.73 \pm 28.29
N_{total} [g kg^{-1}]	14.99 \pm 2.80	15.14 \pm 2.77	25.18 \pm 2.23	25.34 \pm 1.14
C/N	36.78 \pm 7.27	38.01 \pm 8.06	15.67 \pm 1.73	19.28 \pm 1.59

TOC - total organic carbon, N_{total} - total nitrogen, XOA - xanthine oxidase activity, POA - phenol oxidase activity

$\bar{x} \pm \Delta x$ - confidence interval of average at confidence level $\alpha=0.05$ for $n-1$ degree of freedom

drained than in undrained peat soils is connected with the mineralization of drained peat soils (Bieniek, Łachacz 2012).

Anashari et al. (2010) concluded that bulk density, total nitrogen concentration and low C/N ratio (<20) in the drained and converted peats are important factors that indicate some processes of peat degradation.

This study was supported by the grants: No. N N310 310139 founded by the Foundation of the Polish Science; DEC 2013/09/B/NZ9/03169 founded by the Polish National Sciences Centre; Peat - AcroCato founded by the FP7 Interact - Transnational Access.

1. Anshari G.Z., Affudin M., Gusmayanti E., Arianie L., Susana R., Nusantara R.W., Sugardjito J., Rafiastanto A. Drainage and land use impacts on changes in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Provinc, Indonesia // Biogeosciences. - 2010. - 7. - P. 3403-3419.
2. Ayaz F.A., Demir O., Torun H., Kolcuoglu Y., Colak A. Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening // Food Chem. - 2008. - 106. - P. 291-298.
3. Benitez E., Nogales R., Campos M., Ruano F. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems // Appl. Soil Ecol. - 2006. - 32. - P. 221-231.
4. Bieniek A., Łachacz A. Transformations of peat soils exposed to drainage in Łyna River Valley. In: Necessity of peatlands protection. (Eds) Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Szczepański M. Wyd. Prodrug, Poznań, 2012. - P. 203-222.
5. Borren W., Bleuten W., Lapshina E.D. Holocene peat and carbon accumulation rates in the southern taiga of western Siberia // Quaternary Res. - 2004. - 61. - P. 42-51.
6. Fenner N., Freeman Ch., Reynolds B. Hydrological effects on the diversity of phenolic degrading bacteria in peatland: implications for carbon cycling // Soil Biol. Biochem. - 2005. - 37. - P. 1277-1287.
7. Inisheva L.I., Zemtsov A.A., Novikov S.M. Vasyugan Mire. Natural conditions, structure and functioning. Russian Academy of Agricultural Science, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia, 2011. - 158 p.
8. Myślińska E. Development of mucks from the weathering of peats: its importance as an isolation barrier // Bull. Eng. Geol. Env. - 2003. - 62. - P. 389-392.
9. Szajdak L.W. Peat-unstable raw material. III Międzynarodowa naukowo-praktyczna konferencja Ekologia mokradeł i torfowisk, Ukraina, Kijów 3 luty, 2014. - P. 12-15.
10. Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Maryganova V. Enzymes activity and IAA contents in soils. In: Forestry and agroforestry. Research methods in plant sciences. (Eds) Narwal S.S., Pavlovic P., John J., S.S. Studium Press, Houston. Texas LLC. USA, 2011a. - P. 207-230.
11. Szajdak L.W., Inisheva L.I. Processes in meliorated peat soils. III Międzynarodowa naukowo-praktyczna konferencja Ekologia mokradeł i torfowisk, Ukraina, Kijów 3.02., 2014. - P. 15-20.
12. Szajdak L.W., Meysner T., Styła K. Biochemical and chemical characterization of soils under shelterbelts and adjoining cultivated fields. In: Shelterbelts: efficient element of the landscape. Chemical and biochemical investigations of ground water and soil. (Ed) Szajdak L.W., LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2011b. - P. 33-53.
13. Szentes S., Mara Gy., Tamás É, Lányi Sz., Radu G.L. Preliminary data on Borsáros raised bog natural reserve Bryophyte associated bacteria // U.P.B. Sci. Bull. - 2011. - Series B, 73(4). - P. 23-30.
14. Xiang W., Wan X., Yan S., Wu Y., Bao Z. Inhibitory effects of drought induced acidification on phenol oxidase activities in *Sphagnum*-dominated peatland // Biogeochem. - 2013. - 116(1-3). - P. 293-301.

THE ENZYMATIC ACTIVITY OF THE SELECTED PEATLANDS IN NORTHERN POLAND

Lech Wojciech Szajdak*, Teresa Meysner**, Katarzyna Styła***, Wioletta Gaca****, Marek Szczepański*****

Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poland

*E-mail: szajlech@man.poznan.pl

**E-mail: teresa_meysner@tlen.pl

***E-mail: styla.katarzyna@gmail.com

****E-mail: wgaca@man.poznan.pl

***** E-mail: mszczepanski@tlen.pl

Introduction

Peatlands play important roles in the global cycling of carbon. Peat forms when wetland conditions prevent oxygen from entering the soil and, in turn, dramatically decrease the rate of plant litter decomposition (Bragazza et al. 2007). It is partially decomposed plant material that accumulates where plant production exceeds organic matter losses through heterotrophic respiration, leaching or dissolved export, fire combustion or other disturbance-related losses and it represents the balance between CO₂ fixation by net primary production and carbon releases throughout the entire peat column (Wang et al. 2013).

Soil enzymes are excreted by microorganisms as part of extracellular metabolism, and enzymes immobilized on soil colloids and humic materials, and are sensitive to changes in soil (micro-environmental) conditions such as temperature, pH, plant exudates and soil water chemistry. Nutrient availability also influences the enzyme activities, as various microorganisms control their enzyme formation in response to nutrient availability (Kang, Freeman 1999). In wetlands, the degree of waterlogging would be a further factor affecting the enzyme activities. They have been proposed to be an important determinant of soil health and quality (Dick 1984).

The purpose of the investigation is to compare the activity of choice enzymes like peroxidase, nitrate reductase and urease activity in Stążka Mire and Kusowo Bog.

Materials and methods

Stążka Mire is located in northern Poland in the region of Tuchola Forest on the outwash plain of the Brda River which formed during the Pomeranian phase of the Vistulian glaciation. The mire is situated within the administration limits of the Tuchola Forest management area (53°36'17.58"N, 17°57'20.38"E). This mire covers a total area of 478.45 ha, where whole complex of natural peatlands is under protection. The vegetation of Stążka Mire is dominated by: *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum fallax*, *S. cuspidatum*, *S. magellanicum*, *S. fuscum*, *S. recurvum*, *Juncus effuses*, *Vaccinium oxycoccos*, *Pleurozium schreberi*, *Scheuchzeria palustris*, *Carex limosa*, *Rhynchospora alba*, *Drosera rotundifolia*, *Pinus sylvestris*, *Ledum palustre*, *Empetrum nigrum*,

Andromeda polifolia, *Calluna vulgaris*, *Alnus glutinosa* and *Calla palustris* (Lamentowicz et al. 2007).

Kusowo Bog is situated in the West Pomeranian Voivodship (53°48'57.83" N, 16°32'42.03" E). This is likely the best preserved in Poland the Baltic type raised bog. Kusowo Bog Nature Reserve (2010-UNESCO Biosphere Reserve) was established in w 2005 year to protect the major part of the bog and its adjacent dystrophic pond. The area of the Reserve is 326.56 ha being entirely included into the Jeziora Szczecineckie Natura 2000 proposed Site of Community Importance. The vegetation of Kusowo Bog is dominated by: *Drosera rotundifolia*, *D. anglica*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Trichophorum cespitosum*, *Carex limosa*, *Sphagnum balticum*, *S. centrale*, *S. compactum*, *S. fuscum*, *S. obtusum*, *S. russowi*, *S. tenellum*, *S. magellanicum* (Herbichowa et al. 2007).

The natural peat samples were taken for analyses using a stainless steel Instorf peat corer with the Kusowo Bog and Stążka Mire in 2010 year. This corer is designed to retrieve peat monoliths in undisturbed condition. Samples were collected from the layer from 0 to 50 cm.

The peat material was air-dried and crushed to pass through a 1 mm mesh sieve. Soil pH was measured in soil 1 N KCl (1:5 v/v) suspensions by potentiometric method. Soil bulk density was determined in soil cores collected at depths of 0-10 cm and porosity calculated. The total organic carbon was analyzed on Total Organic Carbon Analyzer (TOC 5050A) with Solid Sample Module (SSM-5000A) produced by Shimadzu (Japan). Hot water extractable organic carbon (C_{HWE}) was evaluated on TOC 5050A equipment produced by Shimadzu (Japan) (Smolander, Kitunen 2002). Total nitrogen was estimated by the Kjeldahl method. Ammonium ions were assayed on ion chromatograph Waters 1515 (USA). Nitrate ions were measured on ion chromatograph HIC-6A Shimadzu (Japan) (Szajdak, Gaca 2010b).

Nitrate reductase activity was measured colorimetrically at $\lambda_{\max}=520$ nm using potassium nitrate as a substrate and 2,4-dinitrophenol as inhibitor of nitrite reductase in field moist peat soils (Szajdak, Gaca 2010a; Szajdak et al. 2011a). Peroxidase activity in field moist peat samples was amounted

colorimetrically at $\lambda_{\max}=460$ nm by Bartha and Bordeleau method (Szajdak et al. 2011b). Urease activity in air dried peat soils was determined colorimetrically at $\lambda_{\max}=630$ nm by Hoffmann and Teicher method (Szajdak et al. 2011b). All the experiments were run in triplicate, and the results were averaged.

Results and discussion

In our investigation higher pH was confirmed in fen peat-Stażka Mire (7.13) than Kusowo Bog (2.62) (Table 1). Also, the bulk density in these two different peatlands was slightly higher in Stażka Mire but the porosity was higher in Kusowo Bog.

Organic carbon is a source of energy and a substrate for the growth of bacteria as soon as an electron donor. In our investigation higher yearly means contents of TOC were measured in the bog profile (609.59 g kg⁻¹) than in fen (558.99 g kg⁻¹). These data may indicate that the process of mineralization organic matter is greater in fen soil than in bog. Hot water extractable organic carbon (C_{HWE}) is related to a microbial activity (Compton, Boone 2002). Mean content of C_{HWE} in bog soils was higher than in fen. These values were 14.03 and 10.40 g kg⁻¹ respectively. Our results confirm opposite observation to the amounts of total nitrogen in research peat soils. Higher concentrations of total nitrogen were determined in Stażka Mire than in Kusowo Bog. The actual source of mineral nitrogen in soil is the degradation of organic matter. On the nitrogen changes influence many physical-chemical factors like temperature, humidity, oxygenation degree and also biochemical factors connected with enzymatic activity. Our investigations have shown two times higher concentrations of yearly means the ammonium (32.98 mg kg⁻¹) and nitrate ions (24.10 mg kg⁻¹) in profile Kusowo Bog than Stażka Mire (Table 1).

C/N ratios are used to determine the degree of humification and the amount of N available to plants and microbes. Generally C/N ratios in peat soil ranged from 20.0 to 46.3 (Salimin et al. 2010). However, in the present work C/N ratio ranged from 27 in fen to 48 in bog soils (Table 1).

Peroxidase reacts non-selectively via free-radical mechanisms, using hydrogen peroxide as an electron acceptor in the reactions. As is well known, the role of enzymes in coupling reactions leading to polymerization is limited to the oxidation of the substrates. Moreover, the polymerization of readily degradable litter, soil organic matter, and nitrogen-containing compounds to higher-molecular-weight persistent organic compounds such as humic and fulvic acids influences the long-term storage of carbon in soils and the biological availability of soil nitrogen (Dec et al. 2001). Yearly mean of peroxidase activity was similar in two research peats and amounted to 6.46 nmol h⁻¹ g⁻¹ in fen soils and 6.74 nmol h⁻¹ g⁻¹ in bog soils (Table 1).

Nitrate reductase is an enzyme involved in the process of denitrification. The nitrogen oxides act as terminal electron acceptors in the absence of oxygen. In the anaerobic conditions nitrate ions are reduced to nitrite ions and nitrate reductase is the catalyst of this reaction. Next the formed NO₂⁻ anions are reduced with the participation of nitrite reductase to N₂O. The reduction reaction of N₂O to molecular nitrogen is catalyzed with the nitrous oxide reductase (Ma 2000). This process accelerates the pathways of easy decayed organic matter and alkalinity or neutrality of soil. Our research has shown higher nitrate reductase activity in fen soils (2.81 nmol h⁻¹ g⁻¹) than in Kusowo Bog (0.54 nmol h⁻¹ g⁻¹). This results suggest impact of pH on the activity of this enzyme.

Urease activity is important enzyme involved in organic matter mineralization in soil and in N cycle. This enzyme release N-NH₄⁺ through urea hydrolysis and are essential in the chain of hydrolysis of amino compounds which are supplied to the soil from plants and to a lesser extend from animals and microorganisms. Urease activity in soils is influenced by many factors: cropping history, organic matter content of the soil, soil depth, soil amendments, heavy metals, and temperatures (Makoi, Ndakidemi 2008). This investigation showed slightly higher urease activity in Stażka Mire (14.95 μmol h⁻¹ g⁻¹) than in Kusowo Bog (13.18 μmol h⁻¹ g⁻¹) (Table 1).

This study was supported by the grants: No. N N310 310139 founded by the Foundation of the Polish Science; DEC 2013/09/B/NZ9/03169 founded by the Polish National Sciences Centre; Peat - AcroCato founded by the FP7 Interact - Transnational Access.

1. Bragazza L., Siffia C., Iacumin P., Gerdol R. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry // *Soil Biol. Biochem.* - 2007. - 39. - P. 257–267.
2. Compton J., Boone R.D. Soil nitrogen transformations and the role of light fraction organic matter in forest soils // *Soil Biol. Biochem.* - 2002. - 34. - P. 933–943.
3. Dec J., Haider K., Bollag J.M. Decarboxylation and demethoxylation of naturally occurring phenols during coupling reactions and polymerization // *Soil Sci.* - 2001. - 166(10). - P. 660–671.
4. Dick W.A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities // *Soil Sci. Soc. Am. J.* - 1984. - 48. - P. 569–574.
5. Herbichowa M., Pawlaczyk P., Stańko R. Conservation of Baltic raised bogs in Pomerania, Poland. Experience and Results of the LIFE04NAT/PL/000208 PLBALTBOGS Project. Published by Naturalists Club Poland, Świebodzin, 2007. - P. 62–67.

6. Kang H., Freeman Ch. Phosphatase and arylsulphatase activities in wetland soils: annual variation and controlling factors // *Soil Biol. Biochem.* - 1999. - 31. - P. 449–454.
7. Lamentowicz M., Tobolski K., Mitchell E.A.D. Palaeoecological evidence for anthropogenic acidification of a kettle-hole peatland in northern Poland // *The Holocene.* - 2007. - 17(8). - P. 1185–1196.
8. Ma R.X. Effects of allelochemicals on activity of nitrate reductase. - *J. Environ. Sci.* - 2000. - 12. - P. 125–128.
9. Makoi J.H.J.R., Ndakidemi P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem // *Afric. J. Biotechnol.* - 2008. - 7(3). - P. 181–191.
10. Salimin M.I., Gandaseca S., Ahmed O.H., Majid N.M.A. Comparison of selected chemical properties of peat swamp soil before and after timber harvesting // *Am. J. Environ. Sci.* - 2010. - 6(2). - P. 164–167.
11. Smolander A., Kitunen V. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species // *Soil Biol. Biochem.* - 2002. - 34. - P. 651–660.
12. Szajdak L.W., Gaca W. Nitrate reductase activity in soil under shelterbelt and an adjoining cultivated field // *Chem. Ecol.* - 2010a. - 26(4). - P. 123–134.
13. Szajdak L.W., Gaca W. The influence of nitrogen on denitrification processes in soil under shelterbelt and adjoining cultivated field. *In: Physical, chemical, and biological processes in soils.* (Eds) Szajdak L.W., Karabanov A.K. Institute for Agricultural and Forest Environment. Polish Academy of Sciences. Wyd. Prodruk, Poznań, 2010b. - P. 225–235.
14. Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Maryganova V. Enzymes activity and IAA contents in soils. *In: Forestry and agroforestry. Research methods in plant sciences.* (Eds) Narwal S.S., Pavlovic P., John J., S.S. Studium Press, Houston. Texas LLC. USA, 2011a. - Vol. 2. - P. 207–230.
15. Szajdak L.W., Meysner T., Styła K. Biochemical and chemical characterization of soils under shelterbelts and adjoining cultivated fields. *In: Shelterbelts: efficient element of the landscape. Chemical and biochemical investigations of ground water and soil.* (Ed) Szajdak L.W., LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2011b. - P. 33–53.
16. Wang X., Song C., Wang J., Miao Y., Mao R., Song Y. Carbon release from *Sphagnum* peat during thawing in a montane area in China // *Atmos. Environ.* - 2013. - 75. - P. 77–82.

PHENOL OXIDASE ACTIVITY IN SPRING AND AUTUMN OF PEAT-MOORSH SOILS

*Lech Wojciech Szajdak**, *Katarzyna Styła***, *Wioletta Gaca****, *Teresa Meysner*****,
*Marek Szczepański******

Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poland

*E-mail: szajlech@man.poznan.pl

**E-mail: styła.katarzyna@gmail.com

***E-mail: wgaca@man.poznan.pl

****E-mail: teresa_meysner@tlen.pl

***** E-mail: mszczepanski@tlen.pl

Introduction

The evolution of hydrogenic peat soils is closely related to the genesis of peat and the changes in water relations. The chemical composition of peats depends mostly on the geobotanical conditions of their formation and on the depth of sampling (Hertkorn et al., 2002). Due to a number of factors, including oscillation of ground water level, changes of aerobic conditions, different plant communities, root exudates, and products of degradation of plant remains, peat-muck soils may undergo a process of secondary transformation (Sokolowska et al., 2005). After mire drainage, peat-forming process is substituted by the process of cultural soil formation characterized by mineralization, deeper humification and transformation of matter, which results in the enrichment of peat soil plowing layers with humus particles in the course of their exploitation. Peat decomposition degree increases up to 50-70% (Bambalov, 2000).

Enzyme assays provide quantitative information on functional diversity of microbial activity, soil chemical processes, mineralization rates, and organic matter accumulation. Some enzymes are routinely produced by microbial cells while others are formed in the presence of an appropriate substrate. It may also indicate short-term differences in soil quality improvement, functional diversity of critical soil processes, rapid responses to changes in management, and sensitivity to environmental stresses (Udawatta et al., 2009; Chodak, Niklińska, 2012).

The objective of this study was to investigate changes in phenol oxidase activity in spring and autumn of peat-moorsh soils.

Materials and methods

The investigated material was peat samples collected from three places marked as Bridge, Shelterbelt and Hirudo each from depth of 0-50 cm in spring and autumn in 2010. These sites are located on the transect of peatland 4.5 km long in the Agroecological Landscape Park host D. Chłapowski in Turew (40 kilometers South-West of Poznań, West Polish Lowland). Peat-moorsh soils were described and classified according to the Polish hydrogenic soil classification (Systematic of Polish Soils 2011) and the World Reference Base Soil Notation (WRB 2007). The sites investigated were located along Wyskoć ditch.

Phenol oxidase [EC 1.14.18.1] was determined by Perucci method (Szajdak et al. 2011a, b). Plants use phenol oxidases to synthesize lignin and other secondary compounds. Catechol is used as a substrate for measurements of phenol oxidase activity in fresh soil samples. The absorbance of the solution was measured colorimetrically at $\lambda_{max}=525$ nm using a UV-VIS spectrophotometer Beckman DU®-68 USA. Soil pH was measured in 1N KCl (1:5 v/v) suspensions by potentiometric method. The total organic carbon (TOC) was analyzed on Total Organic Carbon Analyzer (TOC 5050A) with Solid Sample Module (SSM-5000A) produced by Shimadzu (Japan). Total nitrogen was evaluated by the Kjeldahl methods.

The degree of decomposition or degree of humification of the peat is assessed by measuring its fiber or humus content. In practice, peat decomposition is determined by a field method, the von Post pressing method (Szajdak et al. 2011c). The method identifies ten classes of decomposition, with H1 being undecomposed peat and H10 completely decomposed peat. Investigated peatland represents strongly decomposed (H7-H8) alder swamp wooden sedge, sedge-reed peat, sedge peat, and sedge peat with wooden.

Results and discussion

Phenol oxidases act upon complex and simple phenolics, with outcomes ranging from partial oxidation and the release of oxidative intermediates, to complete degradation (Claus 2004). Polyphenolics inhibit decomposition by binding to the reactive sites of extra-cellular enzymes and through the formation of phenolic complexes (Harborne 1997). This enzyme participates in the formation of humic acids, and indicates the capacity of the microflora degrade recalcitrant organic substances. The activity of extracellular phenol oxidases may therefore affect the retention of carbon in the litter and soil environment directly via the breakdown of recalcitrant organic matter, and indirectly by releasing extracellular hydrolase enzymes from phenolic inhibition. Phenol oxidases have been found to be formed by bacteria in wetland peat and by ericoid mycorrhizal fungi, and the abundance of woody matter with a high phenolic content. It suggests that this enzyme may play an

important role in the microbial conditioning of organic matter in peatlands (Freeman et al., 2004; Fenner et al., 2005).

This study showed that the phenol oxidase activities were higher in autumn (from 14.40 to 28.40 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$) than in spring (from 8.47 to 21.38 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$) in all analyzed peat-moorshes. Furthermore, these investigations have demonstrated the lowest enzyme activity in Bridge and the highest in Shelterbelt and Hirudo in both seasons (Table 1). According to Freeman et al. (2001) and Pind et al. (1994) phenol oxidases are inhibited by low temperatures, oxygen availability and pH. It was expected that levels of phenol oxidase activity would be naturally constrained by the cold, wet and acidic conditions in peatlands. Efremova and Ovchinnikova (2007) irrespective of drainage conditions, the highest oxidoreductase activity was observed in the 0-5 cm layer but it significantly decreased with depths. The humic state of soil, which is functionally dependent on the rate of biochemical processes are an integral and substantial index oxidoreductase activity.

The pH of the soil is the most important physicochemical parameter affecting plant growth and

behaviour of the contaminants in soils. The present study showed considerable differences in the pH values of three peat-moorsh soils. The pH of Bridge and Shelterbelt indicated that these soils were slightly acidic (5.83-6.40) and soil under Hirudo was acidic (4.63-4.98) (Table 1).

The relationship between carbon and nitrogen is important in hydrogenic soils, during primary humification and secondary transformation of organic matter in muck-forming process (Bieniek, Łachacz 2012). These investigations have shown higher values of TOC in spring (409.83-491.08 g kg^{-1}) than in autumn (370.88-398.78 g kg^{-1}). Furthermore, in all analyzed peat-moorsh samples the amount of total nitrogen ranged from 17.92 to 28.56 g kg^{-1} (Table 1). However, the lowest concentrations of the total nitrogen were determined autumn in Shelterbelt. Significant and sensitive indication of the degree of humification of the organic materials is C/N ratio. In studied peat-moorsh soils C/N ratio ranged from 13 to 21 (Table 1). Lower C/N ratio indicates greater susceptibility of organic matter to microbial transformation (Okruszko 1993).

Table 1. Phenol oxidase activity, pH, the contents of total organic carbon (TOC), total nitrogen (N_{total}) and C/N in peat-moorsh soils in 0-50 cm layer

	Phenol oxidase activity [$\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$]	pH	TOC [g kg^{-1}]	N_{total} [g kg^{-1}]	C/N
Spring					
Bridge	8.47	5.83	462.33	27.72	17
Shelterbelt	21.38	6.28	409.83	24.53	17
Hirudo	19.77	4.98	491.08	27.44	18
Autumn					
Bridge	14.40	5.89	378.13	28.56	13
Shelterbelt	26.46	6.40	370.88	17.92	21
Hirudo	28.40	4.63	398.78	25.20	16

This study was supported by the grants: No. N N310 310139 founded by the Foundation of the Polish Science; DEC 2013/09/B/NZ9/03169 founded by the Polish National Sciences Centre; Peat - AcroCato founded by the FP7 Interact - Transnational Access.

1. Bambalov N. Regularities of peat soils anthropic evolution. In: Degradation of peat soils and differentiation of habit conditions of hydrogenic areas // Acta Agrophys. - 2000. - 26. - P. 179-203.
2. Bieniek A., Łachacz A. Transformations of peat soils exposed to drainage in Łyna River Valley. In: Necessity of peatlands protection. (Eds) Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Szczepański M. Wyd. Prodrug, Poznań, 2012. - P. 203-222.
3. Chodak M., Niklińska M. Development of microbial biomass and enzyme activities in mine soils // Pol. J. Environ. Stud. - 2012. - 21(3). - P. 569-577.
4. Claus H. Laccases: structure, reactions, distribution // Micron. - 2004. - P. 35, 93-96.
5. Efremova T.T., Ovchinnikova T.M. Oxidoreductase activity of peat soils as an indicator of the degree of biochemical transformation of drained and forested bogs in West Siberia // Biol. Bull. - 2007. - 34(3). - P. 297-302.
6. Fenner N., Freeman C., Reynolds B. Hydrological effects on the diversity of phenolic degrading bacteria in a peatland: implications for carbon cycling // Soil Biol. Biochem. - 2005. - 37. - P. 1277-1287.

7. Freeman C., Evans C., Monteith D.T., Reynolds B., Fenner N. Export of organic carbon from peat soils // *Nature*. - 2001. - 412. - P. 785.
8. Freeman C., Ostle N.J., Fener N., Kang H. A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands // *Soil Biol. Biochem.* - 2004. - 36. - P. 1663–1667.
9. Harborne J.B. Role of secondary metabolites in plants and their degradation in nature. *In: Driven by nature: Plant litter quality and decomposition.* (Eds) Cadish G., Giller K.E. CAB International, 1997. - 432 p.
10. Hertkorn N., Permin A., Perminova I.V., Kovalevskii D., Yudov M., Petrosyan V., Kettrup A. Comparative analysis of partial structures of a peat humic and fulvic acid using one- and two-dimensional nuclear magnetic resonance spectroscopy // *J. Environ. Qual.* - 2002. - 31. - P. 375–387.
11. Okruszko H. Transformation on fen peat soil under the impact of draining // *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* - 1993. - 406. - P. 3–73 (in Polish).
12. Pind A., Freeman C., Lock M.A. Enzymatic degradation of phenolic materials in peatlands-measurement of phenol oxidase activity // *Plant Soil.* - 1994. - 159. - P. 227–231.
13. Sokołowska Z., Szajdak L., Matyka-Sarzyńska D. Impact of the degree of secondary transformation on acid–base properties of organic compounds in mucks // *Geoderma.* - 2005. - 127. - P. 80–90.
14. Szajdak L.W., Gaca W., Meysner T., Styła K., Maryganova V. Enzymes activity and IAA contents in soils. *In: Forestry and agroforestry. Research methods in plant sciences.* (Eds) Narwal S.S., Pavlovic P., John J., S.S. Studium Press, Houston. Texas LLC. USA, 2011a. - Vol. 2. - P. 207–230.
- Szajdak L.W., Meysner T., Styła K. Biochemical and chemical characterization of soils under shelterbelts and adjoining cultivated fields. *In: Shelterbelts: efficient element of the landscape. Chemical and biochemical investigations of ground water and soil.* (Ed) Szajdak L.W., LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, Germany, 2011b. - P. 33–53.
15. Szajdak L.W., Szatyłowicz J., Kölli R. Peats and peatlands, physical properties. *In: Encyclopedia of Agrophysics.* Gliński J., Horabik J., Lipiec J. (Eds) Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland, Springer, 2011c. - P. 551–555.
16. Systematic of Polish Soils Wyd. 5, PTG, Marcinek J., Komisarek J. (Ed) *Roczn. Glebozn.* - 2011. - 62(3). - P. 1–193 (in Polish).
17. Udawatta R.P., Kremer R.J., Garrett H.E., Anderson S.H. Soil enzyme activities and physical properties in a watershed managed under agroforestry and row-crop systems // *Agric. Ecosyst. Environ.* - 2009. - 131. - P. 98–104.
18. WRB 2007. World Reference Base for Soil Resource. World Soil Resources Reports FAO, ISRIC, ISSS, Rome.

SOUTH SIBERIAN MOUNTAIN MIRES: DIVERSITY AND TYPOLOGY

I.I. Volkova

Tomsk State University, Russia
E-mail: volkovhome@yandex.ru

Introduction

Unique pristine complexes of taiga forests, sub-alpine and alpine meadows, tundra and wetlands still exist in extensive territories in the southern Siberian mountains. These complexes function as natural ecosystems with rich biodiversity, including rare and endemic plant and animal species. Siberian mountain ecosystems include many peat mires which are sources of supply to many river basin heads, including the upper Ob' – the largest Siberian river.

Unfortunately, there are very limited data about the peat accumulating wetlands from this region. Our research objective was to establish a scientific basis for the protection of mountain mires – rare natural wetland type in continental Asia – at the territory of South Siberian mountain land – Altai (about N 49°04'–55°38' and E 83°57'–89°52').

Study site

Altai is a large mountain country (about 150 thousand km²) in the south of Western Siberia with a range of various climate, relief, hydrology and vegetation conditions in different parts. Thus, the climate varies from hyper-humid on the western macro-slope of Kuznetsky Alatau ridge in the north of the Altai region where precipitation reaches

3000 mm per year to arid with only 120 mm per year in the South-Eastern Altai.

Results and discussion

As our research in the Altai Mountains confirmed, significant mires with thick peat deposits occur even in the most arid regions of the Altai. Mountain mires occupy concave and flat areas such as large depressions (7), high-mountain circuses (4), river valleys (8), saddles (2), flat tops (1), the slopes foots (5) and even gentle slopes (3) of the mountains (Fig. 2).

Peat deposits of mountain mires are relatively not deep (on the average 50 cm depth). This is because severe mountain conditions cause only a little biological productivity of peat-forming plants and there is slow decomposition of plant remains. But, considerable peat deposits can be found on occasion in the wettest areas of Western and Central Altai (maximal deposit depth exceeds 3 m) and Kuznetsky Alatau ridge (up to 3.9 m depth). Sedge (mainly the remains of *Carex altaica*), brown-moss-sedge and sphagnum peat types are found most frequently.

Mountain mires act as natural filters, reservoirs, and sources of clean water. Due to their position on the main streams, mountain peat mires have a significant influence on the hydrological regime of the territory and they are capable of removing pollutants (heavy metals, dust, etc.) from running waters. The filtration capacity of mires in the vicinity of the Kuznetsk Coal Basin (Kemerovo province) is revealed most strikingly by heavy metal pollution, which is precipitated from the atmosphere through rainfall on the mountain slopes. The content of many elements in the water of inlets to the studied mires is appreciably higher (1.5–10 times)

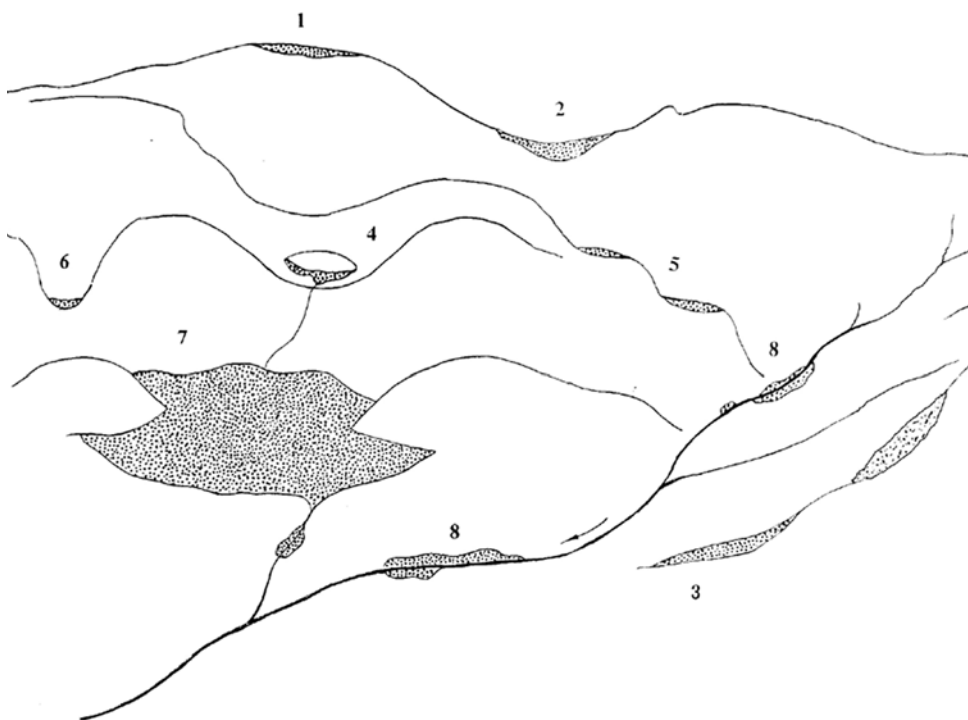


Fig. 1. Topological classification of mountain mires of South Siberia (1-8 – mire massif (mire system) type



Fig. 2. Crooked birch *Betula alba* ssp. *tortuosa* – characteristic element of mire plant communities of the wettest and snowiest regions of Altai mountain land (Kuznetsky Alatau ridge)

than in outlets [1]. The majority of heavy metals studied by us in the peat of mire complex ‘Krestovskye mires’ in Kuznetsky Alatau mountains at the north of Altai – such as zinc, mercury and lead – showed increased concentrations in the top layers of the peat deposits of mountain mires as well as in upper levels of slopes with mires. This is also characteristic of all other investigated mires of Altai. We refer this fact to industrial human activity.

Being the sources of rivers and streams, mountain mires control the level of groundwater and protect the surrounding landscapes from flood in periods of intense snowmelt.

Mountain mires make a significant contribution to biodiversity. They differ from other ecosystems by the large variety of habitats they include. This habitat diversity increases with the altitude and allows the existence of not only characteristic mire plants (sphagnum mosses, cranberry, marsh cinquefoil *Comarum palustre*, buckbean *Menyanthes trifoliata*, etc.) and animals, but also a significant amount of alpine and plain species (originating in steppe, tundra, forest). Many of these species are rare, endangered, or vulnerable. For example, six sedges, rare in the Altai Republic, grow here on mountain mires (*Carex bicolor*, *C. marina*, *C. tenuiflora*, *C. heleonastes*, *C. serotina*, *C. dioica*). The green moss *Calliergonella cuspidata* is found usually on extensive plain mires (fens) on the south of a taiga zone of Siberia, but is rare in Altai and occurs here in only a few sites, including the Aru mire massif (South-Eastern Altai) [2]. *Sphagnum subfulvum* Sjors was found by us firstly for Altai as well as for South Siberia. This species dominates in moss cover of shrub-sedge-sphagnum mire in the valley of Multa River in Central Altai, on other mires of Altai occurs rarely as singular plants. This finding is very interesting taking into account the distribution area of this species concentrated near to oceans.

In the European Russia, *Sphagnum subfulvum* is widely distributed in the northern taiga subzone of the Kola Peninsula and Karelia and grows usually in eutrophic-mesotrophic mires of aapa-type.

A rare and rather decorative sub-alpine wet-meadow lousewort species *Pedicularis longiflora* occurs on streams at the Aru mire in South-Eastern Altai, being here at the north-west border of its habitat, which is concentrated in the Central Asian mountains.

The Red Data Book of Russia species – orchid *Liparis loeselii* – inhabits the territories of mountain mires of Kuznetsky Alatau, as well as *Rhynchospora alba*, *Listera cordata* and *Dactylorhiza*-species, which are rare in the Siberian mountains. Almost 5% of vascular plants inhabiting mires are endemic species of South Siberia.

South-Siberian mountain peatlands and mires sustain important populations of crooked birch (*Betula alba* ssp. *tortuosa*) (Fig. 2). These rare birch stands are included in the Green Data Book of Siberia [3], and occur only in the wettest and snowiest regions of the Altai Mountains (western macro-slope of Kuznetsky Alatau ridge) where the eastern border of their natural habitat is situated. Such communities are widespread in sub-continental mountain regions of Scandinavia on peat-covered and rocky slopes of humid high mountains.

The mires also include habitats for rare birds and animals. Thus, Altai mountain mires and wetlands provide the food sources and nesting place for birds, including Red Data Book species, such as ruddy sheldrake (*Tadorna ferruginea*), demoiselle (*Anthropoides virgo*), common crane (*Grus grus*) and the extremely rare black stork (*Ciconia nigra*). Nests of *Gallinago solitaria*, which is a rare mountain bird species, can be discovered on high sphagnum ridges in mire territories.

There is great variety in the genesis and structure of Altai mountain mires. In the northern regions of Altai, the mire formation is connected to humid



Fig. 3. The largest mire of Altai, Tugurukskoje mire

climate, while in the arid south part of the region basic mire-forming factors are relief and geology defining the groundwater level. In regions with permafrost, main paludification factors are the existence of a waterproof layer of frozen ground, and the low average air- and ground temperature. These factors result in low evaporation and, as a result, mires can appear and develop even with low precipitation. For example, the largest mire of Altai, Tugurukskoje mire (Fig. 3.), owes its existence not only to the barrier effect of the Terektinsky mountain ridge that intercepts and condenses the precipitation, but also to temperature inversions. Cold air accumulates above the bottom of the extensive Tugurukskaja mountain depression. This determines not only low evaporation but also peat freezing and, as a result, impermeability to water.

Low average temperatures and permafrost contribute also to the development of numerous mires on the Ukok plateau in the southern Altai Republic with extremely low precipitation. Another large mire, the Aru mire, exists in the arid region of South-Eastern Altai mainly at the expense of ground water. In the midst of current climate changes, that mire shows the steady shrinking connected with groundwater level decrease. Its former borders can be established in accordance with the borders of distribution of frost-formed ground hummocks, accompanying ground water outputs. The observed rate of change allows us to suggest, that some unique mountain mire ecosystems are degrading and disappearing. An analysis of the rate and direction of changes in mire landscapes reflects the tendencies of environmental changes both on the regional and global (biosphere) level. We may with confidence

consider Siberian mountain mires to be an important object for monitoring climate change dynamics.

Conclusion

One of the most interesting natural phenomena in the mountains of Siberia is the peat-forming wetlands – mires. Mountain mires act as natural filters, reservoirs, and sources of clean water as well as providing a significant contribution to biodiversity. There is no doubt that mires have a critical role in the carbon cycle, and hence, in the maintenance of biosphere stability under conditions of increasing human impact.

Research on mires can be useful in solving many important fundamental and applied scientific problems, from the reconstruction of past climate based on analysis of peat strata, to optimisation of land use and biodiversity conservation. Mires as vital landscape features are critical for conserving and promoting biodiversity and are apparent especially in arid regions of Altai, where they are natural refuges for hygrophilous plants, animals and their communities.

While a strategy of natural resource management and wise use is developed for the Altai region, there should be special attention given to mires and other wetlands. The study of mires will help solve a number of problems of science and nature protection and will promote the performance by the Russian Federation of its international obligations, accepted in frameworks of the Ramsar Convention on Wetlands and the Convention on Biodiversity. Undoubtedly, some of the Altai mountain mires deserve the status of wetlands of international importance as unique mires (peatlands, wetlands) of intra-continental mountain systems of Asia.

1. Volkova II, Bajkov KS., Syso AI. Mires of the Kuznetsky Alatau as natural filters of environmental waters // Contemporary problems of ecology. - 2010. - 17(3). - P. 379-388.
2. Volkova I., Volkov I., Kuznetsova A. Mountain mires of South Siberia: biological diversity and environmental functions // International Journal of Environmental Studies. - 2009. - Vol. 66, No. 4. - P. 465–472.
3. Green Book of Siberia: Rare and Requiring Protection Plant Communities. - Novosibirsk: Nauka, 1996. - 396 pp. (in Russian, English summary).

HYDROLOGICAL REGIME OF SIBERIAN WETLANDS FROM SATELLITE AND IN-SITU OBSERVATIONS

E.A. Zakharova^{1,2*}, A.V. Kouraev^{3,2,5}, F. Garestier⁴, F. Rémy¹, S.N. Kirpotin⁵, S.N. Vorobyev⁵, A.Ye. Berezin⁵

¹ CNRS; LEGOS, F-31400 Toulouse, France

² State Oceanography Institute, St. Petersburg branch, Russia

³ University of Toulouse; LEGOS, F-31400 Toulouse, France

⁴ M2C - UMR CNRS 6143, University of Caen, France

⁵ Tomsk State University, Tomsk, Russia

* E-mail: zavocado@gmail.com

Variability of hydrological processes in the Western (Poluy, Nadym, Pur and Taz river basins or PNPT) and Central (Yakutsk region) Siberia is studied at different temporal (from multi-year to seasonal) and spatial (from local to regional) scales. We use satellite radar altimetry (T/P, Jason, ENVISAT and SARAL/AltiKa), radiometry (SMOS, SSM/I) in combination with the in situ observations and the recent field studies done in 2008-2013 (Zakharova et al., 2011; 2014).

We present the variability of water level (from radar altimetry) and surface properties (from altimeter waveforms parameters) for different studied watersheds. Seasonal and interannual variability of water abundance is studied using radar altimetry and radiometry.

We have identified three main types of wetland water regime characterised by: 1) spring inundation

and following deep drainage with/without secondary peak in autumn; 2) spring inundation and low summer variation; 3) spring inundation with medium summer drainage and second autumnal peak.

Our results show that seasonal amplitude of water level variation for northern part of Western Siberia from altimetry is 0.7-1.5 m for lakes and 0.2-0.5 m for bogs. This represents seasonal variation of wetland water storage of 480 mm for non-permafrost and 130 mm for permafrost-affected zones.

In the northern part of the Western Siberia thermokarst lakes (arctic ponds) dry out, and it is still not clear in what degree it is related to climate change and/or human activity, and what are the mechanisms - subsurface infiltration or surface drainage. There is also a significant difference in evolution of thermokarst lake complexes between Western Siberia and more arid Central Siberia.

This research has been done in the framework of the Russian-French cooperation GDR1 "CAR-WET-SIB" and "Franco-Siberian Center for Research and Education", French ANR "CLASSIQUE", PNTS "Permafrost" and CNES TOSCA SWOT projects, Russian FZP 1.5 and EU FP7 MONARCH-A projects

1. Zakharova E.A., Kouraev A.V., Remy F., Zemtsov V.A., Kirpotin S.N. Seasonal variability of the Western Siberia wetlands from satellite radar altimetry // Journal of Hydrology. - 2014 (in press)

2. Zakharova E.A., A.V. Kouraev, S. Biancamaria, M.V. Kolmakova, N.M. Mognard, V.A. Zemtsov, S.N. Kirpotin, B. Decharme. Snow cover and spring flood flow in the northern part of Western Siberia (the Poluy, Nadym, Pur and Taz rivers) // Journal of Hydrometeorology. - 2011. - Vol. 2. - P. 1498-1511. DOI: 10.1175/JHM-D-11-017.1

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ВЕРХНЕГО СЛОЯ ТОРФА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ОТРОГОВ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

SPATIAL STRUCTURE OF VEGETATION AND TOP LAYER OF PEAT IN NORTHEASTERN SPURS OF VASIUGAN BOG BY REMOTE AND GROUND-BASED DATA

М.Н. Алексеева^{1*}, Ю.И. Прейс^{2}, Е.А. Дюкарев², Н.Н. Пологова²**
M.N. Alekseeva¹, Yu.I. Preis², E.A. Dyukarev², N.N. Pologova²

¹ Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

¹ Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia

*E-mail: amn@ipc.tsc.ru

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk, Russia

**E-mail: preisui@rambler.ru

Использование космических снимков для комплексного исследования природных объектов, в том числе для оценки современного ресурсного потенциала болот и скорости возобновления торфяных ресурсов, актуально при исследовании труднодоступных и сильнозаболоченных территорий Западной Сибири.

Цель работы - подобрать обучающие выборки и с использованием космических снимков составить карту растительного покрова южнотаежного ключевого участка «Икса-Бакчарский», в пределах которого расположены два северо-восточных отрога Большого Васюганского болота, при совместном использовании данных наземных наблюдений и спутникового зондирования. Использование результатов наземных подспутниковых исследований значительно повышает точность дешифрирования космических снимков.

Для классификации растительного покрова ключевого участка «Икса-Бакчарский» использовались продукт MCD12Q1 и снимки Landsat 7. Для получения наибольшего охвата территории участка «Икса-Бакчар» КС была создана мозаика из двух снимков КС средствами программы ERDAS Imagine. Продукт MODIS 3-го уровня обработки «MCD12Q1» (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>), представляет набор классифицированных растров глобального охвата, имеющих 500-м пространственное разрешение. Продукт включает набор из 5 различных классификационных схем растительного покрова, а также служебные слои оценки качества классификации растров. Нами была использована наиболее дробная классификационная схема ландшафтного покрова Международной геосферно-биосферной программы (IGBP) (Belward et al., 1999), включающая 16 классов (1-й слой продукта MCD12Q1). После визуальной оценки классифицированного по схеме IGBP растра и сравнения его с космической съемкой Landsat исходный продукт «MCD12Q1»

был доработан и представлен нами в виде основных типологических единиц растительности. При обработке и дешифрировании космических снимков Landsat использовалась классификация типологических единиц растительного покрова (Дюкарев, Пологова, 2008). Формирование обучаемых эталонов и автоматическая классификация космических снимков Landsat проведены с использованием инструментальных средств системы ERDAS Imagine. Растительность открытых поверхностей как болот, так и суходольных территорий может иметь сходные спектральные характеристики, неразличимые методами автоматической классификации и автоматически объединяются в один класс. Поэтому распознавание классов наземного покрова проводилось отдельно по водораздельным, террасным и незаболоченным территориям. Проверка качества классификации типологических единиц растительного покрова на космических снимках проводилась путем сопоставления результатов обработки космических снимков Landsat с имеющимися данными наземных исследований и реконструкции растительности по ботаническому составу верхнего слоя торфа по данным фондовых материалов геологической разведки (Геологический отчет..., 1988). Для исследованной территории для составления карты растительности и верификации результатов классификации использован большой массив данных наземных исследований - более 20 точек с детальными полевыми ландшафтными исследованиям болотных экосистем и свыше 200 точек классифицированы по результатам экспертного анализа спутниковых снимков высокого разрешения (Quckbird).

Большинство из представленных в таблице выделов выявляются с точностью более 30% по отношению к полевым геоботаническим описаниям. Исключением являются выделы 9 и 10, переходные между залесенными и открытыми

Таблица. Классы растительности «Икса-Бакчарского» ключевого участка и их площади (S)

№ выдела	Класс растительности	Площадь (S), га	Доля от S КУ, %	Доля от S основного класса, %
Леса		755443	51,6	
1	Темнохвойный лес	354404	24,2	46,9
2	Лиственный лес	295378	20,2	39,1
3	Смешанный лес	105661	7,2	14,0
Болота водораздельные		437967	29,9	29,9
Залесенные		218332	14,9	14,9
4	Рослый рям	80776	5,5	37,0
5	Сухой рям	7008	0,5	3,2
6	Рям островной	11638	0,8	5,3
7	Низкий рям	65812	4,5	30,1
8	Рямово-мелкомочажинный комплекс	47033	3,2	21,5
9	Мочажинно-рямовый комплекс	6065	0,4	2,8
Открытые		219635	15,0	15,0
10	Грядово-мелкомочажинный комплекс	5578	0,4	2,5
11	Грядово-среднемочажинный комплекс	57248	3,9	26,1
12	Грядово-крупномочажинный комплекс	28034	1,9	12,8
13	Шейхцериено-сфагновая топь	37733	2,6	17,2
14	Осоково-сфагновая топь	46348	3,2	21,1
15	Открытое сфагновое болото	39957	2,7	18,2
16	Водные объекты	4738	0,3	2,2
Болота террасовые, залесенные		108983	7,4	7,4
17	Заболоченный сосновый лес	15259	1,0	14,0
18	Согра	8354	0,6	7,7
19	Рям террасовый	15503	1,1	14,2
20	Березово-разнотравно-гипновое	54133	3,7	49,7
21	Ерниково-осоково-гипновое	15735	1,1	14,4
Прочие земли		162443	11,1	11,1
22	Поля, луга, пашни	122855	8,4	75,6
23	Пойма	3956	0,3	2,4
24	Населенный пункт	5450	0,4	3,4
25	Мелиорированное болото	21667	1,5	13,3
26	Вторичная травяно-кустарничковая растительность на мелиорированном болоте	8519	0,6	5,2
Всего		1464840		

болотами. Невысокая точность (13 %) получена для выдела 12, в связи со сходством его с 11.

На исследуемой территории выделены леса, разделяющиеся по породному составу древостоев и степени гидроморфности на 3 класса. Выделено 9 типов болотных залесенных и 8 типов открытых болотных микроландшафтов, а также сельскохозяйственные угодья, водные и техногенные объекты.

Заболачивание происходит как по периферии болот, так и на удаленных от основного массива первичных центрах - локальных западинах.

Специфичным индикатором такого заболачивания являются рямы - сосновые древостои с кустарничково-сфагновым покровом. Рямовые сообщества занимают до 67 % площади залесенных междуречных болот как на мощных торфах в центрах болотных массивов, так и по их периферии. На слабо заболоченных участках междуречий в приречной дренируемой части при слиянии рек рослые рямы (занимают до 37 % в структуре болотных микроландшафтов) совместно с «сухими» и «островными» рямами (соответственно 3 и 5%) образуют обширные самостоятельные

контуры на месте первичных впадин, диагностируя поздние стадии заболачивания (мощность торфа до 120-150 см). На периферии болот наиболее крупные контуры рослых рямов приурочены преимущественно к местам разгрузки болотных вод и окаймляют их стыки с первичными речными водотоками. Выявленные закономерности свидетельствуют о том, что наряду с оформленным стоком с болот, происходит и значительное площадное подтопление периферии Бакчарского болота. Поэтому на большей части периферии болот рослые рямы не выражены, либо выделяются очень узкой полосой, переходя в значительную по ширине полосу мелкорямового сообщества на торфах мощностью до 150 см (их доля составляет 15 % от площади рямов). В южной части ключевого участка на водораздельном Бакчарском болоте расположены объекты осушения, где на площади 22 тыс. га в 1965-1970 гг. проведено осушение открытыми каналами. Осушение проведено без изъятия торфа. В последующее время произошло зарастание участков осушения болот лиственными породами – березой, ивой, а в примыкающих рямах уже к настоящему времени отмечается увеличение роста сосны.

Лесные ландшафты занимают 40 % ключевого участка. Характерные для южной тайги темнохвойные леса с травяно-моховым покровом составляют 12 % от площади лесов и сохранились на небольших участках. Заболоченные леса смешанного состава занимают до 13 % от общей площади лесов. В эти площади входят также участки кедровников сфагнового типа по окраинам болот. На основной части лесной территории развиты влажные и сильно увлажненные травяные типы березняков и осинников (75 %). Березовые леса преобладают по площади и представлены двумя большими группами: осоково-широколистными, занимающими повышенные хорошо дренированные местоположения с глубокогумусированными суглинистыми почвами; осоково-вейниковыми, располагающимися в пониженных увлажненных местах на перегнойно-глеевых и торфянисто-перегнойно-глеевых почвах. Преобладание в современном покрове мелколиственных лесов объясняется тем, что с начала XX-го столетия растительный покров территории подвергался естественным и антропогенным изменениям. Большое влияние на современный лесной покров оказали пожары начала XX века, охватившие большие территории коренных темнохвойных лесов. На гарях и вырубках на богатых минеральных почвах распространилось высокотравье, сдерживающее возобновление хвойных пород. На территории ключевого участка широко распространены разреженные мелколиственные леса, а коренные темнохвойные леса из ели, пихты и кедра оттесняются в более

влажные местообитания. К настоящему времени в свежих местообитаниях отмечается устойчивое возобновление кедра, ели и пихты. Пожары с периодичностью от 12 до 20 лет случаются как в лесах, так и в приболотном поясе, где выгорают верхние слои торфа. Территория незалесенных массивов (сельскохозяйственные и залежные земли) составляет 14,2 %. Сокращение использования площадей пахотных земель и сенокосов по их назначению с 90-х годов XX в. привело к формированию вторичных лугов на месте пашен, частичному их зарастанию подростом березы. Изменение спектральных характеристик трансформированных территорий и восстановление вторичной растительности уже заметно на части сельскохозяйственных выделов и подлежит анализу при локальном дробном дешифрировании снимков разного времени. Техногенные объекты (дороги, населенные пункты) составляют около 0,24 % площади ключевого участка. Дешифрирование космических снимков расширяет возможности ландшафтного анализа территории и представляет интерес для экстраполяции системы накопленных точечных данных для анализа пространственных закономерностей взаимодействия лесных и болотных систем, а также позволяет выявлять различные виды нарушения естественного состояния ландшафтов.

Основную часть (44 %) территории занимают болотные массивы, в структуре которых, в зависимости от их расположения, меняется соотношение болотных микроландшафтов как открытого, так и облесенного типов. Открытые водные поверхности (0,3 % общей площади или 2 % площади болот) широко распространены в северной части Бакчарского болотного массива и центральной на Иксинском болоте. Из открытых болот на водоразделах наибольшие площади занимают грядово-среднемочажинные комплексы (26%) и осоково-сфагновые топи (21%). Выявленный рисунок соотношения болотных микроландшафтов разной степени обводнения рямово-мочажинных (25%), грядово-мочажинных (40%), озерковых (2%) и топных (38%) комплексов меняется в разных частях массивов в соответствии с особенностями их формирования.

Геоморфологические условия залегания болот определяют тип их водного питания: на исследованной территории олиготрофные болота занимают современные междуречья, а эвтрофные типы болот развиты преимущественно в поймах и на террасах рек.

В среде ArcGIS проведен геопрограммный анализ отлагаемого классами растительного покрова видов верхнего слоя торфа. Была проведена пространственная регистрация базы данных (наложение точек наземных исследований на исходный KC Landsat) по 518 точкам

торфяной залежи (Геологический отчет..., 1988) территории Иксинского болота. Далее выбраны виды верхнего слоя торфа и сопоставлены с классами растительного покрова, которые были ранее выделены на КС.

Из точек встречаемости ангустифолиум торфа преобладают рямово-мелкомочажинный комплекс и открытое сфагновое болото. Комплексный вид торфа преобладает в рямово-мелкомочажинном, грядово-среднемочажинном и грядово-крупномочажинном комплексах, магелланикум торф встречается в преобладающем количестве точек в низком ряме, рямово-мелкомочажинном комплексе, осоково-сфагновой топи и открытом сфагновое болоте, переходный осоково-сфагновый - в осоково-сфагновой топи и грядово-среднемочажинном комплексе, переходный осоковый - в осоково-сфагновой топи, сфагновый мочажинный - в рямово-мелкомочажинный комплексе, осоково-сфагновой топи, грядово-среднемочажинном и грядово-

крупномочажинном комплексах. Фускум торф является наиболее распространенным и встречен в 229 точках бурения, наиболее распространен в низком ряме, рямово-мелкомочажинном комплексе, грядово-среднемочажинном и грядово-крупномочажинном комплексах. Такое распределение точек свидетельствует о большой мозаичности и не полном соответствии верхнего слоя залежи современному растительному покрову, так как пункты бурения геологической разведки были заложены в основном на положительных элементах микрорельефа комплексов.

Таким образом, обработка космических снимков Landsat в системе ERDAS Imagine и формирование цифровых слоев в ArcGIS позволили наглядно картографически представить пространственную структуру растительного покрова и отлагаемого ими верхнего слоя торфа труднодоступного вследствие высокой обводненности Иксинского болота.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ

1. Дюкарев Е.А., Пологова Н.Н., Головацкая Е.А. Технологии дистанционного зондирования для установления структуры лесоболотных комплексов ключевого участка «Бакчарский» // Журнал Сибирского Федерального университета. Серия «Техника и технологии». - 2008. - Т.1. №4. - С. 334-345.
2. Центр обработки данных NASA (Goddard Distributed Active Archive Center - DAAC) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>
3. Belward A.S., Estes J.E., Kline K.D. The IGBP-DIS Global 1-km Land-Cover Data Set DISCover: A Project Overview // Photogram. Eng. Remote Sens. - 1999. - V. 65. - P. 1013-1020.
4. Геологический отчет о детальной разведке месторождения «Васюганское» (участок № 5 у села Плотниково) Шегарского и Бакчарского района Томской области, 1987-1988 г. – Т. 5. – 355 с.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ БОЛОТ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ВОДЛОЗЕРСКИЙ» НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ STUDY OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE VODLOZERSKY NATIONAL PARK MIRES BASED ON GIS TECHNOLOGY

В.К. Антипин
V.K. Antipin

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

E-mail: Antipin@krc.karelia.ru

Национальный парк «Водлозерский»

National Park «Vodlozerskiy»

E-mail: avk-krc@yandex.ru

Национальный парк «Водлозерский» – один из крупнейших лесо-болотных парков России и Европы. Общая площадь его болот (болотная биота) – 191 тыс. га (41% территории). Почти все они находятся в естественном состоянии, являются эталонами разнообразия природных

экосистем таежной зоны восточной Фенноскандии. Болота парка – важные объекты научных исследований, экологического туризма, просвещения и рекреации (Антипин, 2010).

Болота Водлозерского парка изучаются нами с 1987 г (Антипин и др., 2001). Основными



Рис. Пространственная структура болотной системы Лижкмох

объектами пространственной структуры болот являются фитоценозы, болотные участки (или фации), болотные массивы и болотные системы. Они представляют собой различные по площади территориальные болотные выделы, имеют границы и находятся под воздействием определенных ведущих факторов, обуславливающих их свойства и структуру. Каждому из них соответствует свой уровень структурной организации, изучение которой предполагает применение разных методов (Лопатин, 1954; Мазинг, 1988).

Пространственная структура болот парка изучается при помощи полевых и дистанционных методов на основе ГИС-технологий (Антипин, Токарев, 2013). Используется геоинформационная система «Национальный парк «Водлозерский» разработанная в 1999 г. в Отделе ГИС Регионального Центра информатизации при Петрозаводском госуниверситете. Она базируется на программном обеспечении MapInfo Professional для Windows и представляет собой комплекс подсистем, обеспечивающих выполнение функций ввода, накопления, хранения, обработки и использования цифровой картографической информации, атрибутивных и тематических баз данных.

Применяются синтезированные (многозональные) цветные космические снимки SPOT 5 и Landsat 7 (разрешение 20 - 30 м), на которых по установленным нами дешифровочным признакам изучается пространственная структура болот (Антипин, Токарев, 2001, 2012). На снимках дешифруются виды болотных участков. Типы

болот устанавливаются по составу, соотношению и местоположению доминирующих на них участков.

Важнейшей задачей научно-исследовательских работ является составление электронных карт, отражающих пространственную структуру болот парка. Первой из них стала карта «Типы болот и систем Национального парка «Водлозерский». Она состоит из тематических слоев: «Болота северной части парка» и «Болота южной части парка», и насчитывает более 400 болотных контуров. В легенде (6 знаков) карты выделены болота дистрофного лишайниково-мохового, олиготрофного сфагнового, мезотрофного сфагнового и аапа типов и их системы. Данная карта наглядно демонстрирует пространственную структуру биоты парка на уровне «тип болота». На ее основе создана карта «Районирование болот НП «Водлозерский».

Болотный участок рассматривается как основная надфитоценотическая, однородная по экологическим условиям и растительности пространственная единица структурной организации болот (Лопатин, 1954).. На болотах Водлозерского национального парка выделено 46 видов болотных участков. По режиму водно-минерального питания и стадии развития они подразделяются на 7 типов: евтрофный (Е), мезоевтрофный (МЕ), мезотрофный (М), мезоолиготрофный (МО), олиготрофный (О), дистрофоолиготрофный (ДО) и дистрофный (Д). Среди них наибольшим разнообразием отличаются следующие участки: М – 16 видов, О – 9 МО – 8 видов фаций.

Таблица. Болотные участки болота Лишкмох

Вид болотного участка	Кол-во, шт.	Площадь участка, га		Доля на болоте, %
		мин/мах	Общая	
Олиготрофный тип				
Сосново-кустарничково-сфагновый	10	3,2 / 109	255,3	12
Кустарничково-пушицево-сфагновый	2	11,9 / 18,3	30,2	1
Пушицево-сфагновый	5	22,3 / 60,8	168,9	8
Сфагновый грядово-мочажинный	7	23,4 / 134	506,8	24
Итого	24		931	45
Мезоолиготрофный тип				
Осоково-пушицево-сфагновый	4	18,1 / 494,8	197,1	9
Вахтово-сфагновый	2	2,4 / 125,9	128,3	6
Итого	6		325,4	15
Мезотрофный тип				
Осоково-сфагновый	13	9,7 / 108,4	458,2	21
Травяно-сфагновый	5	3,3 / 36,1	85,6	4
Травяно-сфагновый аапа	1	140,5	140,5	7
Итого	19		684,3	32
Мезоевтрофный тип				
Древесно-травяно-сфагновый	4	12,2 / 57,3	169,3	8
Всего	53		2140,2	100

Выявлено 4 вида евтрофных, 5 – мезоевтрофных и по 2 вида дистрофных и дистрофноолиготрофных фаций (Антипин и др., 2001).

В 2013 году проведено картирование болота Лишкмох – самого крупного по площади (2140 га) и разнообразного по составу болотных участков на территории карельской (южной части) парка. Болото Лишкмох – это сложная система слившихся болотных массивов олиготрофного сфагнового и аапа типов (Antipin et al, 1997). Она сформировалась в условиях водно-ледникового ландшафта в 2-х неглубоких (2–4 м) котловинах. Система вытянута с севера на юг в среднем на 7 км, с запада на восток – на 3 км. Абсолютные отметки незначительно наклоненной поверхности 145-147 м. На болоте слабый сток почвенно-грунтовых и поверхностных вод.

На основании данных полевых и дистанционных (дешифровочных) исследований на болоте

Лишкмох выделены сосново–кустарничково–сфагновые, кустарничково - пушицево-сфагновые, пушицево-сфагновые, сфагновые грядово-мочажинные, осоково-пушицево-сфагновые, вахтово-сфагновые, осоково-сфагновые, травяно-сфагновые, древесно-травяно-сфагновые и травяно-сфагновые аапа болотные участки. Всего 10 видов. По режиму водно-минерального питания они подразделены на 4 типа. На этом основании была составлена электронная карта «Пространственная структура болотной системы Лишкмох» (рис.). Анализ карты показал, что на болоте доминируют олиготрофные и мезотрофные типы болотных участков (табл.).

Болотные участки болота Лишкмох характерны для олиготрофных, мезотрофных и некоторых типов аапа болот Карелии и Архангельской области.

Исследование выполнено на оборудовании ЦКП НО ИБ КарНЦ РАН.

1. Антипин В.К. Болота Национального парка «Водлозерский» как объекты экологического туризма // Экология Арктических и Приарктических территорий. Архангельск, 2010. - С. 415-417.
 2. Антипин В.К., Бойчук М.А., Бразовская Т. И., Талбонен Е.Л. Растительный покров болот национального парка «Водлозерский» // Национальный парк «Водлозерский»: природное разнообразие и культурное наследие. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2001. - С. 135-144.
 3. Антипин В.К., Токарев П.Н. Разработка методики компьютерного выявления разнообразия болотных участков с использованием аэро- космических материалов Водлозерского национального парка // Биоразнообразие Европейского Севера: теоретические. основы изучения, социально-правовые аспекты использования и охраны. Петрозаводск, 2001. - С.13-14.
 4. Антипин В.К., Токарев П.Н. Структурная организация и картирование болот национального парка «Водлозерский» // Известия Самарского НЦ РАН. - 2012. - Т. 14, № 1 (6). - С. 1584 – 1586.
 5. Антипин В.К., Токарев П.Н. Использование ГИС-технологий в современном болотоведении (на примере Карелии) // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. - С. 249-251.
- Лопатин В.Д. «Гладкое болото» (торфяная залежь и болотные фации) // Учен. записки ЛГУ. Сер. Географ. Наук. - 1954. - Вып. 9. - С. 95-180.
- Мазинг В.В. Структурные уровни растительного покрова // Учен. записки Тартуского гос. ун-та. - 1988. - Вып. 18. - С.122-141.
- Antipin V., Heikkilä R., Lindholm T., Tokarev P. Vegetation of Lishkmoikh mire in Vodlozersky National Park, eastern Karelian republic, Russia // Sou. - 1997. - Vol.48 (4). - P. 93-115.

ЛАНДШАФТЫ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА**LANDSCAPE OF THE GREAT VASYGAN MIRE****А.Е. Березин*, В.А. Базанов, А.А. Скугарев, Т.А. Рыбина, Н.В. Паршина****A.E. Berezin*, W.A. Bazanov, A.A. Skugarev, T.A. Rybina, N.W. Parshina****НИИ биологии и биофизики Томского государственного университета, Россия****Research Institute of Biology and Biophysics, Tomsk State University, Russia*****E-mail: aber@res.tsu.ru**

Болотные ландшафты широко представлены практически на всей территории таежной зоны Западно-Сибирской равнины. Их средообразующая роль имеет планетарное значение и, по мере увеличения площади болотных территорий в результате непрерывного торфообразования, значимость их будет только нарастать. Изучению болотных ландшафтов, их роли в жизни планеты в последние годы уделяется большое внимание. На рассматриваемой территории находится и самое крупное на земном шаре Большое Васюганское болото (БВБ). Опубликовано несколько монографий посвященных этому феномену Западной Сибири (Васюганское болото ..., 2000; Большое Васюганское болото..., 2002; Исследование природно-климатических процессов..., 2012).

Одной из важнейших задач нашего исследования являлось определение общей площади БВБ, положение его внешней границы с нулевыми отметками глубины торфяной залежи, границы и площади выделов различных типов болотных ландшафтов в пределах БВБ. В литературных источниках указываются ориентировочные величины площади БВБ (более 5 млн. га), границы при этом проводятся по-разному, или вообще опускается вопрос их точного определения. По данным Бернатониса В.К. (Бернатонис и др., 2002) со ссылкой на материалы геологоразведочных работ в пределах Васюганского торфяного массива выделяются четыре участка: 1 - Большое Васюганское болото, 2 - Ново-Васюганское болото, 3 - Сосново-Махнинское болото и 4 - разобщенные участки Васюганского болота с торфяными залежами промышленной глубины. Первые три участка составляют единое торфяное тело, площадь которого составляет 4 439 552 га.

В результате наших работ впервые определены следующие характеристики БВБ: внешняя граница и ее протяженность (около 30 тыс. км.), суммарная площадь болотного массива (5,44 млн. га.). По материалам дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) проведено оконтуривание болот в соответствии с их характерными изображениями на космических снимках, которые определяются спектральными характеристиками, обусловленными составом доминантных и эдификаторных видов болотных растений и характером увлаженности болотной поверхности (Bazanov и др., 2009). При этом выделено 15 типов болотных ландшафтов. В основном, при дешифрировании, использованы данные мультиспектральной космической съемки ИСЗ Landsat 7

с разрешением 30 м и уровнем обработки L1G, включающим геометрическую и радиометрическую коррекцию изображений и привязку в картографическую проекцию. Дешифрирование проводилось с использованием автоматизированных алгоритмов обработки космических снимков. В качестве источников дополнительной информации привлекались полевые материалы, фондовые и литературные источники, топографические карты различного масштаба, схемы болотного, геоботанического, физико-географического районирования и т.д. (Базанов и др. 2004). Картирование проводилось в масштабе 1:200000, за минимум ареала был принят участок равный 4 га (2*2 мм в масштабе карты). Типы природных выделов и их площади на территории БВБ приведены в таблице, а распространение типов болотных ландшафтов показано на рис.

Основное «тело» БВБ занимает водораздельную равнину рр. Обь и Иртыш по верховьям рек: Уй, Тара, Омь (притоки Иртыша) и Айсаз, Васюган, Чижалка, Бакчар (притоки Оби). Здесь ширина БВБ максимальна и составляет 30-50 км. Болото имеет асимметричное строение: северный склон занимают верховые и переходные типы болот, в южной части БВБ представлены в основном низинные варианты болот. Широкое распространение низинных болот на водораздельной равнине рр. Иртыш и Обь и на границе таежной и степной зон, по-видимому, можно объяснить только наличием выхода на поверхность грунтовых вод. Так, по мнению Бахнова В.К. (1986) в результате биогеохимического перемещения элементов минерального питания по торфяной залежи неоднородность подстилающих грунтов определяет до определенной степени и неоднородность современной растительности болот. Ряд исследователей (Березин, 1995; Прейс, 2002) считает, что на начальной стадии развития болот их минеральное питание зависело от наличия многолетней мерзлоты в очагах заболачивания, это то же влияло на неоднородность характеристик подстилающей поверхности. Однако, сохранение сильной дифференциации по степени минерального питания участков болот прилегающих к друг другу с мощностью залежи 5-7 м на данной территории без постоянного поступления грунтовых вод нам представляется маловероятным.

Отогги БВБ, простирающиеся на север по водоразделам притоков р. Оби имеют в основном симметричное строение, где центральные части заняты олиготрофными комплексами (ГМК

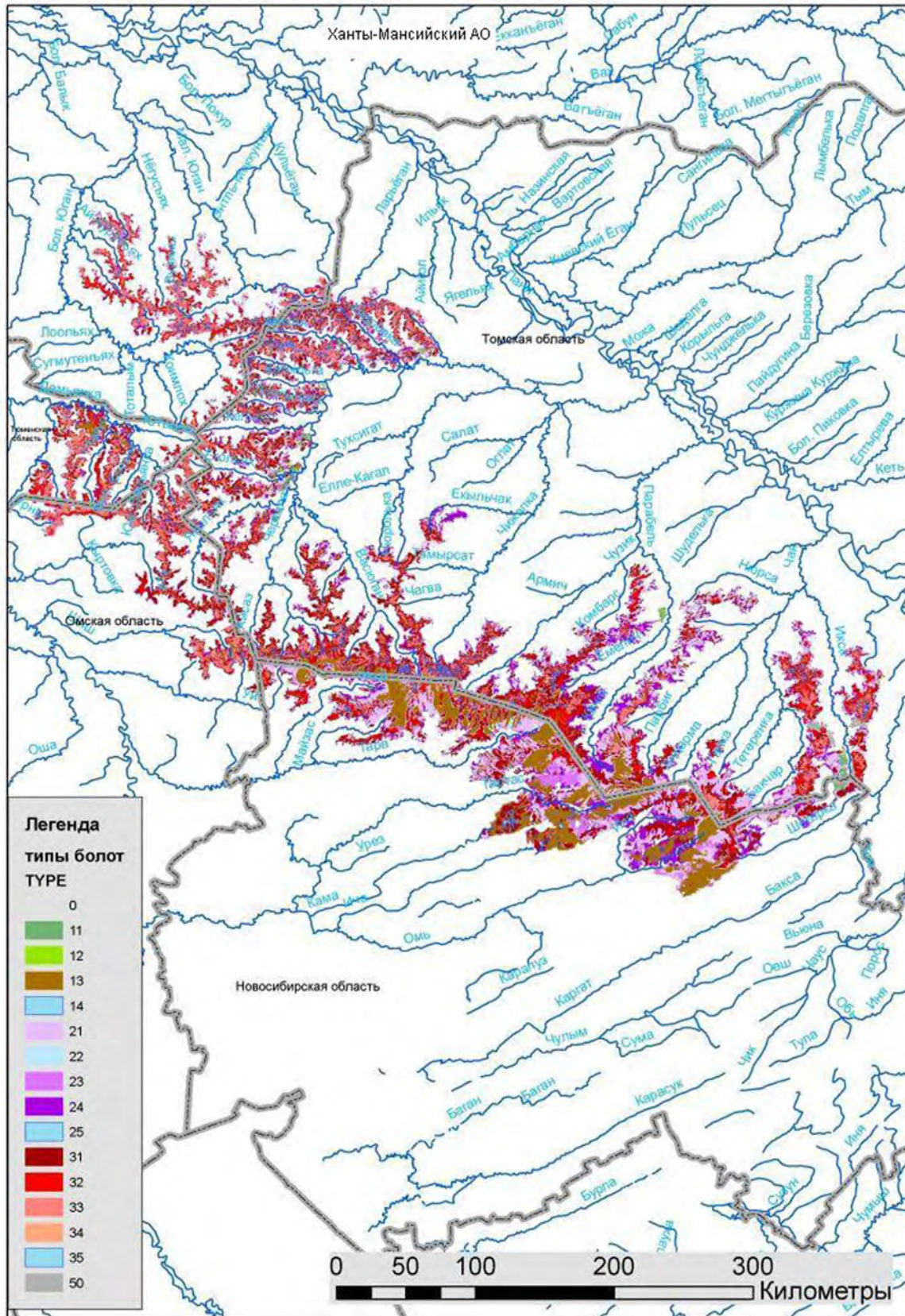


Рис. Ландшафты БВБ (номера в легенде соответствуют типам в табл.1)

и ГМОК), которые окаймлены верховыми рьями и топями. По окраинам этих «языков» расположены топяные мезоолиготрофные и лесные участки болот. Северо-восточные отроги БВБ, занимающие главный Обь - Иртышский водораз-

дел и водораздельные равнины притоков р. Васюган, в целом схожи с северными, но имеют более сложную пространственную конфигурацию. Особенностью отрогов болот, расположенных по водоразделам притоков р. Васюган является то,

Таблица 1. Площади типов болотных ландшафтов в границах Большого Васюганского болота

№ легенды карты	Название типа болота	Площадь, га
11	Древесное кустарничково-мохово-разнотравное болото (согра)	47 442
12	Кустарничково-мохово-разнотравное болото	2 372
13	Кустарничково-гипново-разнотравное болото	545 988
14	Ефтрофное внутриболотное озеро	4 744
Общая площадь низинных болот		600 548
21	Сфагново-разнотравное болото (топь)	918 777
22	Сфагново-разнотравное болото в истоках постоянных водотоков	208 502
23	Древесное кустарничково-сфагново-травяное болото	95 984
24	Сосновое сфагново-осоковое болото	660 328
24	Мезотрофное внутриболотное озеро	2 030
Общая площадь переходных болот		1 885 621
31	Сосновое кустарничково-сфагновое болото (рям)	1 503 448
32	Грядово-мочажинное и мочажинное болото	397 393
33	Грядово-мочажинно-озерковое болото (с озерами нелинейной формы)	931 382
34	Грядово-мочажинно-озерковое болото (с озерами линейной формы)	75 247
35	Олиготрофное внутриболотное озеро	32 740
Общая площадь верховых болот		2 940 210
50	Нарушенные болота (гари)	17 247
0	Лес внутри контура БВБ	61 479
Общая площадь		5 505 105

что на нескольких участках болото распространилось на весь террасный комплекс левобережной долины р. Васюган.

В настоящее время нами ведутся работы направленные на создание базы данных по структуре ландшафтного покрова болот и строению

торфяной залежи с точной географической привязкой всех наземных полевых пунктов обследований. Мы готовы к сотрудничеству в этой работе со всеми заинтересованными учеными, с сохранением авторских прав на предоставленные материалы.

В докладе использованы материалы, полученные при выполнении работ при поддержке CAR-WET-SIB «Biogeochemical cycle of carbon in wetlands of Western Siberia» GDRI (Groupement de recherche international) project и грантов РФФИ 08-04-92497-НЦНИЛ_а, РФФИ 11-04-93106-НЦНИЛ_а.

1. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: наука, 1986.-181с.
2. Базанов В.А., Березин А.Е. Кадастр болот районов нефтедобычи Томской области // Вестник Томского государственного университета. - 2004. - №30, июнь. С. - 28–33
3. Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. / Под ред. М.В.Кабанова. - Томск: Изд-во СО РАН, 2002. - 230 с.
4. Березин А.Е. Болота бассейна среднего и верхнего Васюгана // Чтения памяти Ю.А.Львова. Томск, 1995. - С.56–59.
5. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Здвизжов М.А., Прейс Ю.И., Тихомиров Н.О. Геохимия растений и торфов Большого Васюганского болота / Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. - Томск: Изд-во СО РАН, 2002. - С.204–215.
6. Васюганское болото (природные условия, структура и функционирование). / Под ред. Л.И. Инишевой. - Томск: ЦНТИ, 2000. - 136с.
7. Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота. / Отв. ред. М.В. Кабанов. - Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2012. - 243с.
8. Прейс Ю.И. Криогенез болотообразовательного процесса на территории Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. - Томск: Изд-во СО РАН, 2002. - С.45–63.
9. Bazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytoindication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain. - International Journal of Environmental Studies. 1029-0400. London. - 2009. - Vol. 66 Issue 4. - P. 473 – 484.

**К ВОПРОСУ О РАЗНЫХ МЕХАНИЗМАХ АДАПТАЦИИ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ
К ОЛИГОТРОФНЫМ УСЛОВИЯМ СФАГНОВЫХ БОЛОТ
ABOUT DIFFERENT ADAPTATION MECHANISMS OF VASCULAR PLANTS
TO OLIGOTROPHIC CONDITIONS IN SPHAGNUM BOGS**

М.Я. Во́йтехов

M. Ya. Voytehov

Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, Талдом, Московская область, Россия

The Taldom local administration for the nature reserve, Taldom, Moscow region, Russia

E-mail: Mihail-Voytehov@yandex.ru

На сфагновых болотах в естественном состоянии встречаются сосудистые растения, весьма широко различающиеся по экологическим характеристикам. А.А. Ниценко (1969) относил их по крайней мере к семи выделенным им свитам.

Как показали проводившиеся с 2002 года эксперименты по реинтродукции ряда болотных растений (было посажено по несколько десятков черенков каждого вида) в заполнившиеся сфагновым о́чёсом (*Sphagnum fallax* и *Sphagnum cuspidatum*) канавы на ранее осушенном участке Дубненского лесо-болотного массива (Талдомский р-н Московской обл.), некоторые виды нормально приживаются и образуют в течение нескольких лет вегетативные клоны (*Carex caespitosa*, *Carex limosa*, *Eriophorum vaginatum*), а другие виды после пересадки проявляют признаки угнетения и в течение 1-3 лет погибает (*Calla palustris*, *Carex acuta*, *Carex rostrata*, *Carex vesicaria*, *Equisetum fluviatile*, *Menyanthes trifoliata*, *Scheuchzeria palustris*).

Все виды второй группы, согласно литературным источникам (Бахнов, 1986, Солоневич, 1961), имеют корневища, глубоко проникающие в торф. Дополнительные эксперименты с растениями второй группой показали, что их черенки, помещённые в эвтрофный торф, нормально приживаются, а верхушки растений, имеющие обильные придаточные корни в олиготрофном торфе, но отрезанные от проникающих в глубинную торфяной залежи корневищ и оставленные на месте произрастания, погибают.

Таким образом, можно выделить две группы растений олиготрофных болот, различающихся по типу адаптации к олиготрофным условиям.

Первая группа обитающих в сфагновых болотах растений перемещаются вслед за нарастающим сфагновым ковром целиком: чем выше нарастает сфагновый покров, тем выше с каждым годом закладываются у трав и кустарничков почки возобновления и новые придаточные корни, а погребённые части постепенно отмирают. Такие виды имеют поверхностные корневые системы в выделяемом гидрологами деятельном горизонте

и могут быть охарактеризованы по трофическим адаптациям как настоящие олиготрофиты. Кроме видов, использовавшихся в наших экспериментах, к этой группе также должны быть отнесены болотные кустарнички (*Ericaceae*) и другие типично болотные виды, имеющие признаки пейноморфизма. Кроме олиготрофных болот многие представители этой группы встречаются на боровых песках.

Вторая группа видов использует иной способ сосуществования с постоянно нарастающим сфагновым ковром: их глубоко проникающие за пределы деятельного горизонта торфа подземные органы обеспечивают минеральное питание, а нарастающие вместе со сфагновым ковром органы осуществляют фотосинтез. Помимо непосредственной связи с подстилающими породами или эвтрофными торфами, по свидетельству И.Д. Богдановской-Гиенэф (1969), многие из видов второй группы также маркируют погребённые водотоки. Будучи "оторванными от земли" верхушки таких видов, не связанные с богатыми слоями торфа или минерального грунта или внутриторфяными водотоками, как показывают наши эксперименты, не могут существовать на олиготрофных болотах и погибают. О наличии живых органов на глубине до 1 м свидетельствует вегетативное возобновление на дне осушительных канав и пожарных водоёмов в сфагновых торфах (с поверхности олиготрофных, а на дне достигающих в ряде случаев эвтрофных торфов либо песчаного минерального дна болота): *Calla palustris*, *Carex acuta*, *Carex rostrata*, *Carex vesicaria*, *Menyanthes trifoliata*. При повторном зарастании осушительных канав и пожарных водоёмов сфагнами *Carex acuta*, *Carex rostrata* сохранились при слое о́чёса до 1 м, *Carex vesicaria* выпала при слое о́чёса 0,3 м (возможно, вследствие жёсткой конкуренции с *Calla palustris*). В местообитаниях остальных указанных видов слой о́чёса достиг за время наблюдений 0,5-0,7 м, и все они также сохранились.

По аналогии с "глубококорневыми ложными ксерофитами", которые, по образному

выражению Е.П. Прокопьева (2001), «убегают от засухи в пространстве», «благодаря тому, что имеют очень глубокие корневые системы (до 5-10 м и более), которые проникают к водоносным горизонтам грунта, где интенсивно разветвляются и бесперебойно снабжают растение водой даже в периоды самой сильной засухи», эта группа может быть названа глубококорневыми ложными олиготрофофитами. Это виды эвтрофных и мезотрофных болот, вегетативные клоны которых способны выжить после погребения мезотрофных и эвтрофных торфов олиготрофными и перехода болот в олиготрофную стадию развития.

По признаку глубины залежи олиготрофного торфа (преобладают *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum balticum*, *Sphagnum magellanicum*) на участках-коврах (при отсутствии признаков нахождения поблизости выходов грунтовых вод или внутризалежных водотоков) глубококорневые ложные олиготрофофиты могут быть расположены в следующий ряд:

на олиготрофном торфе до 1 м – *Calla palustris*, *Carex vesicaria*, *Equisetum fluviatile*, *Menyanthes trifoliata*;

на олиготрофном торфе от 1 до 1,5 м – *Carex acuta*;

на олиготрофном торфе более 1,5 м – *Carex rostrata*, *Scheuchzeria palustris*.

Вероятно, приведённые глубины варьируют в зависимости от сопутствующих факторов, в т.ч. степени богатства/бедности олиготрофного торфа (как по общей зольности, так и по отдельным биогенным элементам), особенностей гидрорежима, определяемых как зональным, так и топографическим (склоновое, плакорное) расположением болота, конкурентных взаимоотношений между видами, но в целом, развитость механизма адаптации к существованию в олиготрофных условиях в данном ряду, очевидно, возрастает.

В наиболее динамичных болотных экосистемах, например, в сфагновых болотах лесостепи на надпойменной террасе р. Хопёр в Воронежской обл. (в связи с колебаниями уровня грунтовых вод циклически, с периодом несколько десятилетий, здесь происходит наступление то эвтрофной растительности, то олиготрофной (подробнее см.: Войтехов, 2012а), в роли «ложного олиготрофофита» могут выступать *Phragmites australis* и даже такой мегатрофный вид как *Typha latifolia* (последний нередко встречается в годы трансгрессии сфагновых сообществ среди ковра *Sphagnum balticum* почти «в обнимку» с *Drosera rotundifolia*).

Однако, в отличие от глубококорневых ложных ксерофитов, которые, возможно, успевают укорениться и достичь влажных слоёв в наиболее благоприятные по влажности годы, глубококорневые ложные олиготрофофиты не могут

выжить на поверхности болота, достигшего олиготрофной стадии.

Некоторые авторы (например, Солоневич, 1971) высказывали мнение об очень большом общем возрасте вегетативных клонов болотных кустарничков, возможно, измеряемом многими десятками или сотнями лет. Возраст некоторых клонов видов – наиболее устойчивых глубококорневых ложных олиготрофофитов, корневища которых расположены глубже деятельного слоя, может быть примерно равен возрасту болот, измеряемому тысячами лет (сообщения об определённом генетическими методами возрасте вегетативных клонов морской травы *Posidonia oceanica* – сто тысяч лет, а возможно и больше [Arnaud-Haond et al. 2012], дают основание не считать такие гипотезы фантастическими). В случае связи с внутриторфными водотоками возраст клонов может быть значительно меньше, но и в этом случае достигает сотен лет.

Как показали наши наблюдения в торфяном массиве Васильевский мох в Тверской обл., участки расположения клона *Carex rostrata* среди ковра *Sphagnum balticum* приподняты над участками, где осока отсутствует, на 3-5 см. Это может объясняться отмеченным А. Гребенщиковой (1931) увеличением линейного прироста сфагновых мхов на примере *Sphagnum angustifolium* и *Sphagnum cuspidatum* с увеличением общего количества солей в среде (и позже другими авторами в отношении других видов сфагнов), и подтверждает мнение В.К. Бахнова (1986), считавшего несостоятельной концепцию, «согласно которой сфагновые мхи и другие растения верховых болот обеспечивают свою потребность в элементах минерального питания исключительно за счет азральных поступлений на поверхность болота», и отстаивавшего концепцию биогенной миграции химических элементов в болотах, в т.ч. сфагновых (хотя мы не абсолютизируем мнение В.К. Бахнова, считавшего эту форму миграции биогенных элементов господствующей).

При осушении болот (в т.ч. при норме осушения, применяемой при лесомелиорации), как показали наши исследования на болотах Дубненского лесо-болотного массива и ряде болот Владимирской обл., все длиннокорневищные виды (включая *Carex limosa*) выпадают на поверхности болот (вероятно, в связи с уплотнением поверхности торфа), полностью сменяясь настоящими олиготрофофитами других жизненных форм, и сохраняются лишь в канавах и пожарных водоёмах (Войтехов, 2012). Это может нарушить биогенную миграцию химических элементов и сказаться на режиме минерального питания болотных биоценозов, в т.ч. после их повторного обводнения в целях реабилитации.

При этом глубококорневые ложные олиготрофофиты принимают активное участие в зарастании карьеров на торфяных месторождениях (Муравьева, Тихомиров, 2009) и способствуют ускорению зарастания канав и пожарных водоёмов на объектах лесосошения (Войтехов, 2012).

После пирогенной эвтрофикации глубококорневые ложные олиготрофофиты могут колонизировать повторно обводнённые поверхности осушенных торфяных месторождений олиготрофного типа (Войтехов, 2010).

1. Бахнов В.К. Биохимические аспекты болотообразовательного процесса. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1986. - 193 с.
2. Богдановская-Гиензф И.Д. Закономерности формирования сфагновых болот верхового типа на примере Полистово-Ловатского болотного массива. Л.: Наука, 1969. - 186 с.
3. Войтехов М.Я. Влияние осушения, пожаров и повторного обводнения на трофность торфогенного слоя реставрируемых участков Курловского и Орловского болот (Национальный парк “Мещёра”, Гусь-Хрустальный район Владимирской области). // Природное разнообразие Национального парка “Мещёра”: опыт деятельности охраняемых территорий. Мат. юбил. науч.-практ. конф., посв. 15-летию Национального парка “Мещёра” Владимирской обл. 26-28 сентября 2007 г. Владимир. - 2010. - С. 123-129.
4. Войтехов М.Я. Восстановление осушенных лесо-болотных угодий (на примере Дубненского лесо-болотного массива). Проблемы. Практика. Теория. Издание второе переработанное и дополненное / ГУ Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий. М.: АПКППРО, 2012. - 200 с.
5. Войтехов М.Я. Некоторые факторы устойчивости сфагновых сообществ борových террас рек лесостепи в Европейской части России // Болота и биосфера: Мат. VIII Всерос. с междунар. уч. науч. шк. (10-15 сентября 2012 г., Томск). Томск: Изд-во Томск. гос. пед. ун-та, 2012а. - С. 20–26.
6. Гребенщикова А. Экологические факторы и рост сфагновых мхов // Труды Всесоюзного института торфа. - 1933. - Вып. 3. М. - С. 73–86.
7. Муравьева Л.В., Тихомиров О.А. Факторы и динамика зарастания аквально-территориальных торфо-карьерных комплексов на территории Верхневолжья // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. Биология и экология. - 2009. - Вып. 13. - С. 200–210.
8. Ниценко А.А. Об изучении экологической структуры растительного покрова // Ботанический журнал. - 1969. - Т. 54. № 7. - С. 1002–1014.
9. Прокопьев Е.П. Экология растений [особи, виды, экогруппы, жизненные формы]: Учеб. для биол. фак. вузов. Томск: ТГУ, 2001. - 340 с.
10. Солоневич Н.Г. К методике определения биологической продуктивности болотных растительных сообществ // Ботанический журнал. - 1971. - Т.56. № 4. - С. 497–511.
11. Arnaud-Haond S., Duarte C.M., Diaz-Almela E., Marba N., Sintès T., Serró E.A. Implications of Extreme Life Span in Clonal Organisms: Millenary Clones in Meadows of the Threatened Seagrass *Posidonia oceanica* // Journal: PLOS One. - 2012. - Vol.7. № 2. <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0030454>

СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ И СВИНЦА В РАСТЕНИЯХ *CHAMAEDAPHNE CALYCVLATA* НА УЧАСТКАХ БОЛОТ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

THE CONTENT OF CADMIUM AND LEAD IN *CHAMAEDAPHNE CALYCVLATA* ON THE AREAS OF BOGS UNDER DIFFERENT DEGREE OF ANTHROPOGENIC IMPACT

Л.П. Гашкова

L.P. Gashkova

ГНУ Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа Россельхозакадемии, Томск, Россия
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia
E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Миграция химических элементов в биогеоценозах всё больше трансформируется благодаря резко возрастающему глобальному росту промышленного производства, развитию автотранспорта. Основными составляющими загрязнения окружающей среды обычно являются тяжёлые металлы. Поступление этих веществ в атмосферу из природных источников существенно уступает промышленным выбросам (Беспамятнов, Кротов, 1985; Cheng, 2003). Растения обладают способностью аккумулировать их в своих тканях, отражая, таким образом, изменения химического состава среды (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Кудряшова, 2003). Выявление особенностей накопления тяжёлых металлов в растениях позволяет разработать критерии оценки антропогенного воздействия и проводить мониторинг ненарушенных ландшафтов (Сутормина, 2010). Болотные фитоценозы отличаются устойчивостью и способностью к самовосстановлению, но высокие дозы тяжёлых металлов способны кардинально влиять на биохимические процессы в растениях. Поэтому целью работы было оценить влияние различных видов антропогенного воздействия на аккумуляцию свинца и кадмия в растениях. Объектом исследования является *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench., как единственный вид, общий для всех исследуемых участков болот. Образцы для исследования отбирались на пяти участках болот в Томской области. Участки 1, 2 и 3 находятся в пределах осушенного участка Иксинского болота, пострадавшего от пожара в 1998 году. Участок 1 наиболее удалён от автотрассы «Томск-Бакчар» расположен на месте окончания осушительных каналов, и менее пострадал от пожара и осушения, чем участки 2 и 3. Участки 4 и 5 находятся на осушенном и частично разработанном болоте «Тёмное», расположенном в Томском районе, в зоне воздействия выбросов промышленных предприятий

Томска и Северска, рядом с дорогой и участком торфодобычи.

Проведённые исследования показали, что на всех участках содержание кадмия довольно высокое, и превышает нормальное для растений (0,2 мг/кг сухой массы) (Baker, Chesnin, 1975). Самый высокий уровень кадмия наблюдается на участке 5, расположенном в зоне влияния промышленных предприятий и выхлопов торфодобывающей техники. Наименьшее накопление свинца наблюдается у растений, обитающих в оптимальных для *C. calyculata* условиях и на максимальном удалении от автодороги и других загрязнителей, на участке 1. Содержание свинца наиболее высоко в растениях с участков 3, 4. (рисунок). Состав и структура фитоценозов этих участков очень похожи, из всех исследованных они ближе всего расположены к автодороге (10 и 20 м соответственно). Повышение содержания свинца, по сравнению с участком 1, наблюдается и на участке 5, который, как и участок 4, находится в зоне влияния предприятий Томска и Северска.

Таким образом, содержание свинца в наземных органах *C. calyculata* повышается на всех осушенных участках. Незначительно увеличивается его содержание на участках после пожара, примерно в 2 раза – в зоне воздействия промышленных предприятий. Но наибольшее накопление свинца наблюдается на тех участках, где налагаются различные виды антропогенного воздействия – пожар и автодорога, или осушение и воздействие промышленных предприятий. Содержание свинца в растениях со всех участков ниже уровня для растений с незагрязнённых территорий (Ильин, 1991). Кадмий одинаково интенсивно накапливается на всех участках, и его содержание в *C. calyculata*, вне зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки выше нормального уровня.

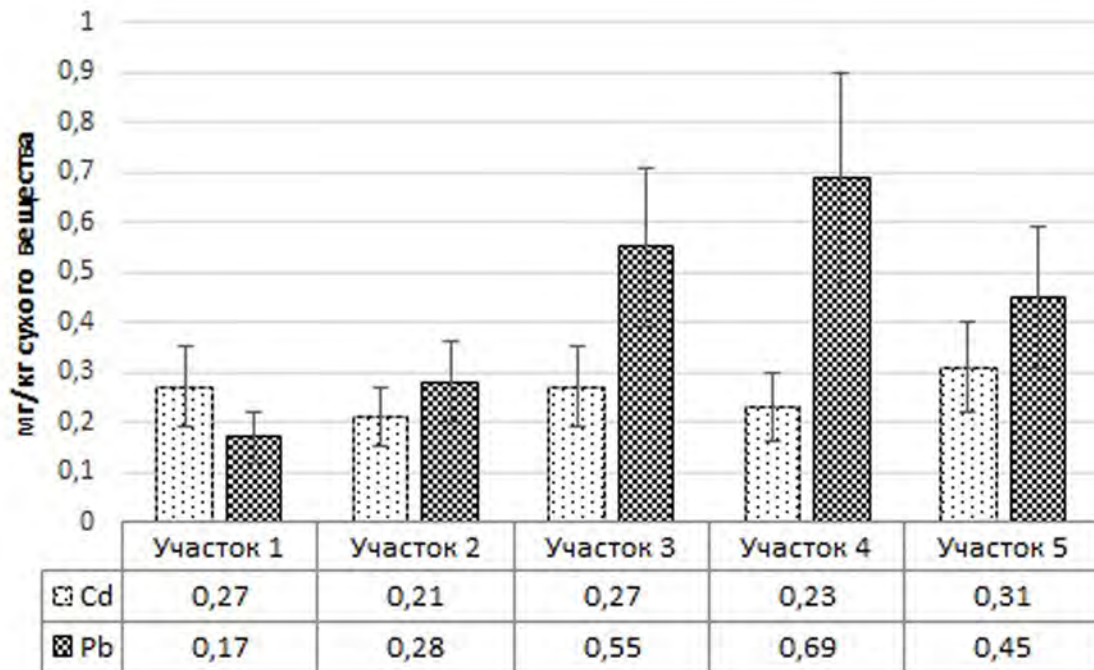


Рис. Содержание кадмия и свинца в растениях *Chaetochloa calyculata*

1. Беспаятных Г.П., Кротов Ю. А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник. Л.: «Химия», 1985. - 528с.
2. Ильин В.Б. Тяжёлые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука, 1991. - 151 с.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 439 с.
4. Кудряшова В. И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями / Автореф. ... канд. биол. наук. Саранск, 2003. - 144 с.
5. Сутормина Э. Н. Пространственные геохимические особенности ландшафтов Тебердинского государственного природного заповедника / Автореф. ...канд. геогр. наук. Ставрополь, 2010. - 22с.
6. Baker D. E., Chesnin L. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // Advances in Agronomy. - 1975. - Vol. 27. - P.306 – 366.
7. Cheng Shuiping. Heavy Metal Pollution in China: Origin, Pattern and Control // A State-of-the-Art Report with Special Reference to Literature Published in Chinese Journals ESPR. Environmental Science and Pollution Research. - 2003. - 10 (3). - P.192 – 198.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ БОЛОТ ХРЕБТА ЗАПАДНЫЕ САЛЕДЫ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

VEGETATION OF BOGS IN THE WESTERN SALEDY RIDGE (SUBPOLAR URAL)

*Н.Н. Гончарова**, *С.В. Дёгтева*

*N.N. Goncharova**, *S.V. Degteva*

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Institute of Biology, Komi Research Center UB RAS, Syktyvkar, Russia

*E-mail: goncharova_n@ib.komisc.ru

На территории северной части Урала (Приполярный и Полярный Урал) широко распространены болота. Они сосредоточены у подножия гор, приурочены к межгорным долинам, нагорным террасам и перевалам. Данная территория до настоящего времени остается слабо изученной в ботаническом отношении. Сведения о ее растительном покрове и флористическом разнообразии фрагментарны (Горчаковский, 1966, 1975; Природный парк..., 1977; Влияние разработки россыпных месторождений..., 1992; Мартыненко, Дегтева, 2003).

В 2012 г. в рамках комплексного изучения растительного мира на ключевом участке, расположенном в границах национального парка «Югыд ва», на хребте Западные Саледы в окрестностях Межгорных озер было обследовано восемь болот, расположенных во всех представленных здесь высотных поясах. В ходе обследования выявлены ценозическое разнообразие болот, особенности вертикальной и горизонтальной структуры растительных сообществ, определены изменения растительности болот в зависимости от высоты над уровнем моря.

Обследованная территория характеризуется суровым климатом с длительной холодной зимой и коротким прохладным летом, в течение которого могут наблюдаться заморозки. Норма выпадения осадков превышает норму испарения. Осадки преимущественно твердые (Атлас Республики Коми, 2011). Рельеф альпийского типа. Отчетливо выражена вертикальная поясность (горно-лесной, подгольцовый, горно-тундровый и гольцовый пояса). Гидрографическая сеть представлена реками Нидысей и Индысей, относящимися к бассейну Косью (приток р. Печора II порядка). На их междуречье представлена система из трех водоемов ледникового происхождения, получившая название Межгорные озера.

Согласно геоботаническому районированию, принятому в России (Исаченко, Лавренко, 1980), район исследований относится к Камско-Печорско-Западноуральской подпровинции Урало-Западносибирской таежной провинции. Значительный спектр экотопических условий обуславливает сложную структуру растительного покрова. На ключевом участке распространены ельники зеленомошные, березняки зеленомошные, пихтарники зеленомошные, травяные листовничные редколесья, горные луга, лишайниковые, зеленомошные и луговинные горные тундры, имеющие отчетливо выраженную приуроченность к определенному высотному

поясу. Болотные экосистемы представлены во всех высотных поясах.

У подножия гор, на нижней границе горно-лесного пояса (отметки абсолютных высот 240-270 м над ур.м.) сосредоточены крупные болотные системы с комплексным растительным покровом. Такие болота внешне напоминают находящиеся на данной широте равнинные аапа болота: обводненный центр, грядово-мочажинный растительный комплекс с более евтрофными, чем гряды мочажинами и мочажинами-римпи и др. При этом видовое и ценозическое разнообразие достаточно высокое. Повышения микрорельефа занимают менее 50% площади массивов, они кустарничково-сфагновые и морошково-сфагновые (*Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Rubus chamaemorus*, *Carex pauciflora*, *Sphagnum fuscum*, *S. angustifolium* и др.). Мочажины топяные. Их растительный покров мозаичный, наиболее широко распространены следующие сообщества: осоково-зеленомошные (*Carex paupercula*, *C. limosa*, *C. rotundata*, *Dicranum sp.*), шейхцериево-зеленомошные (*Scheuchzeria palustris*, *Dicranum sp.*, *Warnstorfia exannulata*, *W. fluitans*), шейхцериево-сфагновые (*Scheuchzeria palustris*, *Sphagnum lindbergii*, *S. majus*), пушицево-сфагновые (*Eriophorum russeolum*, *Sphagnum lindbergii*). К наиболее обводненным мочажинам и формирующимся озерам приурочены травяно-моховые фитоценозы (*Carex rostrata*, *Carex cinerea*, *Carex paupercula*, *Menyanthes trifoliata*, *Trichophorum cespitosum*, *Sphagnum lindbergii*, *S. majus*, *Warnstorfia exannulata*, *W. fluitans* и печеночные мхи). На обследованных участках глубина торфяной залежи достигает 1.6 м.

Значительную часть восточного склона к р. Нидысей (отметки абсолютных высот 480–550 м над ур.м.) занимает травяно-моховое склоновое болото. Оно сложено чередующимися осоково-сфагновыми (*Carex rariflora*, *Sphagnum lindbergii*, *S. teres*) и пухоносово-моховыми (*Trichophorum cespitosum*, *Tomentypnum nitens*, *Paludella squarrosa*, *Calliergon sp.*, *Sphagnum teres*) фитоценозами. Вдоль склона, пересекая болото, стекают с гор ручьи, здесь распространены ивняки разнотравные (*Salix lapponum*, *S. phylicifolia*, *S. glauca*, *Betula nana*, *Carex aquatilis*, *Comarum palustre*, *Sanguisorba officinalis*, *Veratrum lobelianum*, *Parnassia palustris* и др). Кроме того, по ложбинам стока, встречаются осоково-сфагновые (*Carex rostrata*, *Sphagnum riparium*) сообщества. Глубина торфа этого болота не большая, всего 40-70 см.

Склон западной экспозиции к долине р. Индысей также сильно заболочен. На отметках высот 350–500 м над ур.м. болота тянутся вдоль склона на расстояние до 2 км, чередуясь с лесными языками и гривами, почти до реки. Нами были описаны кустарничково-травяно-моховые и березово-ивово-травяно-моховые массивы. В растительном покрове первых преобладают кустарничково-морошково-моховые (*Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus*, *Rubus chamaemorus*, *Empetrum hermaphroditum*, *Sphagnum warnstorffii*, *Dicranum sp.*), кустарничково-осоково-моховые (*Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Rubus chamaemorus*, *Carex rariflora*, *C. rostrata*, *Sphagnum warnstorffii*, *Dicranum sp.*, *Pleurozium schreberi*) и приуроченные к более сырým экотопам травяно-моховые (*Carex rostrata*, *C. rariflora*, *C. caespitosa*, *Menyanthes trifoliata*, *Betula nana*, *Sphagnum teres*, *S. warnstorffii* и др.) фитоценозы. Растительный покров болот, облепленных березой, мозаичный разнотравно-моховой. Сомкнутость крон *Betula pubescens* 0.2-0.3, средняя высота яруса около 5 м, более половины деревьев кривоствольные. Не редки отмершие, сухостойные деревья. Кустарниковый ярус представлены ивами – *Salix lanata* и *S. glauca* (высота 1-1.5 м). Под пологом древесных растений распространено гигрофильное разнотравье: *Carex rostrata*, *C. rariflora*, *C. juncella*, *C. paupercula*, *Equisetum fluviatile*, *E. palustre*, *Bistorta major*, *Menyanthes trifoliata*, *Eriophorum polystachion*, *Ligularia sibirica*, *Parnassia palustris*, *Dactylorhiza maculata* и др. Напочвенный покров образован смесью сфагновых и бриевых мхов (*Sphagnum warnstorffii*, *Tomentypnum nitens*, *Calliergon sp.*, *Straminergon stramineum*, *Plagiomnium sp.* и др.). Глубина торфа на массивах кустарничково-травяно-моховых и березово-ивово-травяно-моховых болот достигает 2 и 1 м соответственно.

В пределах подгольцового пояса также распространены небольшие по площади разнотравно-моховые ключевые болота, расположенные в небольших депрессиях и на выровненных участках склонов. В их растительном покрове доминируют травы, гипновые и минеротрофные сфагновые мхи: *Carex chordorrhiza*, *C. aquatilis*, *C. rostrata*, *Equisetum fluviatile*, *E. palustre*, *Bistorta major*, *Menyanthes trifoliata*, *Parnassia palustris*, *Saxifraga hirculus*, *Angelica sylvestris*, *Pedicularis compacta*,

Sphagnum teres, *S. warnstorffii*, *Tomentypnum nitens*, *Paludella squarrosa*, *Calliergon sp.*, *Straminergon stramineum*, *Plagiomnium sp.* Глубина торфа составляет около 1 м.

В средней и нижней части горно-тундрового пояса исследованного района (600-800 м н.у.м.) болота менее распространены, они занимают ложбины стока, небольшие понижения в рельефе. В наиболее сырых экотопах это осоково-моховые с примесью пушицы (*Carex rariflora*, *C. rostrata*, *C. rotundata*, *C. aquatilis*, *Eriophorum russeolum*, *Sphagnum sp.*, *S. lindbergii*, *S. warnstorffii*, *Dicranum sp.*) и пушицево-сфагновые (*Eriophorum russeolum*, *Sphagnum lindbergii*, *S. sp.*, *Dicranum sp.*) болота. На пологих склонах, во влажных местообитаниях, распространены осоково-кустарничково-моховые и осоково-морошково-моховые (*Carex rariflora*, *Betula nana*, *Vaccinium uliginosum*, *Sphagnum sp.*, *S. warnstorffii*, *Polytrichum strictum*, *Aulacomnium turgidum*, *Dicranum sp.*) болотные сообщества, которые образуют мозаику с сообществами с кустарничково-лишайниковых и кустарничково-зеленомошных горных тундра.

Таким образом, при обследовании окрестностей Межгорных озер получены новые данные о флоре и растительности горных болот, которые дополняют сведения биологическом разнообразии северного Урала. Проведенные исследования показали, что на клбчевом участке широко распространены болота. Видовой состав болотных фитоценозов насчитывает 105 таксонов, включая сосудистые растения и мхи (75 и 30 видов соответственно). Растительность болот отличается высоким разнообразием и несет отпечаток высотной поясности. Крупные болотные системы с комплексным растительным покровом сосредоточены у подножия гор. На нижней границе горно-лесного пояса и в подгольцовом поясе основную площадь безлесных склонов занимают травяно-моховые болота с довольно однообразным растительным покровом. На этих же высотах, среди лесных массивов, не редки горные ключевые болота, которые, несмотря на малые площади, характеризуются наиболее высоким видовым и ценотическим разнообразием. В горно-тундровом поясе болота малочисленны, их растительность приобретает черты сходства с горными тундрами.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа», проект № 12-П-4-1018 «Видовое, ценотическое и экосистемное разнообразие ландшафтов территории объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми»

1. Атлас Республики Коми. - М., 2011. - 448 с.
2. Влияние разработки россыпных месторождений Приполярного Урала на природную среду. - Сыктывкар, 1994. - 197 с.
3. Горчаковский П.Л. Растительный мир высокогорного Урала. - М., 1975. - 282 с.
4. Горчаковский П.Л. Флора и растительность высокогорий Урала // Тр. Ин-та биологии УФ АН СССР. - 1966. - Вып. 48. - 270 с.
5. Исаченко Т.И., Лавренко Е.М. Ботанико-географическое районирование // Растительность европейской части СССР. - Л, 1980. - С.10–20.
6. Мартыненко В.А., Дегтева С.В. Конспект флоры национального парка «Югыд ва» (Республика Коми). - Екатеринбург, 2003. - 108 с.
7. Природный парк Коми АССР. - Сыктывкар, 1977. - 115 с.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОЛОТ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ

GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF THE SPREAD OF BOGS IN THE REPUBLIC OF MORDOVIA

О.Г. Гришуткин

O.G. Grishutkin

Мордовский государственный природный заповедник имени П.Г. Смидовича, п.Пушта,
Россия

Smidovich Mordovia State Natural Park, Pushta town, Russia

E-mail: grog5445@yandex.ru

Болото не является изолированной системой и тесно взаимодействует с окружающим ландшафтом, который при небольших размерах болотных систем и в условиях умеренного увлажнения играет для них решающую роль. Территория Мордовии состоит из следующих крупных геоморфологических ландшафтных единиц: водно-ледниковая равнина, вторичная моренная равнина, эрозионно-денудационная равнина, долины рек (Ямашкин, 1998).

Наибольшее распространение болот наблюдается по долинам рек, которые следует разделить на пойменные участки (приустьевая, центральная и притеррасная пойма) и террасы крупных рек, а также долины малых рек, где явной дифференциации на пойму и террасы не происходит, и подобные участки можно рассматривать в рамках вмещающего ландшафта.

Обширными поймами и обширными песчаными террасами обладают следующие реки: Мокша с притоками Исса, Сивинь, Вад; Сура с крупным притоком Алатырь. У всех прочих рек дифференциация поймы выражена гораздо слабее, террасы или сложены глинистыми отложениями, или отсутствуют.

Поймы крупных и средних рек. Основные болотные массивы сосредоточены именно в этих ландшафтах, общая заболоченность составляет 7,48%.

Приустьевая пойма. Особенностью данных ландшафтов является то, что здесь непосредственно происходит формирование русла реки в настоящее время, а также происходит наиболее активное накопление минеральных отложений. Болота располагаются исключительно по мелким старицам, торфяная залежь маломощная, обычно не превышает 50 см, очень часто отложения органо-минеральные, преимущественно с глинистыми прослойками, оставляемыми ежегодно паводками. Широко распространены глеевые процессы. Подобные болота часто смыываются в результате меандрирования реки, либо заполняются минеральными отложениями до уровня несовместимого с торфообразованием. Болота здесь обычно осоковые, реже манниковые или

разнотравные с осоками, частухой, сабельником, калужницей и пр.

Центральная пойма. Отложения центральной поймы зачастую имеют уже довольно большой возраст и несколько пониженное положение относительно приустьевой поймы. Болота чаще всего встречаются по измельчавшим старицам, как правило, неглубокие (до 1 м), часто с минеральными прослойками в торфяной залежи. Нечасто встречаются довольно обширные болота. Они могут быть либо травянистыми (осоковые, манниковые, частуховые), либо заросшие древесной растительностью (ива, черная ольха).

Притеррасная пойма. Наиболее крупные массивы болот сосредоточены именно в этих ландшафтах. Распространены повсеместно и тянутся практически сплошной полосой вдоль всех крупных рек. Болота преимущественно черноольховые, реже березовые. Нередко окаймляют озера-старицы. Зачастую выходят в центральную часть поймы, где представлены травянистыми сообществами из осок, таволги, тростника. Площадь болот может достигать сотен гектар. Могут также входить в комплексы болот, которые помимо притеррасных понижений занимают участки водно-ледниковых равнин, террас крупных рек и долин небольших водотоков.

Террасы крупных рек. Болота террас разнообразны по происхождению и морфологии. Наиболее крупные болота занимают пониженные участки террас, преимущественно черноольховые или березовые. Также широко распространены болота по долинам небольших водотоков. Многочисленны небольшие переходные и единично верховые болота по замкнутым формам рельефа суффозионного, реже эолового и карстового происхождения.

Водно-ледниковые равнины. Визуально подразделяются на равнинные и дефляционные ландшафты (активно преобразованные эоловыми процессами в прошлом), долины небольших водотоков. Водно-ледниковые равнины встречаются по правобережью реки Мокши, вдоль долины р. Вад и в левобережье р. Алатырь. Все эти участки довольно схожи между собой, за

исключением некоторого расхождения в видовом составе растительного покрова. В геологическом плане выделяется лишь водно-ледниковая равнина северо-запада Мордовии, где широко развиты карстовые воронки. Более нигде в массе они не встречаются.

Болота равнинных ландшафтов водно-ледниковой равнины немногочисленны, преимущественно встречаются по суффозионным понижениям, древним ложбинам стока и прочим понижениям, на северо-западе – в карстовых воронках. Могут обладать довольно обширной площадью (до 100 га), но, как правило, неглубоки – редко мощность торфа превышает 2 м (за исключением карстовых образований). Болота преимущественно переходные, довольно часто встречаются верховые.

Дефляционные ландшафты встречаются повсеместно по водно-ледниковой равнине, чаще всего занимая наиболее возвышенные ее части. Представляют собой чередование дюн, очень часто тянущихся параллельно друг другу и котлов выдувания между ними, большая часть которых заболочена. Болота данных ландшафтов весьма разнообразны, встречаются все 3 типа болот, но преобладают переходные. Площадь, как правило, невелика, редко превышает 50 га. Глубина может колебаться в больших пределах, наиболее часто составляет 1-2,5 м. По дюнам обычно располагаются сухие сосняки, поэтому болота здесь чаще других подвержены пожарам. Болота после огня не исчезают, но преобразуются в низинные (из переходных и верховых) после полного выгорания торфа и в переходные (из верховых) после поверхностных пожаров. Пожары на данных территориях – одна из причин, почему настоящие верховые болота в Мордовии имеют слабое распространение.

Долины рек на водно-ледниковых равнинах имеют, как правило, слабое эрозионное расчленение, низкие и пологие склоны, реки – медленное течение. Болота здесь исключительно низинные, преимущественно черноольховые,

реже березовые с осоковым, тростниковым, крапивоным, страусниковым, таволговым травянистым покровом. Изредка попадаются открытые осоковые, тростниковые, таволговые участки. Хотя болота значительно вытянуты, но в силу небольшой ширины площадь редко превышает несколько десятков гектар. Мощность торфяной залежи обычно в пределах 1 м, однако нередко может составлять значительно больше (более 3 м в болотах по р. Пушта).

Болота *вторичной моренной равнины* немногочисленны и сосредоточены преимущественно по долинам рек. Здесь они исключительно низинные, чаще без древесной растительности (либо с редкими куртинами ивы и единичной березой). Площадь обычно невелика, редко превышает несколько десятков гектар. Мощность торфяной залежи обычно в пределах 1 м, но нередко встречаются и более глубокие. Менее распространены березняки и черноольшаники, однако они обладают в целом большей площадью и глубиной. Часто подобные болота разработаны.

По склонам и в верхних частях балок в местах выхода грунтовых вод часто встречаются ключевые болота. Они всегда невелики по площади, редко превышают 10 га, глубина, как правило, не более 1 м. Подобные болота преимущественно тростниковые, реже тростниково-осоковые. Изредка по суффозионным котловинам встречаются небольшие низинные осоковые и осоково-разнотравные болота (с участием сабельника, вейника, частухи и пр.). Площадь всегда невелика, редко превышает 10 га, глубина не превышает 1 м.

Эрозионно-денудационная равнина является наиболее возвышенной территорией, болота здесь встречаются единично, почти всегда по долинам рек, на их склонах и в верхних частях балок. В целом, болота полностью совпадают с болотами предыдущих ландшафтов. Водораздельных болот здесь нам неизвестно, хотя в аналогичных ландшафтах Пензенской и Ульяновской областях могут встречаться не только низинные, но и переходные, и даже верховые болота.

Таблица 1. Распределение болот по геоморфологическим единицам

Название геоморфологической единицы	Общая площадь, га	Площадь болот, га	Заболоченная площадь, %	Доля от площади болот, %
Поймы крупных и средних рек	163 013,2	12 191,3	7,48	34,2
Террасы крупных и средних рек	314 567,1	10 277,3	3,27	28,9
Водно-ледниковая равнина	518 606,9	7 503,6	1,45	21,1
Вторичная моренная равнина	1 248 769	4 079,3	0,33	11,5
Эрозионно-денудационная равнина	358 227,6	1 539,3	0,43	4,3
Итого	2 603 184	35 590,8	1,37	100

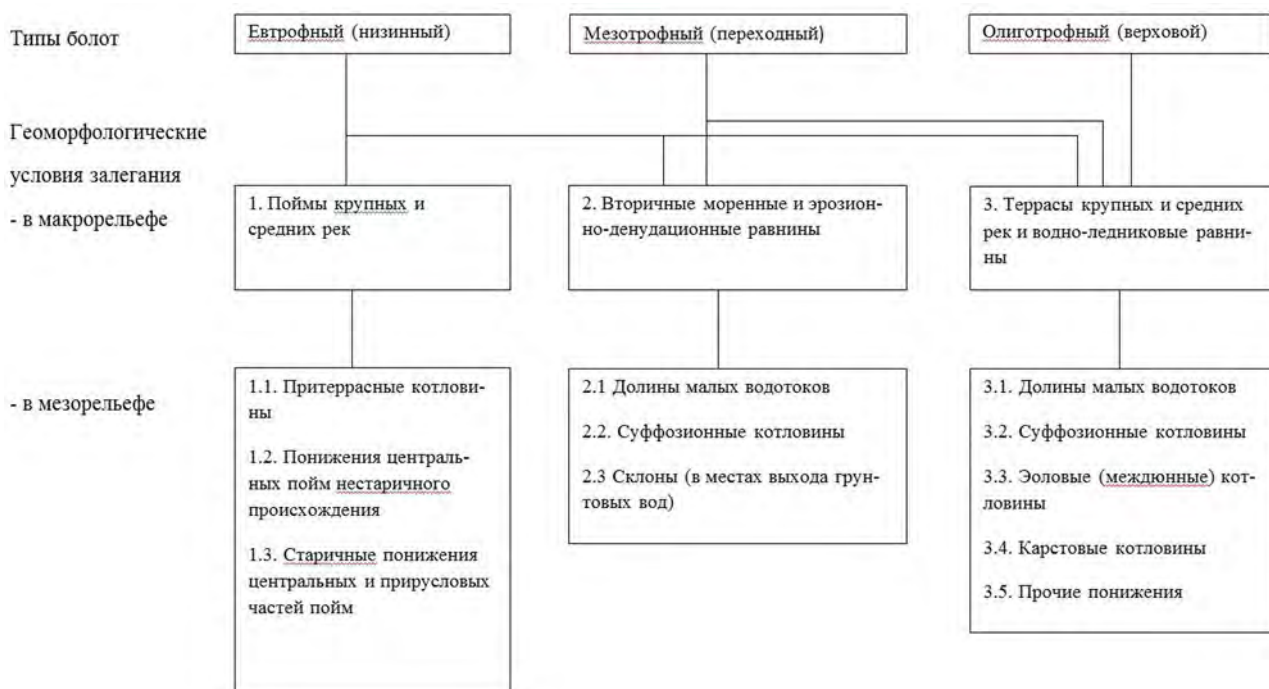


Рис. Геоморфологическая классификация болот Мордовии

Распределение болот по геоморфологическим единицам сведено в таблицу.

На рисунке представлена схема геоморфологической классификации болот. Для ее основы использовались классификации С.Н. Тюремнова, Е.А. Виноградовой (1953), Е.А. Галкиной (1959), Н.И. Пьявченко (1985), К.Е. Иванова (1975). В классификации показано распределение типов болотных массивов по геоморфологическим формам рельефа на двух уровнях: на верхнем приуроченность к макрорельефу (поймам и террас рек, типам равнин), на нижнем – положение болота в мезорельефе, т.е. характер ложа и тип

занимаемой котловины (суффозионные, эоловые, карстовые, притеррасные и прочие).

Таким образом, мы видим, что определенные типы болот, а в некоторых случаях и их размеры строго приурочены к определенным ландшафтам. Так, переходные и верховые болота, за некоторым исключением, встречаются лишь на водно-ледниковых равнинах и древнеаллювиальных террасах; наиболее значительные болотные массивы располагаются в поймах крупных рек, болота возвышенных безлесых лесостепных участков редки и невелики по площади.

1. Тюремнов С.Н., Виноградова Е.А. Геоморфологическая классификация торфяных месторождений // Труды Московского торфяного института. - 1953. - Том 2. - С.217–231.
2. Галкина Е.А. Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации // Торфяные болота Карелии. - Петрозаводск: Карелия, 1959. - С.3-48.
3. Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. - М.: Наука, 1985. - 152 с.
4. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. - Л.: Гидрометеозда, 1975. - 278 с.
5. Ямашкин А.А. Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. - 156 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОФЛОРЫ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ MICROORGANISMS OF WETLAND ECOSYSTEMS UNDER PERMAFROST

Л.А. Ерофеевская
L.A. Erofeevskaya

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
Institute of Problems of Oil and Gas, SB RAS, Yakutsk, Russia
E-mail: lora-07.65@mail.ru

Болото – это часть земной поверхности, характеризующееся обильным застойным или слабопроточным увлажнением верхних горизонтов почвогрунтов; специфической болотной растительностью с господством видов, приспособленных к условиям обильного увлажнения и недостатка кислорода в почвенном субстрате; с процессами накопления торфа (Новиков, 2000). Одним из информативных способов оценки микробного состояния болот является учет численности микроорганизмов. На основе данного показателя можно судить о токсичности и биологической активности почвенного субстрата заболоченных экосистем.

В настоящей работе приведены результаты исследований изучения структуры микробного ценоза болотистых почв, расположенных на многолетнемерзлых породах в условиях техногенной нагрузки. Координаты района исследований: географическая широта: 53°59', географическая долгота: 123°56', высота над уровнем моря: 400 метров.

Исследования проводили с учётом анализа физических и химических факторов болотистой местности по следующей схеме: агрохимические показатели; биотестирование почв на фитотоксичность; исследование активности почвенных ферментов; микробиологические показатели.

Расчет численности микроорганизмов вели в КОЕ/г АСВ (колониеобразующие единицы на 1 г абсолютно сухого веса почвы), с учетом влажности соответствующих образцов, определяемой одновременно с учетом численности микроорганизмов. Идентификацию выделенных штаммов проводили на основании морфологических, культуральных и биохимических признаков.

Агрохимическая характеристика почвенного субстрата. Почвы экспериментальных участков характеризовались избыточным содержанием влаги. Уровень болотной воды перед проведением опытов находился на уровне 20 см от поверхности органогенного слоя. Верхняя часть профиля была покрыта следами закиси грунта ржавых и охристых оттенков. После проведения механической обработки (перекопка) влажность почв в участках увеличилась, уровень воды поднялся до 10 см, что связано с нарушением

органогенного слоя во время перекопки участков и поступлением влаги с нижних горизонтов. Содержание гумуса в участках было выше среднего показателя для плодородных почв. В почвенном субстрате установлено несколько завышенное содержание азота-нитратов ($N-NO_3$) и подвижного фосфора (P_2O_5) и недостаточное количество подвижных форм калия (K_2O) и азота-аммония ($N-NH_4$) в почве.

Для изучения факторов, отрицательно влияющих на растительный покров исследуемой территории, почвы экспериментальных участков исследованы на фитотоксичность. По данным биотестирования почва характеризовалась как кризисная дестабилизированная система. Всхожесть семян тест-растений в опытных вариантах составила 22,6-28,0%, против 88,0% в контрольном варианте. Растения, высаженные в образцы почв опытных участков, отставали в росте, по сравнению с образцами, выросшими в чистой почве. Зелёная часть проростков загрязнённых моделей имела желтоватый оттенок и тусклую окраску. Также, отмечено слабое развитие корневой системы.

В отдельных вариантах было проведено изучение возможного токсического влияния на растения минеральных и биологических удобрений.

Через 14 дней, после внесения в почвы суспензии почвоулучшающего биопрепарата «Байкал ЭМ-1» отмечен положительный эффект на растения. Биопрепарат был внесен на носители (механоактивированные цеолит, вермикулит и сапропель) и в виде суспензии в растворенном виде в соотношении 1:1; 1:10; 1:100. Всхожесть семян после внесения биопрепарата увеличилась на 2,6-3,0%. Имобилизация биопрепарата на носители не оказала существенного влияния на снижение фитотоксичности.

С учетом аналитических показателей агрохимического состояния в образцы почв опытных участков был внесен карбамид. Однако внесение в опытные образцы минерального удобрения только усилило токсичность почв, что отразилось на всхожести семян, которая упала с 22,6-28,0 до 8,0—18,6%. Внесение в опытные образцы минеральных удобрений привело к угнетению развития азотобактеров, фиксирующих атмосферный

азот. Это повлекло за собой накопление в почвах токсинов, оказывающих негативное влияние не только на растения, но также и на почвенные микроорганизмы.

Усилить биологическую активность болотистой почвы позволило применение различных агротехнических приемов, в том числе использование светокорректирующей пленки, собирающего полотна «Экосорб» и почвоулучшающего биопрепарата «Байкал ЭМ1».

В результате проведенных исследований установлено, что после первого этапа агротехнических мероприятий одновременно с ростом численности микроорганизмов в почвах опытных участков увеличилась активность ферментов, в том числе уреазы. Что свидетельствовало об изменениях гидролитических процессов и эффективности использования агротехнических приемов в болотистой почве.

В вариантах с сорбирующим полотном «Экосорб» и светокорректирующей пленкой активность фермента была несколько ниже, чем в фоновой почве и в вариантах с использованием биопрепарата «Байкал ЭМ1».

В варианте с использованием биопрепарата «Байкал ЭМ-1» активность уреазы была в 1,5 раза выше, чем в фоновой почве и в 5 раз выше, чем в опытах с использованием пленки и полотна. Это свидетельствует о медленных процессах детоксикации почв в опытных участкахне обработанных почвоулучшающим препаратом.

Микробиологический анализ, проведенный до начала постановки полевых опытов показал, что основную массу сапрофитной микрофлоры болотистой почвы опытных участков составляли неспороносные микроорганизмы. Спорообразующие микроорганизмы, в т.ч. бактерии рода *Bacillus* находились в неактивном состоянии. Содержание спор бацилл в нефтезагрязнённых почвах во всех исследуемых образцах оказалось ниже фонового уровня. Что свидетельствовало о нарушении минерализационных процессов на данном нефтезагрязненном участке. В составе неспороносных бактериальных комплексов доминировали грамотрицательные бактерии, их доля составляла около 80% в различных опытных участках.

В верхних слоях почвы доминировали миксобактерии семейства *Mycobacteriales*. Здесь же были обнаружены копиотрофы рода *Pseudomonas* и олиготрофы группы *Agvaspirillum* – типичные гидробионты, способные расти при низких концентрациях питательных веществ.

Численность гетеротрофного блока бактерий была достаточно высока во всех опытных участках и достигала перед закладкой опытов не менее 100 тыс. КОЕ/г АСВ, в сентябре не менее 1 млрд. КОЕ/г АСВ.

Микробиологический анализ, проведенный через 100 дней от начала экспериментов показал увеличение общей численности микроорганизмов, участвующих самовосстановлении почв во всех вариантах опытов.

АМФИФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

AMPHIPHILIC PROPERTIES OF HUMIC SUBSTANCES OF WETLAND ECOSYSTEMS

Т.Т. Ефремова, С.П. Ефремов

T.T. Efremova, S.P. Efremov

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: efr2@ksc.krasn.ru

Согласно современным взглядам, гумусовые вещества представляют собой многокомпонентную амфифильную систему, способную проявлять как гидрофильные, так и гидрофобные свойства (Милановский, 2000, 2009). Гидрофобные компоненты остаются и накапливаются на месте гумификации растительных остатков, выполняя аккумулятивную функцию гумусовых веществ. Гидрофильные компоненты, потенциально подвижные, в зависимости от геохимической обстановки либо остаются на месте контакта с минеральной частицей, либо мигрируют в водных потоках в составе металлоорганических комплексов. Вследствие различной миграционной активности в природной среде формируется пространственная и структурно-функциональная дифференциация гидрофильных и гидрофобных компонентов гумусовых веществ.

Наглядным примером проявления амфифильных свойств является система гумусовых веществ торфяных болот. В болотном массиве, находящемся в естественном (неосушенном) состоянии, торфяная залежь с известным приближением рассматривается как двухфазная система: твердое органическое вещество плюс вода (Иванов, 1975). Выделяется верхний (активный, деятельный) горизонт болота и инертный с постоянным или мало меняющимся количеством воды во времени и очень медленным влагообменом с подстилающими торфяную залежь минеральными породами и прилегающими территориями. Деятельный горизонт, напротив, характеризуется интенсивным влагообменом с атмосферой и окружающими болото территориями. По существу, это – зона современного почвообразования, в которой происходят процессы трансформации отмершей растительности с образованием гумифицированных продуктов. Толщина деятельного

горизонта колеблется главным образом в пределах 30–70 см, но на болотах с лесным типом растительности достигает предельных значений 100 см. С позиции концепции о гумусовых веществах как системе амфифильных компонентов, гумусовые вещества торфяных болот, аккумулярованные в торфе (твердой фазе), с определенной долей вероятности следует отнести к гидрофобным, а гумусовые вещества водной фазы – к гидрофильным компонентам.

Цель данной работы: оценить долю гидрофобной и гидрофильной компоненты в суммарном запасе гумусовых веществ в деятельной метровой толще лесных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири. Территория, охваченная исследованиями, представлена на рисунке.

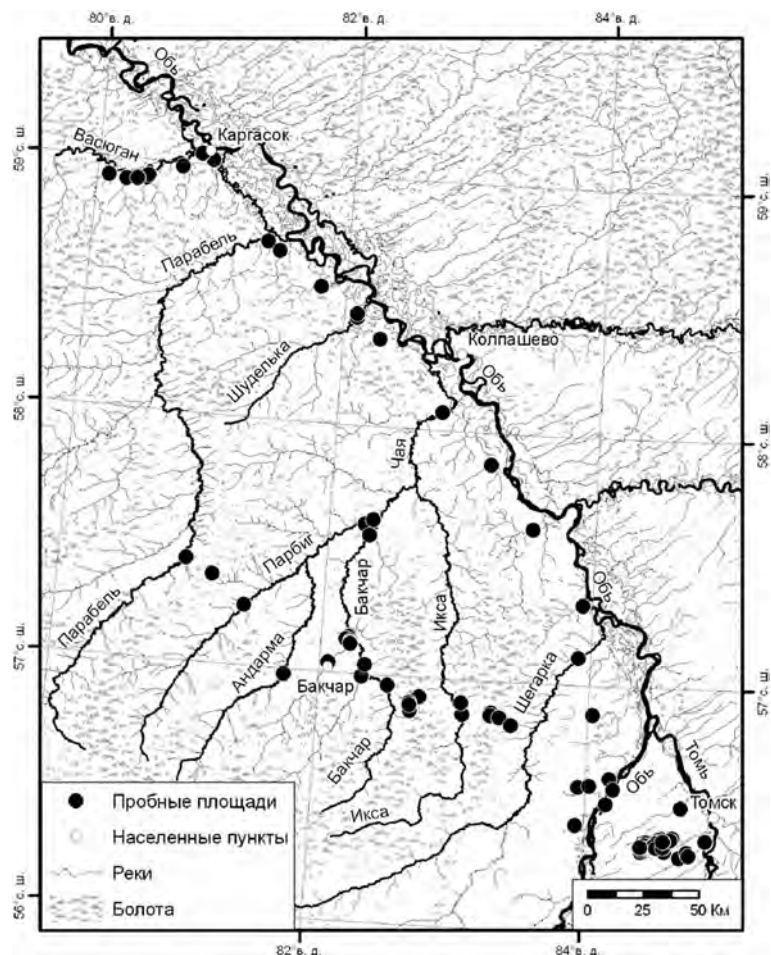


Таблица 1. Некоторые водно-физические и биохимические показатели твердой и водной фазы болот различных типов (среднемноголетние за теплый период)

Показатели	Типы болот		
	олиготрофные	мезотрофные	эвтрофные
Твердая фаза (торфяной субстрат)			
Весовая влажность, %	92	91	90
Объемная масса, г/см ³	0,06	0,08	0,12
Гуминовые кислоты, % на навеску	4,68	8,82	17,68
Фульвокислоты, % на навеску	6,84	8,14	9,09
Сумма гумусовых кислот, % на навеску	11,52	16,96	26,77
Отношение $C_{гк} : C_{фк}$	0,68	1,08	1,94
Водная фаза			
Водные гуминовые кислоты, мг/л	7,74	9,41	3,22
Водные фульвокислоты, мг/л	47,68	54,08	17,5
Сумма водорастворимых гумусовых кислот, мг/л	55,42	63,49	20,72
Отношение $C_{гк} : C_{фк}$	0,16	0,17	0,18

Амфифильные свойства системы гумусовых веществ в болотных экосистемах оценивались, исходя из водно-физических и биохимических свойств торфяных залежей (табл. 1), оцененных по работам (Ефремова, 1975, 1988, 1992, Ефремова, Ефремов, Мелентьева, 1997, 1998, Лиштван, Базин, Гамаюнов, Терентьев, 1989).

Запасы углерода гумусовых веществ (ГК+ФК) в торфяной залежи рассчитывались по формуле: $C = h \times p \times c$, где: C – запасы углерода гумусовых веществ, т/га, h – мощность заданного слоя торфа, см, p – объемная масса торфа, г/см³, высушенного при 105°C, г/см³, c – содержание углерода гумусовых соединений в торфе, % на навеску, высушенную при 105°C.

Запасы водорастворимого углерода в толще торфяной залежи рассчитывались по формуле: $C_w = W \times c_w / 1000$, где C_w – запасы водорастворимого углерода в торфяной залежи, т/га, W – запасы воды в заданной толще торфяника, т/га, c_w – содержание водорастворимого углерода, мг/л.

Общие запасы воды в торфяной залежи рассчитывались по формуле: $W = M \times w / 100$, где: W – запасы воды, т/га, M – масса абсолютно сухого торфа в заданном слое, т/га, w – весовая влажность торфа, %. Общие запасы торфа рассчитывались по формуле: $M = h \times p \times S$, где: M – запасы абсолютно сухого торфа, т/га, h – заданная мощность торфяной толщи, см, p – объемная масса торфа, высушенного при 105°C, г/см³, S – площадь, га.

Наибольшие запасы гидрофобных гумусовых веществ аккумулируются в метровой толще эвтрофных (низинных) торфяных залежей 321,3 т/га (табл. 2). Это в 2,4 раза больше, чем в мезотрофных (переходных) и в 4,7 раза больше, чем в олиготрофных (верховых) торфяниках.

В составе гидрофобных компонентов эвтрофных болот доминируют гуминовые кислоты: отношение $S_{гк} : S_{фк}$ составляет 2,4. В мезотрофных болотах показатель $C_{гк} : C_{фк}$ – 1,08 свидетельствует о практически равном соотношении закрепленных в торфяной толще гуминовых и фульвокислот.

В составе гумусовых веществ олиготрофных торфяников в качестве доминирующих гидрофобных компонентов выступают фульвокислоты: отношение $C_{гк} : C_{фк}$ – 0,68.

Гидрофильные компоненты торфяных болот представлены главным образом водорастворимым органическим углеродом гумусовой природы. Концентрация гидрофильных компонентов в различных типах торфяных залежей по сравнению с гидрофобными протекает иначе. Максимальное количество органического углерода сосредоточено в водах мезотрофных болот 46,3 т/га. В эвтрофных оно ниже в 2,13 раза, в олиготрофных болотах в 1,5 раза. Гидрофильные компоненты всех типов торфяных болот однотипны по составу гумусовых компонентов и характеризуются явным преобладанием фульвокислот, на долю которых приходится 85–87% водорастворимого углерода. Наблюдается лишь слабо выраженная тенденция увеличения фульвокислот в водах олиготрофных болот: $S_{фк} : S_{гк}$ – 6,1. В водах мезотрофных болот этот показатель составляет 5,7, в эвтрофных – 5,4.

Итак, в системе гумусовых веществ торфяных залежей доминируют гидрофобные компоненты, которые в зависимости от характера водно-минерального питания характеризуются различными запасами и типом гумуса. По содержанию доминируют эвтрофные торфяники с гуматным типом гумуса. Минимальными запасами

Таблица 2. Запасы углерода гумусовых соединений в составе твердой и водной фаз различных типов болот

Состав гумусовых соединений	Запасы углерода гумусовых соединений в метровой толще торфяной залежи					Доля углерода водной фазы от суммы, %
	твёрдая фаза		водная фаза		Сумма, т/га	
	т/га	%	т/га	%		
Олиготрофные болота						
Гуминовые к-ты	28,1	40,6	4,3	14,0	32,4	4,3
Фульвокислоты	41,1	59,4	26,3	86,0	67,4	26,4
Сумма	69,2	100	30,6	100	99,8	30,7
Мезотрофные болота						
Гуминовые к-ты	70,6	52,0	6,9	14,8	77,5	3,8
Фульвокислоты	65,1	48,0	39,4	85,2	104,5	21,6
Сумма	135,7	100	46,3	100	182,0	25,4
Эвтрофные болота						
Гуминовые к-ты	212,2	66,0	3,5	16,0	215,7	1,0
Фульвокислоты	109,1	34,0	18,9	87,2	128,0	5,5
Сумма	321,3	100	21,7	100,0	343,0	6,3

характеризуются олиготрофные залежи с гумусом фульватного типа. Мезотрофные торфяники занимают переходное положение, как по запасам гидрофобных компонентов, так и по типу гумуса – гуматно-фульватному. Гидрофильные компоненты характеризуются фульватным гумусом вне зависимости от типа болота, но подобно гидрофобным компонентам различаются содержанием и долей вклада в систему гумусовых веществ. Она самая высокая в толще олиготрофного

торфяника почти 31%, немного ниже в мезотрофном – 25% и значительно меньше в эвтрофном – 6%. Таким образом, различный характер водно-минерального питания болот определяет соотношение гидрофильных и гидрофобных компонентов в амфифильной системе гумусовых веществ, обуславливает разнотипность гумуса гидрофобных и не влияет на групповой состав гидрофильных компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 69.

1. Ефремова Т.Т. Формирование почв при естественном облесении осушенных болот. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. - 126 с.
2. Ефремова Т.Т. Гумусное состояние лесных почв верховых болот в связи с микрорельефом // Известия СО АН СССР (серия биологическая). - 1988. - Вып. I. - С. 38-44.
3. Ефремова Т.Т. Почвообразование и диагностика торфяных почв болотных экосистем // Почвоведение. - 1992. - № 12. - С. 25-35.
4. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Запасы и содержание соединений углерода в болотных экосистемах России // Почвоведение. - 1997. - № 12. - С. 1470-1477.
5. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Водные ресурсы болот России и оценка их химического состава // География и природные ресурсы. - 1998. - № 2. - С.79-84.
6. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 280 с.
7. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. - М.: Недра, 1989. - 304 с.
8. Милановский Е.Ю. Амфифильные компоненты гумусовых веществ // Почвоведение. - 2000. - № 6. - С.706-715.
9. Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. - М.: ГЕОС, 2009. - 186 с.

ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ БОЛОТ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

MIGRATION PROCESSES OF HEAVY METALS IN BOG WATERS IN TOMSK REGION

Е.С. Иванова

E.S. Ivanova

ГНУ Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа Россельхозакадемии
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia
E-mail: Ivanova_E_S@bk.ru

В настоящее время недостаточно изучены механизмы накопления и миграции соединений халькофильных тяжелых металлов. Ведь совокупное действие рельефа, климата, растительности и почвенных факторов определяет высокую активность процессов водной миграции, перераспределению и аккумуляции тяжелых металлов по ландшафтам болот. С поверхностным стоком теряется и перераспределяется огромное количество элементов. При этом возникает опасность концентрации тяжелых металлов на локальных участках почвенного покрова. Смыв и перенос гумусовых комплексов способствует перераспределению тяжелых металлов, как по поверхности торфяной залежи, так и по его профилю, в то же время, осуществляя тесное взаимодействие между почвенным и растительным покровом, а так же гидросферой. Целью данной работы является изучение латеральной миграции тяжелых металлов в водах геохимически сопряженных ландшафтов естественного и антропогенного болот.

Для оценки содержания тяжелых металлов были отобраны пробы болотных вод на участках: естественного верхового болота в пределах междуречья рек Бакчар и Икса, и с осушенного Иксинского болота. Ландшафт верхового болота был разбит на элементарные ландшафтно-геохимические системы: сосново-кустарничково-сфагновый – трансаккумулятивный участок; сосново-кустарничково-сфагновый с угнетенным древостоем – транзитный участок; открытая осоково-сфагновая топь – автономный участок. Осушение Иксинского болота проведенное в пределах участка стало причиной массовых торфяных и лесных пожаров. В засушливом 1998 году были полностью уничтожены растительный покров с приповерхностной толщей торфа на болотах площадью 37 км² (Базанов, 2002). Наблюдения были проведены на березово-травяном участке после пожара на дерново-поверхностно-глеватой почве – трансаккумулятивном участке, березово-сосновом кустарничково-сфагновом участке после пожара на торфяных почвах – транзитном участке, сосново-кустарничково-сфагновом с отдельными сгоревшими стволами на торфяных

почвах – автономном участке. Все выбранные пункты наблюдений на данных участках характеризуются разными уровнями болотных вод и гидрологическим режимом. Мощность торфяной залежи в районах исследования составляет от 1 до 3 м при возрасте от 3 до 5 тыс. лет. При этом максимальное антропогенное воздействие испытывают верхние горизонты торфяных залежей, в которых удерживается основная часть металлов и происходит их первичная трансформация. В связи с этим отбор проб болотных вод проводили до глубины 1 метра.

Цинк. Малорастворимые соединения цинка активнее накапливаются на объектах исследования в отличие от остальных исследуемых элементов. Биофильность цинка является наивысшей среди халькофильных металлов. В почвах с избыточным увлажнением он мигрирует в виде катионов Zn^{2+} , $ZnOH^+$ и в органо-минеральных комплексах с гуминовыми и чаще фульвокислотами. Валентность цинка постоянная, поэтому главное влияние на его миграцию оказывают изменение щелочно-кислотных условий и сорбционные процессы (Перельман, 1999). По С.Л. Шварцеву (1998), воды зоны гипергенеза содержат в среднем 34 мкг/л цинка, по Дж. Муру и С. Рамамурти (1987) в незагрязненных пресных водах растворено от 0,5 до 15 мкг/л цинка. Наши наблюдения показали концентрации на обоих участках не превышающие $ПДК_{ХОЗ-ПИТ}$ и составили в среднем на верховом болоте 29,33 мкг/дм³, на Иксинском болоте 7,33 мкг/дм³. На естественном болоте наблюдается аккумуляция элемента на всех участках (рис. 1). Тогда, как на антропогенно нарушенном при более низких концентрациях цинка (в 4 раза) отмечается противоположная картина. Коэффициент латеральной дифференциации равен 41,9–7,9, что указывает на вынос металла с ландшафта (рис. 2). Как видно из результатов анализов, содержание цинка в болотной воде ниже $ПДК_{ХОЗ-ПИТ}$ как минимум в 5 раз от 0,43 до 18 мкг/л.

Влияние на миграцию цинка в торфяной залежи оказывает содержание оксидов железа и величина рН. Коэффициент корреляции цинка с содержанием общего железа в болотных водах

Таблица. Содержание тяжелых металлов в водах верхового и Иксинского болот

Элементарный ландшафт	Тяжелые металлы, мкг/дм ³			
	Zn	Cu	Cd	Pb
Верховое болото				
Автономный участок	38,92	1,95	0,65	1,86
Транзитный участок	26,7	3,73	0,02	3,63
Трансаккумулятивный участок	21,35	1,15	0,02	0,34
Иксинское болото				
Автономный участок	0,43	0,51	0,32	0,079
Транзитный участок	3,4	0,51	0,02	0,66
Трансаккумулятивный участок	18,0	0,15	0,06	1,3

составил – 0,97 (верховое болото) и 0,99 (Иксинское болото). Величина рН отражает общие условия геохимической обстановки и имеет важное значение для функционирования системы. Величина активности торфяной почвы верхового болота из года в год колеблется в постоянных равных лимитирующих единицах. Величина рН является средним показателем в болотной воде до глубины 1 метра и изменяется с глубиной в щелочную сторону. Величина рН болотных вод заметно выше на транзитном участке по сравнению с остальными фациями. Границы рН достигают 3,5 - 3,9 в зависимости от сезона. Трансаккумулятивный участок характеризуется слабокислой реакцией рН – 4,5. На автономном участке за 11 лет наблюдений отмечается среднее значение рН равное 4,1. Коэффициент корреляции с содержанием цинка составил -0,53. На Иксинском болоте величина рН на автономном и транзитном участках в пределах 3,8–3,9. На трансаккумулятивном рН составило 6,7. При этом отмечена тенденция уменьшения миграционной способности цинка в сторону роста рН, коэффициент корреляции равен 0,99.

Медь. Среди металлов медь - один из лучших комплексообразователей. В кислых водах наиболее часты катионные формы двухвалентной меди (Cu^{2+}), в слабокислой и нейтральной среде часть меди находится в виде $[\text{CuOH}]^+$ (Перельман, 1999). Обладая хорошими адсорбционными свойствами, медь легко сорбируется из вод органическими коллоидами, гидроксидами железа и марганца. Концентрация меди в болотных водах на естественном верховом болоте превышает в 4–7 раз содержание металла Иксинского болота. При этом на Иксинском болоте отмечается вынос с ландшафта, а на верховом болоте его аккумуляция (рис. 1,2). В сравнении с нативным участком, можно предположить некоторые отклонения от нормального поведения меди участка после пожара. По литературным данным (Кошелева, 2002) известно, что при повышении рН ионы меди связываются с труднорастворимыми оксидами и гидроксидами, а, следовательно,

происходит уменьшение содержания подвижных форм металла. Тенденция уменьшения миграционной способности водорастворимых форм меди наблюдается в сторону роста рН (табл.). На верховом болоте, как и на Иксинском болоте наблюдается высокая зависимость между рН и тяжелым металлом (0,97 - 0,99 коэффициент корреляции).

Свинец. Этот элемент образует комплексы с серой, фульвокислотами, кислородом, азотсодержащими лигандами, OH^- , лимоннокислыми лигандами и с фосфором (Перельман, 1999). При анализе содержания свинца в болотных водах выявлены максимальные его концентрации на транзитном участке верхового болота.

По литературным данным (Перельман, 1999) миграция свинца связана, прежде всего, с кислотно-щелочными условиями. В кислой среде он хорошо мигрирует в катионной форме, что было установлено на нативном болоте транзитного участка с кислой реакцией среды, где отмечается интенсивная миграция металла ($L=2,0$) (рис. 1). В нейтральной и щелочной средах его соединения $\text{Pb}(\text{OH})_2$ и $[\text{Pb}(\text{OH})_3]^-$ малоподвижны. Примером взаимосвязи элемента в щелочной среде является трансаккумулятивный участок Иксинского болота. Несмотря на щелочные условия, отмечается вынос элемента с ландшафта ($L=16,5$) (рис. 2). Возгорание торфяной залежи способствовало переходу свинца в более подвижные формы путем образования комплексов с гумусовыми веществами болотных вод. Кроме того, исследования позволили отметить интенсивное разложение органических остатков торфа в условиях низкой обводненности торфяной залежи и соответственно высокие концентрации органических веществ в болотных водах (ХПК 211-267 мгО/л). Согласно исследованиям (Ларин и др., 2004) поступление свинца в болотные воды может происходить путем воздушной миграции или из подстилающих пород.

Кадмий. Это типичный катионогенный халькофильный элемент, по своим свойствам близкий к цинку, но подвижнее его в кислых средах и с

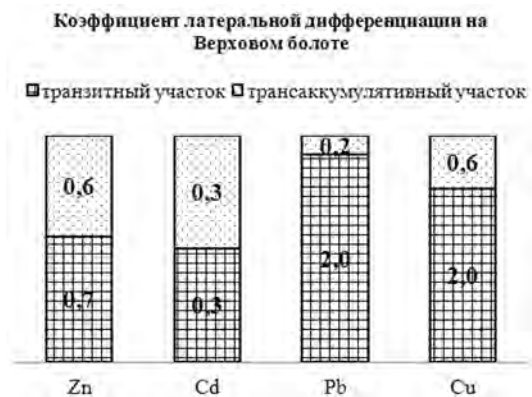


Рис. 1. Коэффициенты латеральной дифференциации химических элементов Верхового болота

большим сродством к сере. По данным (Ларина, 2004) кадмий особенно прочно связан с органическим веществом. При этом роль фульватных комплексов значительно меньше, чем у остальных исследуемых металлов. В кислых и слабокислых почвах кадмий энергично мигрирует в катионной форме, выносится из почв и достаточно активно поглощается растениями. Кадмий менее активный комплексообразователь, чем многие другие тяжелые металлы. Аккумуляция кадмия выявлена на всех участках болот ($L=0,1 - 0,3$) (рис. 1, 2).

Анализируя полученные данные по естественному верховому болоту можно сделать следующее заключение. Лидирующую позицию по показателям миграции среди элементов-за-



Рис. 2. Коэффициенты латеральной дифференциации тяжелых металлов Иксинского болота

грязнителей в болотных водах торфяной залежи Иксинского болота занимают свинец ($L=16,5$) и цинк ($L=41,9$). Выноса такого элемента как кадмий со всех участков не установлено ($L=0,1 - 0,3$). В результате антропогенных воздействий (пожар, мелиоративное осушение), на участке отмечаются изменения миграционной способности тяжелых металлов, в том числе свинца. Несмотря на щелочные условия болотных вод, выявлена подвижность элемента по геохимически сопряженным ландшафтам, что требует дальнейшего более глубокого изучения. Не смотря на антропогенную нагрузку и близость от автодороги участков Иксинского болота, превышения ПДК_{хоз.пит.} ни по одному из микроэлементов не выявлено.

1. Базанов В. А., Егоров Б. А., Лыготин В. А., Скугарев А. А. Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья рек Икса-Шегарка) // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. - Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. - 230 с.
2. Кошелева Н.Е., Косимов Н.С., Самонова О.А. Регрессивные модели поведения тяжелых металлов в почвах Смоленско-Московской возвышенности // Почвоведение. - 2002. - №8. - С. 954-966.
3. Ларина Н.С., Ларин С.И., Заботина О.Н. Динамика изменения содержания тяжелых металлов в верховых торфяниках юга Тюменской области // Успехи современного естествознания. - 2004. - №10. - С.132-135.
4. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. - Пер. с англ., 1987. - 288 с.
5. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. - М., 1999. - 640 с.
6. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., испр и доп. - М.: Недра, 1998. - 367 с.

ОСОБЕННОСТИ ТОРФОНАКОПЛЕНИЯ НА ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ FEATURES OF PEAT ACCUMULATION ON TRANSFORMED ROADSIDE AREAS OF SOUTH KARELIA

Л.В. Канцерова

L.V. Kancerova

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia
E-mail: Kancerova.L@mail.ru

Исследования растительности и динамики биотопов вдоль придорожной полосы автомобильных дорог ведутся на территории южной Карелии в подзоне средней тайги с 2009 года. Всего изучено 287 придорожных подтопленных участка, различающихся по микрорельефу, составу грунтов, водно-минеральному питанию. На минеральных грунтах исследовано 207 придорожных участка (72 %), остальные 80 (28 %) развиваются на торфяных отложениях. Участки, развивающиеся на торфе, рассматриваются как придорожные заболоченные участки (ПЗУ). Целью данной работы было изучить особенности торфонакопления на ПЗУ южной Карелии.

Важным аспектом изучения динамики ПЗУ является исследование строения торфяной залежи. На пробных площадях с помощью ручного торфяного бура измерялась глубина торфяной залежи, определялся тип подстилающей породы (суглинки, супеси, пески), также проведен послойный отбор образцов торфа на анализ ботанического состава и степени его разложения. На ПЗУ торф отбирался к.б.н. С.А. Кутенковым и ведущим биологом В.Л. Мироновым, торфяные образцы проанализированы главным биологом Н.В. Стойкиной. Как правило, бурение скважин происходило в центральной части заболоченного придорожного участка занятого одним сообществом или по профилю (в случае нескольких сообществ), перпендикулярному автомобильной дороге (тогда торф брали на участке вблизи дороги, в центральной части и на границе с лесом). Отбор образцов на ботанический состав был произведен через каждые 15-30 см. Практически для всех проанализированных торфяных залежей построены диаграммы ботанического состава торфа, отражающие процентное содержание растительных остатков в соответствующих слоях, для некоторых ПЗУ построены стратиграфические профили, которые позволяют наглядно представить ход и направленность сукцессий. Стратиграфические диаграммы оформлены с использованием специальной программы «Corpi» (Кутенков, 2013) и при помощи графических программ Paint и Adobe Photoshop.

Всего исследовано 24 скважины на стратиграфию торфяной залежи. Торфяная залежь в конкретной точке (скважине) представляет собой временной динамический ряд сукцессий, отраженных в слоях различных видов торфа (Кузнецов, 2006). Состав формирующегося торфа позволяет наиболее детально раскрыть ключевые стадии развития придорожного участка и может показать, когда началась и как проходила трансформация растительного покрова в нем.

На большинстве ПЗУ торф отложился задолго до строительства автомобильной дороги (53 биотопа), изменение гидрологического режима на этих участках привело к сукцессиям растительного покрова, что нашло отражение в торфяной залежи. Все ПЗУ по своей структуре представлены однородными биотопами (одно сообщество) и группами биотопов (динамические ряды из 3-4 сообществ). Однородных биотопов – 28 описаний (Канцерова, 2012а, 2012б). На восьми ПЗУ исследованы динамические ряды сообществ, в которых выполнено 25 описаний.

Исследования сообществ, в которых торф начал отлагаться в результате влияния строительства автомобильной дороги и имел глубину до 15-20 см, также проводили стратиграфическим методом (Канцерова, 2013). Таких сообществ выделено 27, и все они относятся к ПЗУ с одним сообществом. Маломощная торфяная залежь говорит о недавнем образовании придорожных участков (около 50-150 лет назад). Скорее всего, данные участки образовались в результате строительства и неправильно спроектированной системы дренажа (отсутствие придорожных дренажных кюветов и водопропускных труб) автомобильной дороги. Произошло подтопление придорожных участков, что привело к постепенному увлажнению и заболачиванию, а также преобразованию растительности в них. В ряде участков выявлено начало отложения осокового и хвощового торфов, сукцессии растительного покрова которых направлены в сторону болотообразования.

Для примера рассмотрим ПЗУ с динамическим рядом сообществ, торф на котором образовался задолго до строительства автомобильной

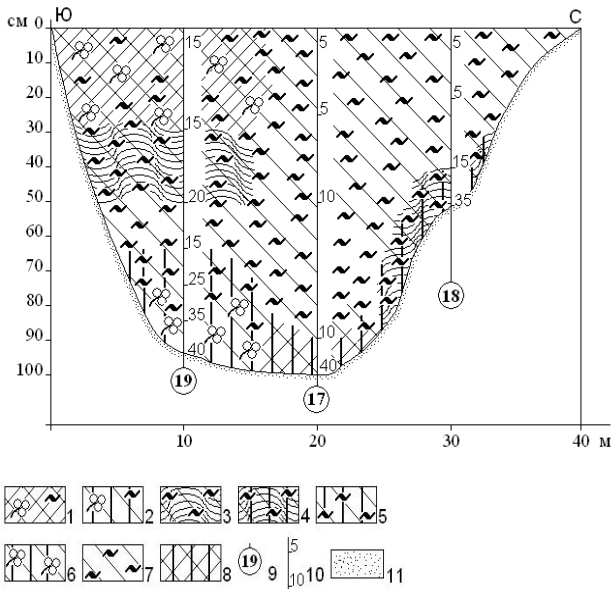


Рис. 1. Стратиграфический профиль придорожного заболоченного участка (Пряжинский район).

Переходные торфа: 1 – осоково-вахтово-сфагновый; 2 – древесно-вахтово-сфагновый; 3 – пушицево-сфагновый; 4 – древесно-пушицево-сфагновый; 5 – древесно-сфагновый; 6 – древесно-вахтовый; 7 – сфагновый; 8 – древесно-осоковый; 9 – номер скважины, 10 – степень разложения, 11 – песок.

дороги. Данный участок расположен в Пряжинском районе южной Карелии у асфальтированной автомобильной дороги на Суоярви в 39 км от г. Петрозаводска. Длина ПЗУ – 40 м, ширина – 100 м, уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) по участку от + 70 до – 10 см. ПЗУ состоит из трех частей: придорожной, центральной и пограничной с лесом. В каждой части ПЗУ закладывалась временная пробная площадь, выполнялось геоботаническое описание, и был произведен отбор проб торфа (скважины 17, 18 и 19) (Рис. 1).

Скважина 19 пробурена в 15 метров от дороги, ее глубина 90 см. Диаграмма ботанического состава позволила выделить шесть стадий (палеосообществ) на этом участке (Рис.2). Смена растительных палеосообществ первых пяти стадий протекала естественным путем, что также видно и на рис. 1, а на глубине 30 см произошла смена пушицево-сфагнового палеосообщества более гидрофильным осоково-вахтово-сфагновым. Скорее всего, строительство автомобильной дороги произошло именно в этот период, дорожная насыпь прервала естественный сток, в результате чего повысился УПГВ. Резкое увеличение количеств остатков *Menyanthes trifoliata* и *Carex rostrata* в торфе говорит о застойном увлажнении и подтоплении болотного участка.

Также снизилось обилие *Sphagnum fallax* и немного увеличилось обилие *Sphagnum riparium*.

Современное геоботаническое описание придорожной части ПЗУ выявило наличие видов *Menyanthes trifoliata* (35%), *Carex rostrata* (10%), *C. acuta* (3%), *C. nigra* (1%), *Equisetum palustre* (1%), *Scirpus sylvaticum* (1%), *Eriophorum vaginatum* (+), *Sphagnum fallax* (80%), *S. riparium* (10%) и было отнесено к субассоциации *cariceto rostratae* – *sphagnetosum fallacis* ассоциации *Cariceto rostratae* – *Sphagnetum riparii* (Канцерова, 20126).

Торфяные отложения центральной части ПЗУ (рис. 1, скважина 17) представлены древесно-осоковым и сфагновыми переходными видами торфа (степень разложения 5-40%). На рис. 3 видно, что на III стадии на глубине 25 см наибольшего доминирования в остатках достигает *Sphagnum riparium* (70%) и *Carex rostrata* (20%), что подтверждает обводненный характер центральной части ПЗУ, количество же остатков *S. fallax* снижается до 10%.

Современное описание центральной части участка содержит: *Betula pubescens* (+), *Carex rostrata* (25%), *C. rhynchophisa* (20%), *C. canescens* (+), *Equisetum palustre* (1%), *Menyanthes trifoliata* (1%), *Sphagnum fallax* (20%), *S. riparium* (65%) и было отнесено к субассоциации *cariceto rostratae* – *sphagnetosum riparii* ассоциации *Cariceto rostratae* – *Sphagnetum riparii* (Канцерова 20126).

Скважина 18 (рис. 1) пробурена в окраинной части ПЗУ в 10 м от леса. Глубина скважины 50 см и на ПЗУ выделяется три стадии развития (рис. 4): *Pinus* – *Eriophorum* – *Sphagnum fallax* + *Sphagnum riparium*, *Eriophorum* – *Sphagnum*

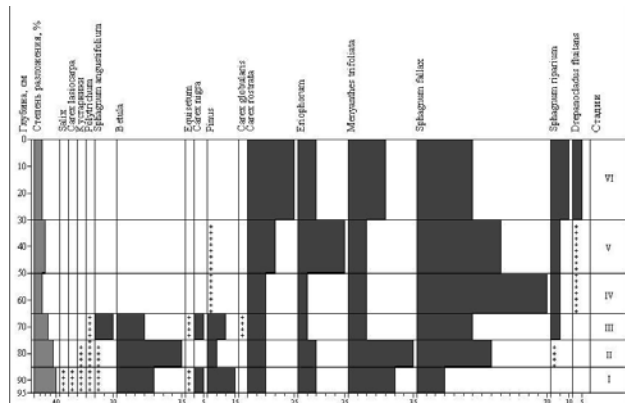


Рис. 2. Диаграмма ботанического состава торфа на придорожном заболоченном участке Карелии (придорожная часть, скважина 19).

Стадии: I – *Betula* + *Pinus* – *Menyanthes trifoliata*; II – *Betula* – *Menyanthes trifoliata* – *Sphagnum fallax*; III – *Betula* + *Pinus* – *Menyanthes trifoliata* + *Carex rostrata* – *S. fallax*; IV – *Menyanthes trifoliata* + *C. rostrata* – *S. fallax*; V – *Eriophorum* + *C. rostrata* – *S. fallax*; VI – *C. rostrata* + *Menyanthes trifoliata* – *S. fallax*.

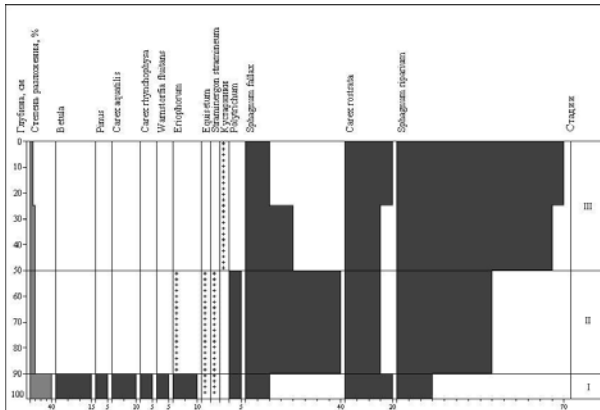


Рис. 3. Диаграмма ботанического состава торфа на придорожном заболоченном участке Карелии (центральная часть, скважина 17). Стадии: I – *Betula* + *Pinus* – *Carex rostrata* + *Carex aquatilis*; II – *C. rostrata* – *Sphagnum fallax* + *Sphagnum riparium*; III – *C. rostrata* – *S. riparium*.

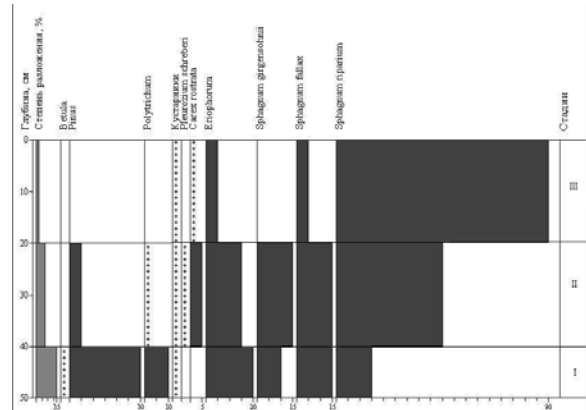


Рис. 4. Диаграмма ботанического состава торфа на придорожном заболоченном участке Карелии (окрайковая часть, скважина 18). Стадии: I – *Pinus* – *Eriophorum* – *Sphagnum fallax* + *Sphagnum riparium*; II – *Eriophorum* – *Sphagnum (riparium + fallax + girsensohnii)*; III – *Eriophorum* – *S. riparium*.

(*riparium* + *fallax* + *girsensohnii*) и *Eriophorum* – *S. riparium*. Отсутствие в верхних слоях торфа остатков *Sphagnum girsensohnii* и доминирование остатков топяного мха *S. riparium* (90%) еще раз доказывает о влиянии строительства дороги вдоль ПЗУ и наибольшего увлажнения и подтопления его именно в этот период (III стадия, глубина от 0 до 20 см).

В результате полученных данных, можно сделать вывод, что исследованный ПЗУ с

динамическим рядом сообществ, существовал задолго до строительства автомобильной дороги, трансформация растительности и смена одних палеосообществ другими произошла вследствие антропогенного влияния и изменения гидрологического режима участка, что подтверждается количественными изменениями показателей проективного покрытия более гидрофильных видов сосудистых растений и *Sphagnum riparium*.

1. Канцерова Л.В., Динамические процессы растительности на придорожном болоте Карелии // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова. - Самара, 2012а. - С. 33–34.
2. Канцерова Л.В. Разнообразие и динамика сообществ трансформированных гидроморфных биотопов среднетаежной Карелии: Автореф. дис. ...канд. биол. наук. Петрозаводск, 2012б. - 22 с.
3. Канцерова Л.В., Трансформация растительного покрова на придорожных заболоченных участках среднетаежной Карелии // Молодежь и наука на севере. Сыктывкар, 2013. - Т. 1. - С. 51–53.
4. Кузнецов О.Л., Структура и динамика растительного покрова болотных экосистем Карелии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2006. - 53 с.
5. Кутенков С.А., Компьютерная программа для построения стратиграфических диаграмм состава торфа «Когри» // Тр. КарНЦ РАН. - 2013. - №6. - С. 171–176.

СТРУКТУРА ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ХАСЫРЕЕВ НИЗКОКУСТАРНИКОВОЙ ПОДЗОНАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ СУБАРКТИЧЕСКИХ ТУНДР

STRUCTURE OF THE HASYREY PEAT BOGS IN LOW SHRUB SABZON BAND IN SUBARCTIC TUNDRA

Н.В. Кобелева, Ф.Г. Кулумбегова
N.V. Kobeleva, F.G. Kulumbegova

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
 Saint Petersburg State University, Russia
 E-mail: nella@mail.ru

Хасыреи – котловины спущенных термокарстовых озер. В условиях вечной мерзлоты хасыреи являются наиболее выраженными геоморфологическими индикаторами геокриогенных изменений поверхности на аэрофото- и космоснимках. Почвенный покров на хасыреях водораздельных территорий сформирован на озерно-песчаных отложениях и представляют собой заторфованные котловины с озерами и буграми пучения.

На заторфованных котловинах встречаются различные типы торфяных болот, в основном это бугристые торфяники. Бугристые торфяники — это мерзлые торфяники внутри торфяных бугров, разделенные морозобойными трещинами либо комплекс торфяных бугров и мочажин, либо комплекс торфяных бугров, мочажин и морозобойных трещин. Торфяники различаются по высоте, форме бугров и структуре комплексов.

Представленный в работе модельный участок расположен на водораздельной территории в северной части низкокустарниковой подзональной полосы субарктических тундр Тазовского полуострова в верховьях реки Собетьяхатарка, левобережного притока реки Собетьяха, впадающую в реку Поёлаваяха. Для системы хасыреев анализируемой территории характерно значительное разнообразие структур карстовых котловин, различающихся как по характеру растительности, так и по особенностям нана- и микрорельефа поверхности. Своеобразие структур растительного покрова термокарстовых впадин и окрестных территорий можно наблюдать на фитоэкологической карте. На рис.1 даны условные обозначения типов выделов фитоэкологической карты, составленной на основе дешифрирования аэроснимка М 1:10000, топографической основы и полевого материала анализируемой территории.

При разработке цветовой гаммы типов выделов отраженных на карте для хасырейных типов были использованы оттенки сиреневого цвета, это связано с тем, что почвенно-растительный покров хасыреев относится к болотному типу, но болотный тип принято отображать синей гаммой, поэтому была использована синяя гамма с оттенками сиреневого.

Ниже приведена расшифровка условных обозначений.

Легенда к фитоэкологической карте верховья реки Собетьяхатарка

1. Лишайниково-полигональная (на полигонах (*Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*; *Cetraria cucullata*, *Alectoria ochroleuca*); в трещинах – ерничково-лишайниковая - *Betula nana*, *Cladonia stellaris*), с почвенным комплексом криозем грубогумусированный и глеезем грубогумусированный криогенноожеженный в трещинах, СТС – 55-70 см.

2. Лишайниково-полигональное с прожилками сфагнума (лишайниковая выпукло-полигональная тундра (*Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*; *Cetraria cucullata*, *Alectoria ochroleuca* на полигонах; в трещинах – ерничково-лишайниковая – *Betula nana*, *Cladonia stellaris*) с прожилками сфагнума (*Sphagnum squarrosum*, *Sph. Balticum*), почва - комплекс: криозем грубогумусированный и глеезем грубогумусированный криогенно ожеженный в трещинах и глеезем торфянистый под сфагновыми прожилками, СТС – 55–70 см.

3. Кустарничково-лишайниковая полигонально-трещеноватая с западинами вдоль трещин (*Betula nana*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Cladonia stellaris*, *C. Rangiferina*, *Cetraria cucullata*, *Alectoria ochroleuca*, *Polytrichum strictum*, *Dicranum elongatum*) тундра, с почвой на буграх – криозем грубогумусированный, в трещинах – глееземом грубогумусированным криогенноожеженным, в западинах - глеезем криогенноожеженный, СТС – 55–60 см на полигоне, 110 см в трещине, 60–65 см в западинах.

4. Мелкобугристая лишайниковая (ивнячково-мелкоерниковая лишайниковая мелкобугристая (*Betula nana*, *Salix lanata*, *Cladonia rangiferina*, *Alectoria ochroleuca*, *Cetraria cucullata*, *Dicranum elongatum*, *Aulacomnium turgidum*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex rotundata* u *Sphagnum compactum*) тундра, под буграми - криозем грубогумусовый; СТС – 60–70 см, на буграх СТС – 50 см.

5. Среднебугристое с редкими мочажинами (среднебугристая кустарничковая осоковая моховая мочажинная (*Ledum decumbens*, *Betula*

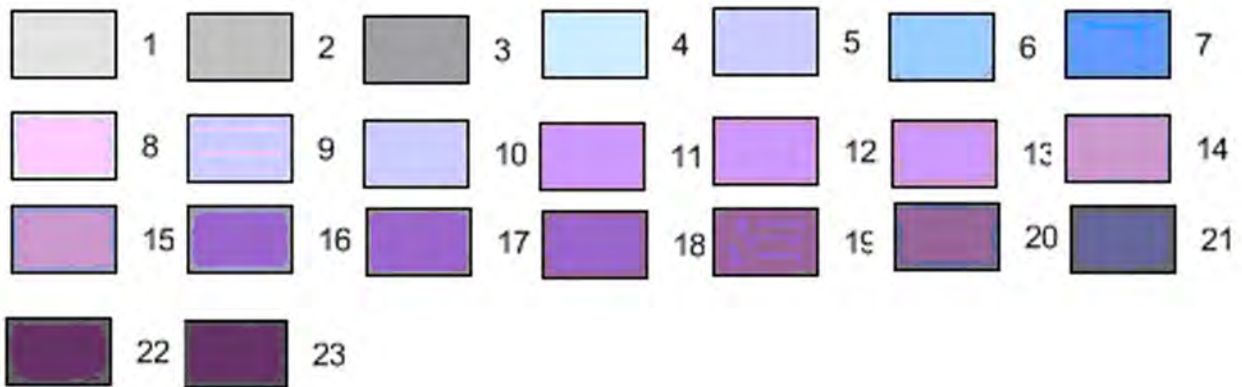


Рис. 1. Условные обозначения к фитоэкологической карте верховья реки Собетьяхатарка

nana, *Salix lanata*, *Carex rariflora*, *Carex rotundata*, *Dicranum elongatum*) заболоченная тундра; с почвенным комплексом: криозем грубогумусовый глееватый на буграх, глеезем типичный в мочажинах, СТС – 45–70 см.

6. Плоско-бугристое (мелкоерниковая лишайниково-сфагновая на бугре: *Betula nana*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*, *Sphagnum lenense*, *Cladonia rangiferina*) с пушицевой моховой мочажинной (*Eriophorum vaginatum*) болото; с почвенным комплексом: глеезем торфянисто-перегнойный окисленный на плоских буграх, глеезем торфянистый в мочажине, СТС – от 25 до 40 см на буграх и до 90 см в мочажинах.

7. Пушицево-осоково-сфагновое (осоковое сфагновое (*Eriophorum media*, *Carex rotundata*, *Carex rariflora*, *Sphagnum squarrosum*, *Sph. balticum*) болото; почва - криозем торфяный стратифицированный, намытый; СТС – более 1 м.

8. Среднебугристо-западинный комплекс с мочажинами (бугры: кустарничково-лишайниковые (*Betula nana* – 30%, *Dicranum elongatum* – 10%, *Cladonia rangiferina* – 25%); западины: кустарничково-моховые (*Betula nana* – 25%, *Sphagnum balticum* – 30%)) с мелкоосоково-пушицевыми мочажинами (*Carex globularis* – 30%, *Sphagnum compactum* – 20%) на болотных торфяных почвах на озерно-песчаных отложениях, СТС – около 1 м (булгуннях в хасырее).

9. Кустарничково-лишайниковый (ерничково-багульничково-лишайниковое (*Betula nana* – 15%, *Ledum palustre* – 15%, *Rubus chamaemorus* – 15%, *Cetraria cucullata* – 30%, *C. islandica* – 10%), мочажинное (в мочажинах: осоково-сфагновое (*Carex rotundata* – 30%, *Eriophorum angustifolium* – 30%, *Sphagnum compactum* – 30%, *S. balticum* – 10%, *S. lindbergii* – 10%)) болото на торфяно-глееземах мерзлотных сезонно-талый слой на буграх – 30–40, в мочажинах – 90 см, на торфянистых почвах. В окружении плоскобугристое (*Andromeda polifolia*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia sylvatica*, *Cladonia stellaris*, *Alectoria ochroleuca*,

Cetraria delisei – на плоском бугре) болото, с торфяной эвтрофной почвой на песчано-озерных отложениях, СТС – 0,7 м (булгуннях в хасырее).

10. Кустарничково-лишайниковая полигональная (*Betula nana* – 35%, *Ledum palustre* – 15%, *Cladonia sylvatica* – 30%, *C. rangiferina* – 20%, *C. stellaris* – 20%) на песчаных почвах на глееземе на озерно-песчаных отложениях, СТС – 70 см (в хасырее).

11. Среднебугристая (на буграх: кустарничково-моховая *Betula nana* – 45%, *Sphagnum balticum* – 60%) западинная (в западинах: осоково-сфагновая - *Carex globularis* – 30%, *Sphagnum compactum* – 45%, *S. balticum* – 15%) на торфяных эвтрофных почвах озерно-песчаных отложениях, СТС 80 см. Бугры высотой 60–70 см в диаметре 50–60. Между буграми – 40 см. Растет между ними кустарники (*Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*), с торфяной почвой на озерно-песчаных отложениях. СТС – 40 см. В окружении со среднебугристой (*Betula nana* – 20%, *Lusula confusa* – 10%, *Cladonia sylvatica* – 40, *C. rangiferina* – 20%; межбугорные понижения: *Eriophorum polystachion* – 1%, *Lusula confusa* – 1%, *Vaccinium uliginosum* – 1%, *Aulacomnium turgidum* – 1%, *Cladonia sylvatica* – 1%) тундра, СТС – 60–70 см (в хасырее).

12. Кустарничково-мохово-лишайниковая полигонально-трещиноватая Кустарничково-мохово-лишайниковая (вершина) (*Ledum palustre* – 25%, *Empetrum nigrum* – 20%, *Hierochloa alpina* – 20%, *Polytrichum commune* – 25%, *Cladonia rangiferina* – 10%, *C. sylvatica* – 10%) на песчаных почвах на глееземе на озерно-песчаных отложениях, СТС - 70 см (в хасырее).

13. Кустарничково-разнотравный (*Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Equisetum arvense* – 30%, *Calamagrostis neglecta* – 20%) на торфянистых почвах на озерно-песчаных отложениях, СТС-58, с окружением плоскобугристого болота (*Betula nana*, *Ledum decumbens*, (*Vaccinium uliginosum*, в мохово-лишайниковом покрове преобладает *Sphagnum lenense* и лишайники из рода

Cladonia, в мочажинах преобладает *Eriophorum vaginatum*) на подбуграх глееватых на озерно-песчаных отложениях (в хасырее).

14. Мелкобугристая (лишайниковая моховая (бугор: *Cladonia stellaria* – 40%, *Alectoria ochroleuca* – 25%, *C. rangiferina* – 20%, *S. warnstorffii* – 20%; межбугорный понижения: *Cladonia sylvatica* – 10%, *C. stellaria* – 5%, *Sphagnum compactum* – 50%)) на песчаных почвах на озерно-песчаных отложениях. СТС 70-80 см, СТС 48 см. Бугры высотой 15-20 см в диаметре 20. Между буграми 10-см торфяную почву (в хасырее).

15. Среднебугристо-мочажинный комплекс (бугры: кустарничково-лишайниковое (*Betula nana* – 30%, *Dicranum elongatum* – 10%, *Cladonia rangiferina* – 25%); мочажины: осоково-сфагновое (*Eriophorum polystachion* – 25%, *Sphagnum balticum* – 30%)) болото на болотных торфяных

почвах на озерно-песчаных отложениях, СТС – 90 см (в хасырее).

16. Лишайниковая трещиновато-выпуклополигональное с блюдцами воды комплексное (на полигонах: ерничково-лишайниковое (*Betula nana* – 15%, *Cladonia rangiferina* – 30%, *Cladonia sylvatica* – 25%); в трещинах - ерничково-осоковое (*Betula nana* – 10%, *Sphagnum balticum* – 10%)) болото с болотными торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 90 см (в хасырее).

17. Мочажинная со средне-бугристо-западинными буграми (мочажинное осоково-моховые (*Eriophorum polystachion* – 35%, *Lusula multiflora* – 5%, *Sphagnum balticum* – 80%)) болото торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, стс - 90 см с комплексом среднебугристого (на буграх: багульничково-лишайникового (*Ledum palustre* – 5%, *Cladonia sylvatica* – 40%,

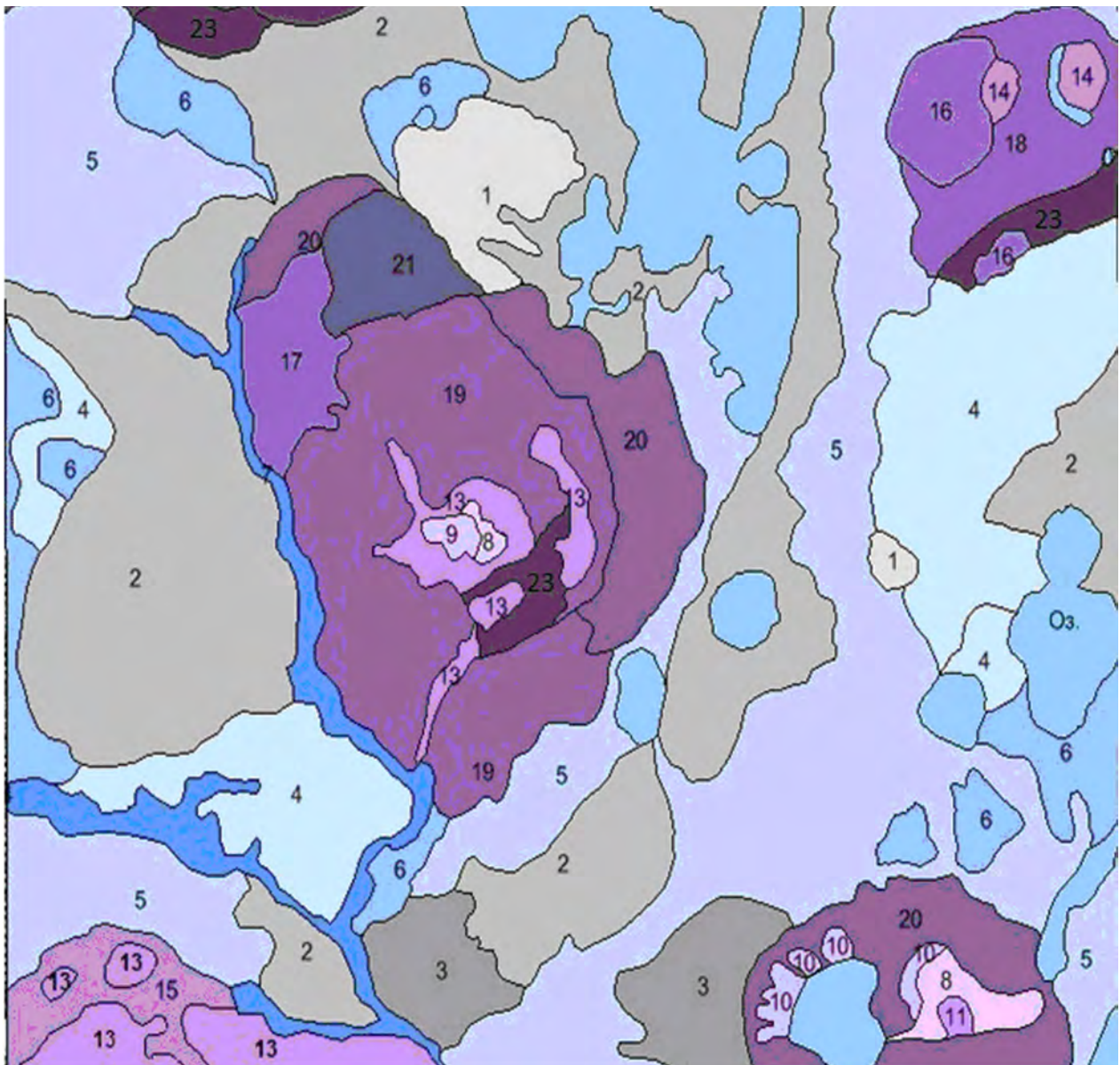


Рис. 2. Фитоэкологическая карта верховья реки Собетьяхатарка

C. rangiferina – 30%, *C. stellaris* – 20%)) западного (в западинах: ерничково-моховое (*Betula nana* – 20%, *Carex globularis* – 10%, *Sphagnum balticum* – 60%)) болота с болотными верховыми торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 70–80 см (в хасырее).

18. Среднебугристо-западинная с мочажинами (на буграх: багульничково-лишайниковое (*Ledum palustre* – 5%, *Cladonia sylvatica* – 40%, *C. rangiferina* – 30%, *C. stellaris* – 20%)) западинное (в западинах: ерничково-моховое (*Betula nana* – 20%, *Carex globularis* – 10%, *Sphagnum balticum* – 60%)) болото с болотными верховыми торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, стс – 70-80 см. с мочажинами осоково-сфагновыми (*Eleocharis palustris* – 40%, *Eriophorum polystachion* – 5%, *Sphagnum compactum* – 50%, *S. balticum* – 10%)) с верховыми торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 100–120 см (в хасырее).

19. Комплексное плоскобугристое (на буграх: ерничково-багульничково-лишайниковое (*Betula nana* – 15%, *Ledum palustre* – 15%, *Rubus chamaemorus* – 15%, *Cetraria cucullata* – 30%, *C. islandica* – 10%)), мочажинное (в мочажинах: осоково-сфагновое (*Carex rotundata* – 30%, *Eriophorum angustifolium* – 30%, *Sphagnum compactum* – 30%, *S. balticum* – 10%, *S. lindbergii* – 10%)) болото с торфяно-глеевыми почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС на буграх – 30–40, в мочажинах – 90 см (в хасырее).

20. Мочажинное осоково-сфагновое с редкими буграми средней величины осоковое болото (бугры: осоково-кустарничковое (*Carex rotundata* – 45%, *Betula nana* – 25%, *Vaccinium uliginosum* – 10%), мочажины (*Eleocharis palustris* – 40%, *Eriophorum polystachion* – 5%, *Sphagnum compactum* – 50%, *S. balticum* – 10%)) с верховыми торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС на буграх – 20-40 см, в мочажинах – 100–120 см (в хасырее).

21. Трещиновато-вогнуто-полигонально-мочажинная с мелко осоковым сфагновым болотом, с осоково-моховыми (*Eriophorum polystachion* – 35%, *Lusula multiflora* – 5%, *Sphagnum balticum* – 80%)) мочажинами, с болотными торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 90 см (в хасырее).

22. Осоково-сфагновая с фрагментами крупно осоковой и редкими кустарничковыми лишайниково-моховыми буграми Осоково-сфагновая (*Carex aquatilis* – 80%, *Drepanocladus uncinatus* – 15%, *Sphagnum lenense* – 60%) с болотными торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 70 см (в хасырее).

23. Крупноосоковая сфагновая (*Carex aquatilis* – 50%, *Eriophorum vaginatum* – 30%, *Comarum palustre* – 5%, *Drepanocladus uncinatus* – 15%, *Sphagnum lenense* – 60%) с болотными торфяными почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – 90 см. в комплексе с Осоково-касандрово-сабельниковым сфагновым (*Arctagrostis latifolia* – 40%, *Comarum palustre* – 20%, *Sphagnum balticum* – 90%) болотом, с торфянисто-глеевыми почвами на озерно-песчаных отложениях, СТС – более 1 м (в хасырее).

Анализ структуры торфяных болот пяти хасыреев модельного участка показал, что, как правило, на водораздельных хасыреях, обычно в центре, расположено либо озеро, либо булгунья. Установлено, что структура почвенно-растительного покрова на булгуньях коррелирует с микрорельефом, а пространственная дифференциации – с мезорельефом.

Особенностью дифференциации растительного покрова является то, что на булгуньях растительность такая, как на выпуклых формах рельефа прилегающей территории, причем отрицательные формы микрорельефа приобретают выпуклую форму.

Тип торфяных болот на хасыреях такой же, как и на прилегающих территориях.

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

HYDROCLIMATIC LIMITS OF EXISTENCE OF ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF GEOMORPHOLOGICAL FACTORS

С.Г. Копысов
S.G. Kopysov

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
E-mail: wosypok@mail.ru

Любая экосистема в виду того, что занимает определённую площадь, выполняет определённую гидроклиматическую роль, проявляющуюся в перераспределении ресурсов тепла и влаги. Системные свойства экосистем сложились в процессе их исторического развития. В естественных условиях экосистемы функционируют в состоянии, близком к динамическому равновесию вещественно-энергетического обмена, которое соблюдается механизмами саморегуляции, т.е. множеством энергетических и вещественных взаимоотношений между отдельными компонентами, изменяющихся в каждый момент времени, но не выходящих за допустимый диапазон (Антипов и Петров, 1992; Росновский, 2001; Напрасников, 2002).

В физике, как и экологии, известно, что при изменении какой-либо составляющей системы с выходом за допустимый диапазон устанавливается новое динамическое равновесие, соответствующее новой структуре вещественно-энергетических взаимоотношений в системе. Поэтому очень важно знать диапазон нормального функционирования рассматриваемой экосистемы и пределы, превышение которых делает фактор, выступавший условием существования, фактором, выводящим экосистему из состояния подвижного равновесия.

Учитывая то, что почва является, как бы памятью экосистемы, устойчивость всей экосистемы будет определяться устойчивостью почвы (Росновский, 2001). Именно поэтому для перехода стокоформирующего комплекса от одного типа функционирования к другому недостаточно только изменения его увлажнения. Необходимо также изменить структуру почвогрунтов (Напрасников, 2002).

Все внешние воздействия делятся на слабые воздействия (не превышающие предела упругости системы), умеренные воздействия (не превышающие предела пластичности системы) и сильные воздействия (превышающие предел пластичности системы). При этом под упругостью понимается свойство почвы как компонента экосистемы полностью возвращаться через некоторое время в практически исходное состояние после прекращения внешнего воздействия. Под пластичностью - способность почвы накапливать результаты внешних воздействий, не изменяя при этом кардинально свою структурно-

функциональную организацию и экологические функции в экосистеме. В случае превышения предела пластичности почва необратимо изменяется (Росновский и Копысов, 2002).

Из этого следует, что слабое воздействие является безопасным для существования данного типа экосистемы, а предел пластичности - предельно допустимая нагрузка, превышение которой переводит экосистему из одного типа в другой, имеющий при этом тенденции к возвращению в исходное состояние.

Превышение предела пластичности чаще всего происходит при антропогенных воздействиях, которые выводят систему за допустимые пределы и приводят к образованию избытка или дефицита энергии и вещества (прежде всего воды), несвойственного экосистеме при функционировании в естественных условиях.

Диапазон функционирования экосистем определяется критериями устойчивости, характеризующими гидроклиматические процессы в экосистемах в относительных величинах. В качестве основы для определения таких критериев лучше всего подходит метод гидролого-климатических расчётов В.С. Мезенцева (Росновский, 2001; Белоненко, 2002; Напрасников, 2002; Копысов, 2011).

Количественной характеристикой растительного компонента экосистем является увлажнение в ступенях по шкале Раменского (CV_p), которая связана с почвенной (параметр r) и гидрологической (параметр n) компонентами системы через относительную влажность разрыва капилляров. При условии соответствия увлажнённости экосистемы теплоэнергетическим ресурсам испарения, относительная влажность разрыва капилляров V_{PK} (в долях от наименьшей влагоёмкости почвы) отражает доступность влаги растениям и в сочетании с условиями питания растений определяет тип напочвенного покрова.

$$CV_p = 100 \cdot V_{PK} = 100 \cdot \left(\frac{r-1}{rn+1} \right)^{1/m} \quad (1)$$

Параметр водно-физических свойств r , входящий в формулу 1, характеризует интегральную способность почвогрунта подводить влагу к испаряющей поверхности и расходовать её на испарение, по нашим данным зависит от удельной

поверхности S_0 и объемного веса ρ деятельного слоя почвы:

$$r = 1 + 0,01 \cdot S_0 \cdot \rho . \quad (2)$$

Градиент роста величины параметра водно-физических свойств отражает интенсивность перехода к более гидроморфным растительным сообществам в результате накопления в почве илистых частиц и её уплотнения.

Параметр ландшафтных условий n - учитывает геоморфологические условия формирования стока и, по сути, отражает способность деятельного слоя почвогрунта сбрасывать избыточную влагу под действием сил гравитации.

С учетом реально возможных изменений параметра ландшафтных условий стока, используемого в методе гидролого-климатических расчетов, и при наличии данных топографической съемки можно рассчитать значения параметра ландшафтных условий рассматриваемой экосистемы:

$$n = n_{скл} + 0,22 \cdot \ln \frac{L_{скл}}{\sqrt{i}} , \quad (3)$$

где $n_{скл}$ – средний параметр условий стока для всего ландшафта при значении $n_{скл} = 2,5$; $L_{скл}$ – средняя длина склона, км; i – средний уклон микроландшафта, м/м.

Увеличение параметра ландшафтных условий стока воды соответствует гидроморфной трансформации ландшафта в результате ухудшения условий сброса избыточной влаги. Рост

градиента параметра ландшафтных условий стока воды учитывает интенсивность гидроморфной трансформации почвы, и соответственно перехода к более гидроморфным растительным сообществам, в результате ухудшения условий сброса избыточной влаги.

Для учёта несоответствия увлажненности экосистемы H теплоэнергетическим ресурсам испарения Z_M следует вводить поправку учитывающую их соотношение за многолетний период:

$$\beta_H = \frac{H}{Z_M} \cdot CY_P . \quad (4)$$

Безразмерный критерий устойчивости относительной влагообеспеченности экосистемы записывается в виде (Копысов, 2011):

$$\beta_{HV} = \frac{\beta_{Hj} - \beta_{Hmin}}{\beta_{Hmax} - \beta_{Hmin}} . \quad (5)$$

Диапазон значений критерия от 0 до 1 соответствует способности утилизации избытка (или недостатка) увлажненности в экосистеме, т.е. пределам его устойчивого существования. Возможные последствия выхода за эти пределы приведены в таблице 1.

Изложенная методика позволяет определять гидролого-климатические пределы существования экосистем конкретного типа, а также оценить при каком изменении геоморфологических и климатических факторов будет превышен предел пластичности экосистемы и она перейдет в новое состояние.

Таблица 1. Возможные последствия изменения влагообеспеченности в экосистемах

$\beta_{HV} < 0$	Иссушение почвы, усыхание влаголюбивых видов, возможно остепнение. Для болот смена растительности на менее влаголюбивую
$0 \leq \beta_{HV} \leq 1$	Влагообеспеченность в пределах естественной климатической изменчивости для данной экосистемы
$\beta_{HV} > 1$	Увеличение влажности почвогрунта, развитие влаголюбивых видов, возможно заболачивание. На болотах возможно формирование гряды-озеркового комплекса

1. Антипов А.Н., Петров А.В. Вещественно-энергетические основы устойчивости ландшафтно-гидрологических систем // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. - Новосибирск: Наука, 1992. - С. 5–17.
2. Белоненко Г.В. О нормировании предельно допустимых воздействий на водные объекты // Проблемы гляциогидроклиматологии Сибири и сопредельных территорий. - Томск: Изд-во ТГУ, 2002. - С. 83–84.
3. Гелета И.Ф. Гидрологические аспекты устойчивости болот // Гидрологические исследования ландшафтов. - Новосибирск: Наука, 1986. - С. 49–57.
4. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 280 с.
5. Копысов С.Г. Ландшафтная гидрология геосистем лесного пояса Центрального Алтая. – Deutschland: LAMBERT Academic Publishing, 2011. - 150 с.
6. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса. - Омск: Изд-во СХИ, 1973. - 80 с.
7. Напрасников А.Т. Критерии бинарной оценки гидролого-климатической устойчивости геосистем // География и природные ресурсы. - 2002. - №2. - С. 18–27.
8. Росновский И.Н. Устойчивость почв в экосистемах как основа экологического нормирования. - Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2001. - 252 с.
9. Росновский И.Н., Копысов С.Г. Внешние воздействия и типы устойчивости почв // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. - М.: Почвенный институт им. В. Докучаева, 2002. - С. 11–12.

РАЗНООБРАЗИЕ ТРАВЯНО-ГИПНОВЫХ СООБЩЕСТВ НА БОЛОТАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ DIVERSITY OF GRASS-HYRNUM MIRE COMMUNITIES IN EUROPEAN NORTH AND THEIR PRESENCE IN PEAT DEPOSITS

О.Л. Кузнецов
O.L. Kuznetsov

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia
E-mail:kuznetsov@krc.karelia.ru

Гигрофильные и гидрофильные зеленые мхи, представленные более 30 видами из семейств *Amblystegiaceae*, *Bartramiaceae*, *Sryaceae*, *Calliergonaceae*, *Meesiaceae*, *Mniaceae*, *Pilaisiaceae* и *Scorpidiaceae*, называемые в болотоведческой литературе гипновыми, играют важную роль в растительном покрове болот таежной зоны. Большинство этих видов являются типично эвтрофными, только несколько из них встречаются в мезотрофных условиях (Eugola et al, 1984; Hedenäs, 2003). Гипновые мхи приурочены на болотах к пониженным элементам микрорельефа – плоским ковровым участкам, мочажинам и проточным топям, в которых уровень болотных вод не опускается ниже 10 см или стоит на поверхности. Они формируют рыхлые дернины, которые у некоторых видов (*Loeskyrnum badium*, *Paludella squarrosa*, *Meesia triquetra*, *Cynclidium stygium*, *Pseudocalliergon trifarium*) обычно очень маленькие, часто меньше квадратного метра. Гипновые мхи довольно светлюбивые, большинство из них в связи с малыми размерами и рыхлостью образуемых дернин, имеют слабую конкурентоспособность в ценозах, отсюда в составе моховых синузий, особенно в ковровых сообществах, всегда представлены часто несколько видов, имеющих близкие параметры экологических ниш. Ярус гипновых мхов представлен в широком спектре травяно-гипновых сообществ на болотах тундровой и таежной зон, в которых доминантами травяного яруса выступают виды осок, пушиц, пухоносос, хвощей, тростник, шейцерия и некоторые другие травы. Травяно-гипновые сообщества иногда занимают целые болотные массивы, они также представлены в мочажинах аапа комплексов, в транзитных топях мезотрофных болот и на многочисленных небольших ключевых болотах. В большинстве эвтрофных облесенных сообществ роль гипновых мхов незначительна. Большинство гипновых мхов имеют обширные голарктические ареалы, их ценотическая роль более значима в средней и северной тайге, а также в тундре.

Анализ обширной литературы по растительности болот скандинавских стран (Osvald,

1923; Kalela, 1939; Nordhagen, 1943; Sjörs, 1948; Ruuhijärvi, 1960; Dierssen, 1982; Pålsson, 1994; Vorren et al., 1999), севера европейской части России (Юрковская, 1959, 1992; Lounamaa, 1961; Смагин, 2008), а также материалы фитоценотики лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН (Кузнецов, 2005), свидетельствуют о высоком синтаксономическом разнообразии травяно-гипновых сообществ болот Севера Европы. Синтаксоны, описанные в вышеуказанных источниках, выделены и классифицированы разными методами, однако доминирующие виды травяного и мохового ярусов использованы в большинстве классификаций. Практически во всех исследованиях в Скандинавских странах описания выполнялись на маленьких площадках (0,25–1 кв. метр), что и послужило основанием для выделения многочисленных синтаксонов, в которых сочетаются различные виды травянистых растений с синузиями мхов, имеющих очень маленькие площади. Российские болотоведы выполняют описания травяно-гипновых сообществ на площадях примерно 100 квадратных метров, поэтому в их материалах практически отсутствуют синтаксоны, выделенные по доминированию многих гипновых мхов, не образующих обширных синузий.

Статус, количество и объем синтаксонов травяно-гипновых сообществ в рассматриваемых классификациях значительно различаются, однако при наличии синоптических таблиц они хорошо сопоставимы, что позволяет оценивать их распространение и специфику в пределах такого обширного региона. Так, в эколого-флористической классификации растительности болот северо-западной Европы К. Дирссен (Dierssen, 1982) выделил по видам гипновых мхов (по их доминированию или высокой константности) 50 субассоциаций в составе 26 ассоциаций класса *Scheuchzerio-Caricetea nigrae*. В тополого-экологической классификации растительности болот северной Европы (Pålsson, 1994) выделено 22 типа сообществ и целый ряд их вариантов по доминированию гипновых мхов. Тополого-экологическая классификация растительности

болот Карелии (Кузнецов, 2005, 2007) включает 7 травяно-гипновых ассоциаций и несколько субассоциаций в травяных ассоциациях с доминированием гипнов.

Видовая насыщенность и видовое богатство травяно-гипновых сообществ связаны с условиями их обводнения. Наиболее бедны сообщества глубоких мочажин и топей со *Scorpidium scorpioides*, *Warnstorfia exannulata*, *W. fluitans* (9–12 видов на 1 кв. м), а ценофлоры таких синтаксонов по данным разных авторов содержат от 20 до 71 вида. Однако последние показатели зависят от региона исследований и числа описаний. В эвтрофных ковровых сообществах с доминированием *Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii*, *S. revolvens* видовая насыщенность значительно выше – 17–22 вида на 1 кв. м, а ценофлоры таких синтаксонов в разных частях севера Европы составляют от 50 до 150 видов, при этом 15–30% в их составе приходится на мохообразные. Именно такие сообщества и болотные массивы с ними являются местообитаниями многих редких и охраняемых видов сосудистых растений и мхов во всех регионах севера Европы (Kuznetsov et al., 2012). Ряд травяно-гипновых биотопов и даже типов болотных массивов включены в перечни охраняемых биотопов Финляндии (Kaakinen et al., 2012) и Норвегии, нуждаются они в различных формах охраны и на европейском севере России (Кузнецов, 2010).

Наиболее разнообразны и широко распространены на всем севере Европы сообщества с доминированием *Scorpidium scorpioides*. Он ассоциируется со многими доминантами травяного яруса (около 20 видов), экологические ниши большинства из них очень близки. В классификации К. Дирссена (Dierssen, 1982) для северо-западной Европы выделено 16 субассоциаций со *S. scorpioides*, при этом в классификации растительности болот северной Европы (Påhlsson, 1994) все такие сообщества отнесены всего к двум типам. В Карелии нами выделено три ассоциации со *S. scorpioides* (Кузнецов, 2005).

В травяно-гипновых сообществах с доминированием *Campylium stellatum*, *Scorpidium cossonii*, *S. revolvens* в качестве доминантов и содоминантов выявлены многие виды травянистых растений. Отсюда с этими видами мхов также выделено довольно много синтаксонов: в СЗ Европе это 11 субассоциаций ((Dierssen, 1982), в северной

Европе – 5 типов сообществ (Påhlsson, 1994). В Карелии выделены 3 ассоциации с *Campylium stellatum*, в моховом ярусе которых постоянно присутствуют и другие гипновые мхи. Сообщества с другими видами гипновых мхов встречаются значительно реже и их разнообразие меньше.

Синузии гипновых мхов имеют значительную фитомассу и годовую продукцию, поэтому они играют важную роль в круговороте веществ в экосистемах некоторых типов болот. В сильно обводненных сообществах со слабой аэрацией ежегодно отмирающие части гипновых мхов не успевают полностью минерализоваться и их остатки входят в состав торфа. На болотах севера Европы широко распространены гипновый низинный (Н) и переходный (П), а также травяно-гипновые Н и П (в основном осоково-гипновый, значительно реже шейхцериево-гипновый и хвощово-гипновый) виды торфа. Чаще всего в них доминируют остатки *Scorpidium scorpioides*, довольно часто *Warnstorfia exannulata*, *W. fluitans*, *Calliergon* spp. (до вида в торфе определяются очень редко). Из этих же мхов состоят слои гипновых торфов, отложившихся на дне послеледниковых водоемов в начале голоцена. В составе этих торфов практически нет остатков других растений. Очень редко встречаются торфа с высоким содержанием остатков *Paludella squarrosa*, *Meesia* spp., *Scorpidium revolvens* s.l. Они отлагаются на ключевых болотах с холодной водой, в которой процессы разложения остатков идут слабо. Гипновые мхи, растущие в ковровых сообществах: виды Mniaceae, *Campylium*, *Loeskyrium badium*, в торфах практически не сохраняются, они быстро минерализуются в торфогенном слое, имеющем достаточно хорошую аэрацию в течение вегетационного периода.

Мощность пластов гипновых и травяно-гипновых торфов в торфяных залежах варьирует от нескольких сантиметров, обычно в придонном слое, до 5–6 метров в осоково-гипновых и гипновых залежах (Кузнецов, 1988). Это обусловлено длительностью существования палеосообществ, их отложивших. Установлена высокая скорость накопления гипновых и травяно-гипновых торфов, иногда до 1–2 мм/год, особенно в раннем голоцене (Елина и др., 1984), при этом средние показатели прироста торфов в Карелии и Финляндии составляют около 0,5 мм/год (Кузнецов, 2011).

1. Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. - Л.: Наука., 1984. - 128 с.
2. Кузнецов О.Л. Классификация торфяных залежей Карелии // Болотные экосистемы Европейского Севера. - Петрозаводск: КФ АН СССР, 1988. - С. 143-163.
3. Кузнецов О.Л. Тополого-экологическая классификация растительности болот Карелии (омбротрофные и олиготрофные сообщества) // Труды Карельского НЦ РАН. - 2005. - Вып.8. - С.15-46.
4. Кузнецов О.Л. Основные методы классификации растительности болот // Актуальные проблемы геоботаники. III Всерос. школа-конф. Лекции. - Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. - С. 241-269.

5. Кузнецов О.Л. Состояние и задачи охраны разнообразия болотных экосистем Карелии // Направления исследований в современном болотоведении России. - С.-Петербург: БИН РАН, 2010. - С. 253-261.
6. Кузнецов О.Л. Прирост торфа в Карелии в голоцене // Западно-сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Мат-лы третьего межд. полевого симпозиума, Ханты-Мансийск, 27.06-5.07. 2011 г. - Новосибирск, 2011. - С. 28-29.
7. Смагин В.А. Союз *Caricion davallianae* на северо-западе Европейской России // Ботанический журнал. - 2008. - Т.93, № 7. - С. 1029-1082.
8. Юрковская Т. К. Краткий очерк растительности болот средней Карелии // Торфяные болот Карелии. - Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1959. - С. 108-124.
9. Юрковская Т.К. География и картография растительности болот европейской части России и сопредельных территорий. - СПб.: БИН РАН, 1992. - 256 с.
10. Dierssen K. Die wichtigsten Pflanzengesellschaften der Moore NW Europas. Geneve. 1982. - 382 s.
11. Eurola S., Hicks S., Kaakinen E. Key to Finnish mire types // European mires. - London: Academic Press, 1984. - P.11-117.
12. Hedenäs L. The European species of the *Calliergon-Scorpidium-Drepanocladus* complex, including some related of similar species / *Meylania*. - 2003. - 28. - P. 1-106.
13. Kaakinen E., Kokko A. & Aapala K. Assesment of threatened mire habitats in Finland // The Finnish Environment. - 2012. - 38. - P. 181-196.
14. Kalela A. Über Wiesen und wiesenartige Pflanzengesellschaften auf der Fischerhalbinsel in Petsamo Lapland / *Acta For. Fen. B.* - 1939. - 48, № 2. - 523 s.
14. Kuznetsov O., Heikkilä R., Lindholm T. Mire vascular plants in regional Red Data Books of the North od European Russia and Finland // Материалы XII Перфильевских научных чтений, 29-31 мая 2012 г. - Архангельск: Северный (Арктический) университет, 2012. - С. 39-42.
15. Lounamaa J. Untersuchungen über die eutrophen Moore des Tulemajärvi-Gebietes in südwestlichen Ostkarelien, KASSR // *Ann. Bot. Soc. "Vanamo"*. - 1961. - B. 32, № 3. - 63 s.
16. Nordhagen R. Silkilisdajen og Norges fjellbeiter / *Bergens Mus. Scr. Bd. 22.* 1943. - 607 s.
17. Osvald H. Die Vegetation des Hochmooses Komosse // *Ak. Abhandl. Sv. Vaxtsoc. Sallsk Handl. Uppsala. Bd.I.* 1923. - 436 s.
18. Pålsson L. (ed.) *Vegetationstyper i Norden.* Kopenhamn: TemaNord, 1994. - 627 s.
19. Ruuhijärvi R. Über die Regionale Einteilung der nordfinnischen Moore / *Ann. Bot. Soc. "Vanamo"*. - 1960. - B. 31 №1. - 360 s.
20. Sjörs H. *Myrvegetation i Bergslagen.* Uppsala. 1948. - 299 p.
21. Vorren K.-D., Eurola S., Tveraabak U. The lowland terrestrial mire vegetation about 69° N lat. in northern Norway // *Tromsø*. - 1999. - № 84. - 90 p.

**РАЗНООБРАЗИЕ ПРИОЗЕРНЫХ БОЛОТ КАРЕЛИИ
DIVERSITY OF LIMNOGENOUS MIRES OF KARELIA**

**В.Л. Миронов
V.L. Mironov**

**Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia
E-mail: vict.mironoff@yandex.ru**

Разнообразие природных объектов удобнее всего рассматривать сквозь призму их классификации. Критерии различия, на которых строится любая классификация, позволяют расчленить совокупность природных объектов на крупные группы. В настоящее время в болотоведении используются классификации болотных массивов как по геоморфологическим признакам (Тюренов, 1949; Галкина, 1959;), так и по составу и структуре растительного покрова (Юрковская, 1980).

При всех достоинствах генеральных классификаций, они лишь косвенно затрагивают приозерные болота (далее – ПБ) и не вскрывают принципиальных критериев их различия. В них не учтены особенности специфичного для ПБ лимногенного воздействия, которые находят отражение и в растительном покрове, и в торфообразовательных процессах. Специальные классификации болотных массивов, которые учитывали бы этот важный аспект, нам не известны. Поэтому, на основе особенностей лимногенного воздействия, нами была разработана классификация ПБ Карелии и их биотопов (табл.).

Она имеет четырехуровневую структуру. Высшими единицами классификации являются надклассы и классы, а низшими – группы и типы. Строго говоря, надклассы и классы отражают разнообразие массивов ПБ, а группы и типы

обычно отражают разнообразие их болотных биотопов и лишь в однородных условиях соответствуют болотному массиву в целом.

Критерием для выделения надклассов болот является их гидрологический режим – естественный или трансформированный. Практически, основой для его выделения служит гидрологический режим озера. Естественный гидрологический режим ПБ обусловлен незарегулированным режимом материнских озер. Трансформированный гидрологический режим болот обусловлен изменениями в естественном режиме материнских озер. Часто причинами трансформации уровней является зарегулирование связанных с озером водотоков. В таких случаях нередко происходит значительный сдвиг самих базисов эрозии, в результате чего болота либо приобретают связь с озерами, либо выходят из-под их влияния.

Критерием выделения классов естественных болот является наличие или отсутствие заливания. Оно является важным дифференциальным признаком для ПБ, поскольку сам по себе пойменный режим (особенно длительное затопление) оказывает угнетающее действие на некоторые эдификаторные синузии – деревья и сфагновые мхи (Юрковская, 1980). Сопутствующий аллювиальный эффект и явления кольматации способствуют регулярному обогащению верхних

Таблица. Классификация приозерных болот Карелии и их биотопов

Надкласс болот	Класс болот	Группа биотопов	Типы биотопов
Естественные	Заливные (Пойменные)	Преимущественно супераквальные	пресноводные марши, плавни
		Умеренно супераквальные	пойменные луга, черноольшанники, пойменные травяные болота
		Кратковременно супераквальные	болотные леса, болота,
	Незаливные (Классические)	Незаливные	биотопы классических открытых болот, болотные леса
Трансформированные	Затопленные	Затопленные	пресноводные марши
	Осушенные	Осушенные	редкостойные березняки с кустарничковым ярусом, вейниковые и осоково-вейниковые луга, березняки болотно-травяные

слоев торфяной залежи и поддержанию приозерного болота на низинной стадии развития. В свою очередь, отсутствие заливания делает некоторые ПБ очень схожими с классическими болотами, которые развиваются по эндогенному пути. Поэтому, среди классов естественных болот выделены заливные (пойменные) и незаливные (классические) болота, а среди классов трансформированных болот - затопленные и осушенные.

Критерием для выделения групп биотопов ПБ служит степень их заливания. При этом, у заливных болот, как и у речных пойм (Липатова, 1980), она обуславливается в основном продолжительностью заливания и силой сопутствующего аллювиального эффекта. Поэтому в данном классе болот выделены преимущественно супераквальные, умеренно супераквальные и кратковременно супераквальные болотные биотопы. В классе незаливных болот выделена одноименная группа биотопов. У трансформированных болот в классе затопленных болот выделена группа затопленных биотопов, в классе осушенных болот выделена группа осушенных биотопов.

Типы болотных биотопов выделены по конкретным особенностям растительного покрова и имеют связь с гидрологическим режимом водоема. При этом, к типам болотных биотопов на практике относится очень широкий спектр объектов (например, пресноводные марши, плавни, пойменные луга, болотные леса, болота и т.д.), многие из которых исторически принято рассматривать отдельно от болот. Следует подчеркнуть, что в состав ПБ нами были включены не все эти объекты целиком, а только те их совокупности, которые в условиях Карелии характеризуются выраженными процессами торфонакопления и развитой торфяной залежью.

К классу заливных (пойменных) болот относятся те болота, которые в настоящее время сохраняют связь с озером. В периоды половодий и паводков значительная часть таких болот заливается озерными водами. Такие болота обычно соседствуют с проточными озерами в составе сложных систем водотоков.

К группе преимущественно супераквальных биотопов относятся пресноводные марши и плавни с доминированием травяной растительности. Они подтоплены большую часть времени и осушаются кратковременно в наиболее сухие годы, либо не осушаются вовсе. Более глубоководные участки занимают нейстофитные сообщества, а относительно мелководные участки – гелофитные сообщества (тростниковые, камышовые, рогозовые, хвощевые, крупноосоковые), но, нередко, со значительным участием растений-нейстофитов. Также, иногда в них отмечается примесь гипновых мхов. Торфяная залежь данных биотопов обычно рыхлая и кашеобразная.

К группе умеренно супераквальных биотопов относятся пойменные луга, черноольшанники. Они обычно подтоплены в период с начала мая до второй половины июня, затем отмечается спад воды и в верхних слоях залежи улучшаются условия дренажа и аэрации. Поэтому они подстилаются сильноразложившимися торфами с высоким содержанием зольных частиц. Контраст, выраженный в чередовании периодов подтопления и осушений, в условиях обильной подпитки железистыми водами способствуют формированию в верхних слоях залежи горизонтов гидрогенной аккумуляции железа (Полевой ..., 2008). В отличие от пресноводных маршей и плавней, залежь данных биотопов более плотная.

К группе кратковременно супераквальных биотопов относятся некоторые пойменные луга (например, с доминированием вейника и двукисточника), лесные болота (корбы), а также травяно-сфагновые болота. Их подтопление обычно продолжается не более одного месяца, поэтому угнетающее действие на древесной и сфагновые мхи не успевает сказаться в полной мере.

К классу незаливных болот относятся те болота, которые не подтапливаются озерными водами, либо влияние на них озерных вод крайне незначительно и ограничивается узкой полосой вдоль озера. На незаливных приозерных болотах подвижность залежных вод уже не связана с действием озера, а зависит от условий дренирования залежи (Елина и др., 1984).

Группа незаливных биотопов представлена в основном болотами, которые соседствуют с озерами, не испытывая их влияния. Такие незаливные биотопы подразделяются на болотные леса и типичные болота. Первые обычно представлены березняками и сосняками болотно-травяными. Они типичны для участков озерных котловин, освободившихся от озерного влияния. Могут занимать как пологие заболоченные террасы у проточных озер, так и ровные участки приозерных болот после регрессий озер. Вторые представлены олиготрофными и мезотрофными участками болот с доминированием сфагнов. Застойный характер увлажнения способствует угнетению древесной растительности. Данные биотопы приурочены к приозерным болотам зрелых стадий. Они имеют маленькие бессточные озера с малыми водосборами, когда роль озера в системе становится подчиненной, а развитие болот переходит на эндогенный путь развития. Надкласс трансформированных болот включает в себя объекты, гидрологический режим которых изменился в результате импактных трансформаций уровней озер. В настоящее время причинами резких изменений служат в основном антропогенные воздействия на озерно-речную сеть Карелии и водосборные

площади, а также строительная активность речных бобров на малых водотоках.

К классу затопленных болот относятся болота, попавшие в зону затопления после трансгрессии озера. В Карелии затопленных болот довольно много, при этом наблюдается тенденция к увеличению их количества. К ним относятся болота в зонах затопления крупных водохранилищ. Многие из таких болот оказались полностью затопленными, а экологические условия ряда других изменились до неузнаваемости. Также к данному классу относятся болота на ранних и средних стадиях развития (Тамошайтис, Якавоните, 1989) вокруг ламб и озер, трансформированных деятельностью бобров. С такими объектами приходится считаться, поскольку их количество

увеличивается по мере расселения бобров. К биотопам затопленных болот относятся пресноводные марши с доминированием осок, хвоща, рогоза и тростника.

К классу осушенных болот относятся болота, освободившиеся от озерного влияния. Спад воды запускает последовательность автогенных сукцессий, направленных в сторону олиготрофизации (Елина и др., 1984). В осушении приозерных болот велика роль антропогенного воздействия на водосбор, осушительной мелиорации, старения и коллапса бобровых плотин и т.д. К биотопам осушенных болот относятся редкостойные березняки с развитым кустарничковым ярусом, которые на более поздних этапах превращаются в березняки болотно-травяные.

1. Галкина Е.А. Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации // Торфяные болота Карелии. - Петрозаводск, 1959. - С.3 – 48.
 2. Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. - Л.: Наука, 1984. - 128 с.
 3. Липатова В.В. Растительность пойм // Растительность европейской части СССР. - Л., 1980. - С.346 – 372. Полевой определитель почв России – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. - 182 с.
 4. Тамошайтис Ю.С., Якавоните А.Ю. Приозерные болота – специфический компонент ландшафта // Ресурсы болот СССР и пути их использования. - Хабаровск, 1989. - С.74 – 80.
 5. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения и их разведка. - М, 1949. - 464 с.
- Юрковская Т.К. Болота // Растительность европейской части СССР. - Л., 1980. - С.300 – 345.

ОРГАНОГЕННЫЕ ВОДЫ ВЕРХОВЫХ И НИЗИННЫХ БОЛОТ ТОМСКОГО ПРИОБЬЯ

ORGANOGENIC WATERS OF RAISED AND FEN PEATLANDS IN TOMSK PRIOBIE

О.С. Наймушина

O.S. Naymushina

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Россия

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia

Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS, Tomsk Branch, Russia

E-mail: olgnaim@mail.ru

Западная Сибирь представляет собой одну из крупнейших на Земле аккумулятивных низменных равнин, значительная часть которой заболочена. В настоящее время заболоченность территории составляет от 39 до 50%, причем процесс торфообразования прогрессирует. В регионах с гумидным климатом в болотных водах доминирует растворенное органическое вещество, содержание которого в несколько раз превышает содержание зольных элементов (Шварцев, 1998). Такие воды являются органогенными (Вернадский, 2003) и представляют повышенный интерес со стороны ученых всего мира. Однако, доля исследований в Западной Сибири крайне мала, что определяет актуальность изучения болотных систем исследуемой территории, включая выявление основных особенностей химического состава болотных вод, а также изучение состава растворенного органического вещества.

Целью данной работы является изучение болотных вод для определения количественного содержания макро- и микрокомпонентов и особенностей состава растворенного органического вещества.

Объектом исследования являются болотные воды правобережной части долины нижнего течения р.Томи в 20–25 км от впадения ее в реку Обь в пределах второй надпойменной террасы. В пределах исследуемой территории находятся преимущественно низинные болота «Клюквенное» и «Темное», общей площадью 44,9 и 18,9 км², соответственно, мощностью до 3 м и более. Глубина залегания болотных вод на повышенных участках достигает 0,3 м, на пониженных – болотные воды заливают пространства между кочками или образуют мелкие озера площадью до первых десятков м². Значения коэффициентов фильтрации болотных отложений составляют 0,1–3,0 м/сут (Шварцев и др., 2012). Участок олиготрофного болота находится на берегу озера Мурашка и образован олиготрофной шейхцериево-осоково-сфагновой сплавиной озера. Залежь торфа имеет озерный генезис.

Исследования включали в себя отбор проб болотных вод, последующее определение их химического состава и органо-минеральных соединений, обобщение и статистический анализ полученных материалов с 2008 по 2013 гг. Параметры быстроменяющихся компонентов измерялись непосредственно на точке: температура, удельная электропроводность, Eh, pH при помощи анализатора WATER TEST Hanna instruments; NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca, Mg, Fe²⁺, Fe³⁺ – колориметрическим и фотометрическим методами. Лабораторный анализ вод выполнялся в Аккредитованной Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии научно-образовательного центра «Вода» Томского политехнического университета. Элементный анализ гуминовых и фульвокислот выполнен в Байкальском институте природопользования СО РАН под руководством д.х.н., проф. Кожевниковой Н.М. согласно (Бельчикова, 1972; Орлов, 1990) на автоматическом элементном анализаторе «СНН-1106» фирмы Karlo Erba, содержание кислорода рассчитывалось по разности. Функциональные группы определены методами А.Ф. Драгуновой и Т.А. Кухаренко.

Результаты обобщенных данных по химическому составу болотных вод представлены в таблице 1. Природные воды *верховых болот* с учетом средних многолетних значений классифицируются: по показателю кислотности как кислые, реже слабокислые и околонеутральные (pH варьирует от 3,1 до 7,2, составляя в среднем 4,4); по значению общей минерализации ультрапресные (среднее значение солёности составляет 18 мг/л); по жесткости очень мягкие. По химическому составу воды участка олиготрофных болот являются гидрокарбонатными кальциево-магниевыми, реже сульфатными кальциево-магниевыми либо кальциево-натриевыми.

Природные воды *низинных болот* с учетом средних многолетних значений классифицируются: по показателю кислотности как слабокислые, реже кислые и околонеутральные (pH варьирует

от 4,0 до 7,6, составляя в среднем 5,5); по значению общей минерализации ультрапресные (среднее значение солёности составляет 38 мг/л); по жесткости мягкие. По химическому составу воды являются гидрокарбонатными кальциево-магниевыми, реже сульфатными либо хлоридными кальциево-магниевыми.

Болотные воды рассматриваемой территории характеризуются высоким содержанием органических веществ, значительно превышающим суммарное содержание растворенных солей. Общее содержание органических веществ в водах евтрофных болот в пересчёте на $C_{орг}$ составляет от 7 до 110 мг/л, что значительно ниже

Таблица 1. Средние многолетние концентрации растворенных веществ и значения физико-химических показателей болотных вод

Параметр	Ед. изм.	Верховые болота				Низинные болота			
		Среднее	Мин.	Макс.	N*	Среднее	Мин.	Макс.	N
Электропроводность	мкс/см	55,9	16,0	408,0	38	63,7	25,0	382,0	32
pH	ед. pH	4,4	3,1	7,2	38	5,5	4,0	7,6	30
CO _{2св.}	мг/л	72,1	2,6	141,0	37	57,2	3,5	154,0	30
HCO ₃ ⁻		5,0	3,0	238,0	38	17,9	0,0	159,0	28
SO ₄ ²⁻		4,3	0	16,5	38	2,5	1,5	11,3	32
Cl-		2,0	0,4	5,8	38	3,4	0,8	20,6	30
Общая жесткость	мг-экв/л	0,3	0,1	1,0	38	0,5	0,1	3,1	30
Ca ²⁺	мг/л	4,3	0,5	13,8	38	6,4	1,6	46,0	30
Mg ²⁺		0,9	0,2	8,4	38	3,0	0,5	8,5	30
Na ⁺		1,4	0,2	11,5	38	2,5	0,3	8,5	32
K ⁺		0,88	0,2	4,0	38	2,1	0,1	5,2	32
Минерализация		17,8	3,4	414,0	38	37,6	5,5	214,0	32
O ₂		2,6	0,6	8,4	7	3,8	0,5	7,7	27
C _{орг.}		79,6	19,9	285,6	26	46,9	7,5	108,0	29
Фульвокислоты		107,9	15,3	209,6	25	78,7	3,0	196,0	32
Гуминовые кислоты		24,2	1,1	61,5	25	13,2	0,3	46,1	31
Окисляемость перм.		мгO ₂ /л	99,5	14,0	176,8	11	43,1	3,6	264,0
NH ₄ ⁺	мг/л	4,1	0,2	87,0	38	2,3	0,4	10,5	32
NO ₂ ⁻		0,03	0,01	0,28	38	0,02	0,01	0,73	32
NO ₃ ⁻		0,8	0,05	2,7	38	1,2	0,5	4,3	32
PO ₄ ³⁻		0,2	0,01	58,8	38	0,9	0,1	3,4	32
Fe _{общ}		2,8	0,4	18,3	38	9,3	0,4	85,2	32
Mn		0,03	0,01	0,7	16	0,2	0,01	5,9	24
Si		4,2	0,3	11,6	38	5,0	0,9	10,2	32
F		0,1	0,02	0,3	28	0,1	0,1	0,2	32
Al		0,2	0,04	1,2	26	0,5	0,3	0,8	6
Нефтепродукты		2,9	0,1	16,1	6	0,05	0,01	0,4	25
Zn	мкг/л	49,5	8,0	250,0	26	24,4	0,03	267,0	28
Cd		0,2	0,2	0,2	26	0,2	0,2	0,7	32
Pb		1,8	0,2	265,0	26	2,1	0,6	19,0	28
Cu		2,5	0,7	25,0	26	3,6	0,6	706,0	28
As		1,8	0,3	5,0	10	5,7	5,0	54,0	19
Li		7,1	1,0	30,0	16	2,7	0,01	46,0	29
Sr		6,4	3,0	124,0	10	1,3	1,0	18,6	19

*N – количество проб

Таблица 2. Элементный состав гуминовых и фульвокислот болотных вод

Показатель в пробе	Массовые %				Атомные %				Атомные отношения		
	С	Н	N	О	С	Н	N	О	Н:С	О:С	С:N
ГК 1	45,31	4,07	2,06	48,46	34,33	36,77	1,37	27,59	1,12	0,80	25,06
ФК 1	42,52	3,61	1,72	52,15	33,78	33,97	1,15	31,11	1,01	0,92	29,37
ГК 2	49,54	4,13	2,18	41,82	44,15	37,02	1,43	25,10	1,01	0,68	25,89
ФК 2	44,74	3,82	2,11	49,33	34,73	35,11	1,40	28,76	1,02	0,83	24,81
ГК 3	48,32	4,19	2,21	45,28	36,02	37,19	1,42	25,38	1,03	0,70	25,37
ФК 3	43,21	4,11	1,93	50,75	32,79	36,99	1,27	28,96	1,13	0,88	25,82

их содержания в водах олиготрофной торфяной залежи, где Сорг варьирует в пределах от 20 до 290 мг/л. Среднее многолетние значения концентраций органических веществ вод олиготрофных болот в сравнении с евтрофными выше почти в два раза. Гумусовые вещества – природные биополимеры (гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК)) образуются при разложении биологического материала и составляют большую часть валового органического вещества (Инишева, 2009; Харанжевская и др., 2011). Средние многолетние значения содержания фульвокислот в болотных водах олиготрофного участка значительно выше, чем в водах евтрофного болотного участка.

Высокие содержания органических веществ в болотных водах исследуемых участков верховых и низинных болот способствуют концентрированию ионов аммония в значительных количествах. Средняя концентрация NH_4^+ в водах верховых болот составляет 4,1 мг/л, а в низинных – 2,3 мг/л.

Среди микрокомпонентов в болотных водах преобладают тяжелые металлы. Максимальные содержания Zn, Pb и Al могут свидетельствовать о возможности их связывания в комплексные соединения с органическим веществом, которым исследуемые болотные воды крайне богаты. Из металлов наиболее высоки концентрации Fe. Преобладающими являются концентрации в 3-9 мг/л. Особенно они аномальны в водах низинных болот, в которых достигают 85 мг/л. Такое положение объясняется большим количеством

органики в воде, т.к. железо выступает главным элементом в конкуренции за связывание в органические комплексы, что способствует его удержанию и накоплению в воде.

Изучение состава и макроструктуры гумусовых кислот имеет важное практическое значение для теоретического обоснования экспериментальных результатов. В этой связи, с целью определения содержания и состава органического вещества болотных вод, проанализированы три пробы вод низинного болота.

Результаты по составу гумусовых кислот представлены в таблицах 2, 3. Элементный состав ГК и ФК (табл. 2) соответствует среднему содержанию элементов гумусовых кислот, выделенных из природных вод (Орлов, 1990; Лаврик, Муллоев, 2006; Schnitzer, 1978; Buffle, 1988). Количество углерода в ГК и ФК изменяется в пределах 42,52 – 49,54 %. Содержание водорода в гумусовых кислотах изменяется от 3,82 до 4,13%, минимальное значение характерно для ФК-1, максимальное – для ГК-2. Отношение Н:С наибольших значений достигает в пробах ГК-1 и ФК-3, снижаясь до 1,01 (ГК-2 и ФК-1).

Наблюдаемое колебание отношений Н:С является, главным образом, результатом различного соотношения углерода в ароматической решётке и углерода в периферийных алифатических цепях.

Ароматическая часть молекул (степень бензоидности) наиболее выражена в ГК-2, нежели в

Таблица 3. Характеристика гуминовых и фульвокислот болотных вод

Показатель в пробе	Степень окисленности	Функциональные группы, ммоль/г препарата			Степень бензоидности
		Сумма функциональных групп	Карбоксильные группы	Фенольные гидроксилы	
ГК 1	0,53	10,6	6,8	3,8	0,24
ФК 1	0,35	10,2	6,7	3,5	0,29
ГК 2	0,38	11,2	6,3	4,9	0,42
ФК 2	0,69	11,3	7,5	3,8	0,38
ГК 3	0,64	11,4	6,5	4,9	0,39
ФК 3	0,64	11,6	7,2	4,4	0,22

ГК-1. Степень бензоидности ФК во всех пробах (кроме пробы 1) ниже степени бензоидности ГК.

Отношения О:С, которые обусловлены содержанием кислорода в карбоксильных, спиртовых, фенольных и метоксильных группах, достигают максимальных значений в ФК-1, убывая в ряду: ФК-3 – ФК-2 – ГК-1 – ГК-3 – ГК-2. Количество кислорода в гумусовых кислотах находится в обратной зависимости от количества углерода. Соотношения С:N для гуминовых кислот изменяется

в узком пределе (25,06-25,89), для фульвокислот — в более широком (25,82-29,37).

Таким образом, болотные воды изученного района являются ультрапресными, отличаются исключительно высоким содержанием растворенных органических соединений, Fe, NH₄ и некоторых микрокомпонентов (Zn, Pb, Cu, Mn). В составе гумусовых кислот находится около 45% углерода, от 45 до 52% кислорода, до 4% водорода, и до 2% – азота.

1. Вернадский В.И. История природных вод. - М.: Наука, 2003. - 751 с.
2. Бельчикова Н.П. Методы определения функциональных групп гумусовых веществ. В кн.: Органическое вещество целинных и освоенных почв. - М.: Наука, 1972. - С. 239–241.
3. Инишева Л.И. Болотоведение: учебник для вузов. - Томск: Изд-во ТГПУ, 2009. - 210 с.
4. Лаврик Н.Л., Муллоев Н.У. Влияние концентрации гуминовых кислот в водных растворах на структуру их макромолекул // Химия в интересах устойчивого развития. - 2006. - Т.14. №2. - С.379–390.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 325 с.
6. Харанжевская Ю.А., Воистинова Е.С., Иванова Е.С. Химический состав и качество болотных вод в бассейне реки Чая // Сибирский экологический журнал. - 2011. - №1. - С.137–145.
7. Шварцев С.Л., Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исправл. и доп. - М.: Недра, 1998. - 366 с.
8. Шварцев С.Л., Серебренникова О.В., Здвижков М.А., Савичев О.Г., Наймушина О.С. Геохимия болотных вод нижней части бассейна Томи (юг Томской области) // Геохимия. - 2012. - Т.50. №4. - С. 367–380.
9. Buffle J. Complexation reactions in aquatic systems: An analytical approach. New York: Ellis Horwood Limited. 1988. - 692 p.
10. Schnitzer M. Soil Organic Matter. Amsterdam: Elsevier, 1978. - 286 p.

**ДЕСМИДИЕВЫЕ И ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА
«ЕЛЬНИЧНОЕ ОЗЕРО» (МОРДОВИЯ, РОССИЯ)****DESMIDS AND DIATOMS FROM THE BOG «ELNICHNOE OZERO»
(MORDOVIYA, RUSSIA)****А.Н. Неретина¹, О.Г. Гришуткин²****A.N. Neretina¹, O.G. Grishutkin²**¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

E-mail: neretina-anna@yandex.ru

² Мордовский государственный природный заповедник им. П.Г. Смидовича, Россия² Smidovich Mordovia State natural reserve, village Pushta, Temnikov region, Mordovia Republic, Russia

E-mail: grishutkinog@rambler.ru

Национальный парк «Смольный» (НП) расположен в северо-восточной части Республики Мордовии между 54°43' и 45°37' восточной долготы, 55°43' и 55°53' северной широты на территории Ичалковского и Большеигнатовского районов. Площадь НП 36,2 тыс. га, из них 1013,8 га занимают различные болота и заболоченные земли. Всего в национальном парке около 200 болот, большинство из которых является низинными (84,2% от общей площади). Переходные и верховые болота весьма многочисленны, однако невелики по площади. Их размеры не превышают 15 га. Олиготрофные болота в НП представлены довольно широко, в то время как в лесостепи Европейской части России болота такого типа встречаются крайне редко. Олиготрофные болота находятся в южной и центральной частях НП в суффозионных и эоловых понижениях рельефа на древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных отложениях. Открытой воды на них практически нет, поверхность большинства болот летом полностью высыхает (Гришуткин, 2008). Одним из немногих исключений является олиготрофное болото «Ельничное озеро». Несмотря на небольшую площадь (4,2 га), в центре восточной части этого болота сохранилось реликтовое озеро глубиной 2,5 м, к которому по краям подступает мощная сфагновая сплавина. На ней произрастает значительное число видов бореальных высших растений, внесенных в региональную Красную книгу: *Hammarbya paludosa* (L.) O. Kuntze, *Scheuchzeria palustris* L., *Carex limosa* L., *Drosera rotundifolia* L., *Oxycoccus palustris* Pers (Красная книга..., 2003). В самом озере обнаружена редкая макроскопическая водоросль *Batrachospermum turfosum* Bory de Saint-Vincent (Редкие..., 2005).

Микроводоросли «Ельничного озера» были объектом специальных исследований лишь однажды (Орлова и др., 2008), однако детального изучения видового состава десмидиевых и диатомовых водорослей проведено не было. В

то же время известно, что десмидиевые и диатомовые – лидирующие по числу видов группы водорослей в сфагновых болотах (Штина и др., 1981). В связи с этим цель нашей работы – изучить видовой состав десмидиевых диатомовых водорослей болота «Ельничное озеро».

Материалом для нашей работы послужили 5 смешанных проб обрастаний высших водных растений из озера. Отбор проб проводили 1 раз в месяц, в период биологического лета, с июня по октябрь 2012 г. Материал фиксировали на месте 4% раствором формалина. Очистку панцирей диатомовых водорослей проводили по стандартной методике. Микроскопическую обработку осуществляли на световом микроскопе Leica DM 500 при увеличениях x100, x400 и x1000, с использованием окуляров с увеличением x10 и объективов с увеличениями x10, x40 и x100ММ, соответственно. Для работы с десмидиевыми водорослями использовали временные влажные и постоянные глицерин-желатиновые препараты, с диатомовыми – постоянные препараты выжженных створок, заключенных в среду Эляшева. Определение таксонов проводили по различным отечественным и зарубежным литературным источникам (Паламарь-Мордвинцева, 1982; Lange-Bertalot, Metzeltin, 1996; Krammer, 2000; Coesel, Meesters, 2007; Hofmann et al., 2011; Lange-Bertalot et al., 2011).

В результате нашего исследования в «Ельничном озере» выявлено 52 вида (54 разновидности) десмидиевых водорослей из 17 родов и 72 таксона диатомовых водорослей видового и внутривидового рангов, принадлежащих к 30 родам. Таксономическая структура флор десмидиевых и диатомовых водорослей «Ельничного озера» типична для сфагновых болот. Во флоре десмидиевых водорослей по числу видов лидируют представители семейства Desmidiaceae (39 видов и 40 разновидностей), далее со значительным отрывом следует семейство Closteriaceae (7 видов), другие семейства представлены менее

чем 5 таксонами видового ранга. Лидирующими родами десмидиевых водорослей можно назвать *Staurastrum* (12 видов и 13 разновидностей), *Closterium* (7 видов), *Actinotaenium* (6 видов), *Cosmarium* и *Staurodesmus* (по 5 видов в каждом роде). Остальные роды десмидиевых водорослей насчитывают по 3 и менее таксонов. Во флоре диатомовых водорослей «Ельничного озера» по числу видов лидируют представители пеннатных диатомей (64 вида и разновидности), в то время как центрические представлены всего 8 видами. Ведущими родами диатомовых водорослей являются типичные болотные роды *Pinnularia* (17 видов и разновидностей) и *Eunotia* (13 видов), а также *Aulacoseira* и *Gomphonema* (по 3 вида в каждом роде). На эти 4 рода приходится 50% идентифицированных таксонов диатомовых водорослей «Ельничного озера».

Исследованное олиготрофное болото интересно с точки зрения видового состава десмидиевых и диатомовых водорослей. Наряду с широко распространенными в олиготрофных сфагновых болотах видами в нашем материале отмечены таксоны, которые считаются редкими во флорах России и (или) Европы.

Помимо типичных для олиготрофных сфагновых болот десмидиевых водорослей, таких как *Actinotaenium cucurbita* (Ralfs) Teiling, *Bambusina borneri* (Ralfs) Cleve, *Closterium abruptum* W. West, *C. navicula* (Brébisson) Lütkemüller var. *navicula*, *Cosmarium amoenum* Ralfs var. *amoenum*, *Cylindrocystis brebissonii* (Ralfs) De Bary, *C. crassa* De Bary, *Euastrum binale* Ralfs var. *gutwinskii* (Schmidle) Homfeld, *Haplotaenium minutum* (Ralfs) Bando var. *minutum*, *Micrasterias truncata* Ralfs, *Netrium digitus* Itzigsohn & Rothe, *Staurastrum hystrix* Ralfs, *S. teliferum* Ralfs var. *teliferum*, *Tetmemorus brebissonii* Ralfs var. *minor* De Bary, *T. granulatus* Ralfs, *T. laevis* Ralfs, *Xanthidium armatum* Ralfs и некоторых других видов, в 4 из 5 отобранных проб нами был отмечен *Docidium undulatum* Bailey – таксон, который относительно редко обнаруживают в олиготрофных водоемах Европы. В 1 из 5 проб были встречены единичные экземпляры *A. kriegeri* (Messikommer) Kouwets и *Cosmarium cymatonotophorum* W. West. В олиготрофных водоемах Европы и России данные таксоны десмидиевых водорослей также считаются редкими (Паламарь-Мордвинцева, 1982; Coesel, Meesters, 2007). Из 54 идентифицированных таксонов десмидиевых водорослей 39 таксонов были встречены на протяжении всех 5 месяцев, в то время как из 72 таксонов диатомовых водорослей только 18 видов было отмечено во всех 5 обработанных пробах. Среди этих

таксонов диатомовых водорослей наряду с широко распространенными в олиготрофных болотах видами, такими как *Brachysira brebissonii* Ross, *E. genuflexa* Norpel-Schempp, *E. incisa* Gregory, *E. neocompacta* Mayama var. *neocompacta*, *E. rhomboidea* Hustedt, *Frustulia saxonica* Rabenhorst, *Kobayasiella* sp., *Pinnularia macilenta* Ehrenberg, *P. rhombarea* Krammer var. *rhombarea*, *P. subcapitata* Gregory var. *elongata*, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *T. quadrisepata* Knudson и некоторыми другими таксонами, была отмечена *E. angustior* (Grunow) Lange-Bertalot & Tagliaventi (Lange-Bertalot et al., 2011). В Европейской части России данный таксон ранее отмечен не был. В 2 пробах были встречены створки *P. cf. breweriana* Foged. Полной уверенности в точности определения этого таксона у нас нет, т.к. он был описан всего по нескольким экземплярам. В нашем материале также встречено только 2 створки, поэтому сложно провести более полное сравнение с имеющимся описанием. Достоверные местонахождения *P. breweriana* известны на Аляске и в Финляндии (Krammer, 2000).

Флора десмидиевых и диатомовых водорослей «Ельничного озера» сложена гетерогенными по экологическим характеристикам видами. Среди идентифицированных десмидиевых водорослей преобладают таксоны, приуроченные к олиго- и мезотрофным водам с низким значением pH. Но вместе с ними отмечены и таксоны с более широкой экологической амплитудой. Например, *Staurastrum tetracerum* Ralfs var. *tetracerum* распространен в различных водоемах как с кислым, так и со щелочным значением pH (Coesel, Meesters, 2007). Среди идентифицированных диатомовых водорослей преобладают таксоны, типичные для олиготрофных водоемов с низким значением pH воды и невысоким содержанием электролитов (например, *Eunotia hexaglyphis* Ehrenberg, *E. fennica* (Hustedt) Lange-Bertalot, *Kobayasiella okadae* (Skvortzov) Lange-Bertalot, *Pinnularia brauniana* (Grunow) Mills, *P. polyonca* (Brébisson) Smith var. *polyonca*, *Stenopterobia delicatissima* (Lewis) Brébisson и др.) (Lange-Bertalot, Metzeltin, 1996), но также встречены и эврибионтные диатомеи (например, *Eunotia bilunaris* (Ehrenberg) Schaarschmidt и *Sellaphora laevis* (Kützing) Mann 1989) (Hofmann et al., 2011).

Таким образом, исследованное олиготрофное болото характеризуется большим таксономическим разнообразием десмидиевых и диатомовых водорослей. Находки редких таксонов свидетельствуют о необходимости дальнейшего детального изучения водорослей «Ельничного озера».

Мы очень признательны Alfred van Geest (Амстердам, Нидерланды) и Marien van Westen (Ассен, Нидерланды) за предоставленные статьи и книги по десмидиевым водорослям; к.б.н. М.А. Гололобовой и Д.А. Чудаеву (Москва, Россия) за литературу по диатомовым водорослям; д.б.н. С.И. Генкалу (Борок, Россия) за таксономические консультации. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-04-01569 А).

1. Гришуткин О.Г. Морфология болот Национального парка «Смольный». Научные труды Национального парка «Смольный». - Саранск, 2008. - Вып. 1. - С. 52–57.
2. Красная книга Республики Мордовия. Т. 1: Редкие виды растений, лишайников и грибов. Сост. Т. Б. Силаева. Саранск: Мордов. кн. изд-во, 2003. - 288 с.
3. Орлова Ю.С., Чугунов Г.Г., Силаева Т.Б. Альгофлора южной части Национального парка «Смольный». Научные труды Национального парка «Смольный». - Саранск, 2008. - Вып. 1. - С. 123–129.
4. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Зеленые водоросли. Класс конъюгаты. Порядок десмидиевые. В кн.: Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11. Ч 2. Л.: Наука, 1982. - 620 с.
5. Редкие растения и грибы: Материалы для ведения Красной книги Республики Мордовия за 2005 год. 2005. Под общ. ред. Т.Б. Силаевой. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 64 с.
6. Штина Э.А., Антипова Г.С., Козловская Л.С. Альгофлора болот Карелии и ее динамика под воздействием естественных и антропогенных факторов. Л.: Наука, 1981. - 269 с.
7. Coesel P.F.M., Meesters K.J. Desmids of the Lowlands. Mesotaeniaceae and Desmidiaceae of the European Lowlands. Zeist: KNNV Publishing, 2007. - 351 p.
8. Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H. Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Ruggell: A.R.G.Gantner Verlag K.G., 2011. - 908 s.
9. Krammer K. 2000. The genus *Pinnularia*. In: H. Lange-Bertalot (Ed.). Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 1. Ruggell: A.R.G.Gantner Verlag K.G. 703 p.
10. Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Oligotrophie-Indikatoren, 800 Taxa repräsentativ für drei diverse Seen-Typen, kalkreich – oligodystroph – schwach gepuffertes Weichwasser. Iconographia Diatomologica. Bd. 2. 1996. 390 s.
11. Lange-Bertalot H., Bağ M., Witkowski A., Tagliaventi N. *Eunotia* and some related genera. In: H. Lange-Bertalot (Ed.). Diatoms of Europe: Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Vol. 6. Ruggell: A.R.G.Gantner Verlag K.G. 2011. - 747 p.

ИЗОЛЯЦИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАПАДНОСИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ *PINUS SYLVESTRIS* L.

ISOLATION AND DIFFERENTIATION IN SOME WEST SIBERIAN POPULATIONS OF *PINUS SYLVESTRIS* L.

И.В. Петрова, О.Е. Черепанова*

I.V. Petrova, O.E. Cherepanova*

Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия
 Institute Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia
 *E-mail: botgarden.olga@gmail.com

Верховые и переходные болота эпохи голоцена занимают около половины территории Западной Сибири. Они представляют собой качественно новую, по сравнению с суходольными лесами, среду и адаптивную зону для возобновления, роста, выживания и микроэволюции популяций растений, расселившихся на них в послеледниковый период. Контрастность факторов среды и репродуктивная фенологическая изоляция сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на суходолах и смежных болотах очевидна, но на количественном уровне не изучена. Ранее, преимущественно на примере предлесостепи Западной Сибири, была установлена значительная репродуктивная фенологическая изоляция (Петрова, Санников, 1996; Санников, Петрова, 2003, 2010), фенотипическая и аллозимная генетическая дифференциация популяций *P. sylvestris* на суходолах и смежных верховых болотах (Муратова, Седельникова, 1993; Седельникова, 2008; Ларионова, Экарт, 2010). Факторы и степень репродуктивной изоляции на верховых, а особенно на переходных болотах в средней тайге Западной Сибири изучена недостаточно для выявления их экологических и зонально-

провинциально-географических особенностей. Сравнительное изучение почвенно-гидрологических факторов среды в смежных биогеоценозах – на суходолах (сосняк бруснично-лишайниковый), с одной стороны, и верховых (сосняк кустарничково-багульниково-сфагновый) и переходных болотах (сосняк пушицево-сфагновый) с другой, – в средней тайге Западной Сибири проведено в 2010-2011 гг. на территории природного парка «Кондинские озера» (Арантур). Для регистрации температурных значений почвы и атмосферного воздуха весь период пыления сосны на болотах и смежных суходолах использовали портативные температурные датчики (Термохрон) (рис. 1). Для изучения динамики «пыления» (вылета пыльцы из микростробиллов) и «цветения» (фаз развития макростробиллов), в том числе рецептивных, на учетной площади отбирали (помечали яркими лентами) по 35 одновозрастных деревьев.

На отмеченных деревьях ежедневно регистрировали фенофазы пыления, а для определения потенциальной ксеногамии – вероятности скрещивания двух популяций – использовали графический метод (Петрова, Санников, 1996). Достаточно точное определение площади

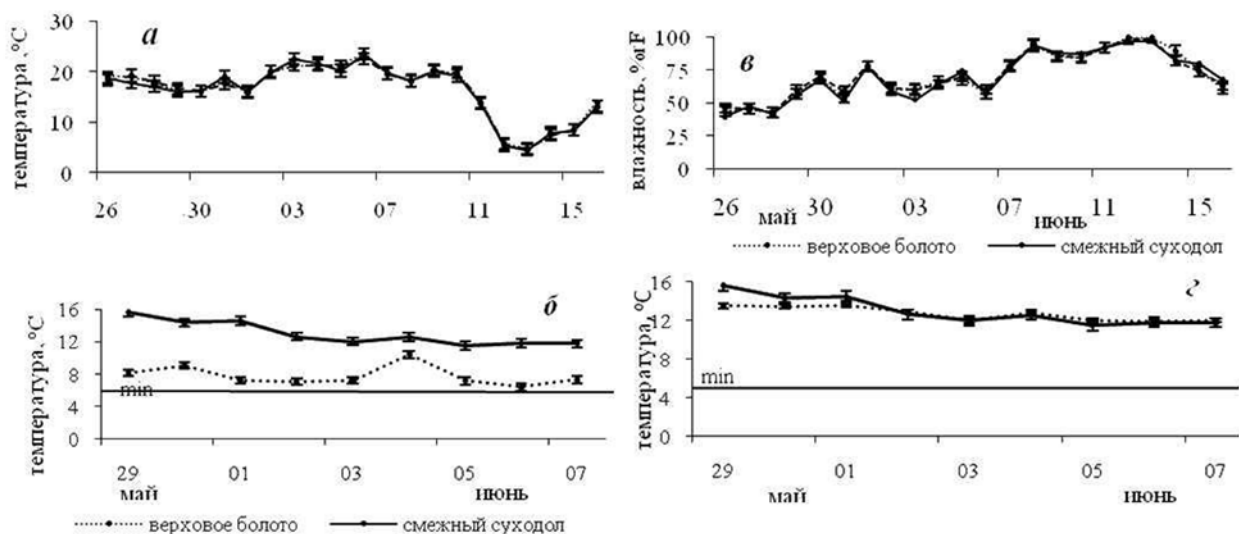


Рис. 1. Динамика температуры атмосферного воздуха (а), относительной влажности (в), почвенной температуры (на глубине 5–10 см) (б, г) в период пыления-«цветения» деревьев *P. sylvestris* на верховых (б) и переходных (г) болотах в средней тайге Западной Сибири

полигонов пыления-«цветения» и их перекрытия вычисляли на основе программы *Potoshop CS3* (Петрова и др., 2010; Черепанова, Мишихина, 2012). Степень фенологической изоляции популяций определяли как вероятность ксеногамии, равную отношению удвоенной площади перекрытия полигонов фенофаз пыления одной и «цветения» другой популяции к интегральной площади полигонов фенофаз пыления и «цветения» сравниваемых популяций (Петрова, Санников, 1996).

В динамике среднесуточной температуры и влажности воздуха в период пыления-«цветения» деревьев сосны на высоте 2–6 метров от поверхности почвы (в зоне развития микростробиллов) как на верховом, так и на переходном болотах не выявлено достоверных различий по температуре и относительной влажности. Резкие (достоверные; ошибка прибора ± 0.5 °C) термические различия установлены в корнеобитаемом слое почвы между сосняками на суходоле и смежном верховом болоте (рис. 1, б). В начале фенофаз пыления деревьев сосны температура на суходоле выше, чем на болоте (в среднем на 8° C). К концу пыления разница температуры сохраняется и составляет 4–5° C. На переходном болоте температура в зоне ризосферы к началу фенофаз пыления деревьев сосны (30.05.11–01.06.11 гг.) выравнивается с температурой корнеобитаемого слоя смежного суходола, а в отдельные солнечные дни превышает температуру на смежном суходоле на 1–2° C (рис. 1, а). Повышение температуры верхнего слоя почвы в сосняке багульниково-кустарничково-сфагновом (см. рис. 1),

по-видимому, можно связать с сильной разреженностью древостоя (полнота 0.4–0.5).

В течение обоих вегетационных сезонов наблюдений в сосняках на верховом болоте (сосняк кустарничково-багульниково-сфагновый) и смежном суходоле (сосняк бруснично-лишайниковый) запаздывание фенофаз пыления-«цветения» составляло 2–4 дня; репродуктивная изоляция варьировала от 28.53 до 34.8% (рис. 2).

На переходном болоте (сосняк пушицево-сфагновый), где температура почвы корнеобитаемого слоя на глубине 5 см была выше на 1–2° C, чем на смежном суходоле, запаздывание фенофаз в 2011 г. составило три дня (рис. 2), а репродуктивная изоляция – 26.73%. Расхождения в фенофазах в 1–3 дня между болотными и смежными суходольными популяциями отмечено ранее М.П. Абатуровой и Л.В. Хромовой (1984) в южной тайге Русской равнины.

В результате проведенных исследований, нами выявлена репродуктивная фенологическая изоляция между популяциями сосны на суходолах и смежных верховых и переходных болотах. Величина репродуктивной изоляции изменяется в направлении от суходол-переходное болото (26.73%) к суходол-верховое болото (34.8%). Отмеченная нами величина фенологической изоляции в средней тайге Западной Сибири почти в три раза ниже, чем между сходными популяциями в предлесостепи Западной Сибири, где она может достигать 100% (Петрова, Санников, 1996; Черепанова, 2013). Вероятно, основным фактором, определяющим запаздывания фенофаз

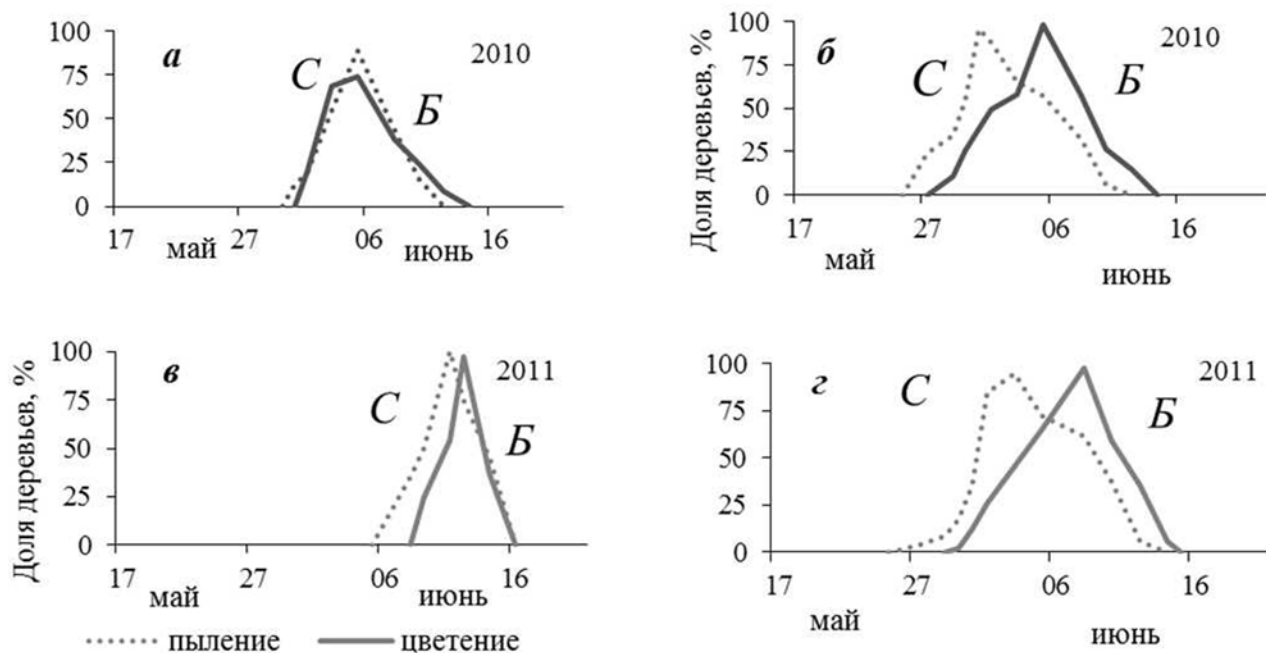


Рис.2. Динамика фенофаз пыления-«цветения» *P. sylvestris* L. на верховых (а, б) и переходных болотах (в, г) в условиях средней тайги Западной Сибири

пыления, можно считать скорость прогревания корнеобитаемого слоя. Так, разница в скорости оттаивания корнеобитаемого слоя почвы в средней тайге варьирует от 1 до 3 дней, а в предлесостепи – 10–12 дней (Петрова, Санников, 1996; Черепанова, 2013). Возможно, незначительные различия в фенофазах пыления-«цветения» также связаны с процессами постоянного отмирания и регенерации корневой системы на верховом и переходном болоте (Пьявченко, 1977).

Таким образом, между ценопопуляциями сосны на суходолах и смежных олиготрофных, мезотрофных болотах в средней тайге Западной Сибири, как и в предлесостепи Западной Сибири наблюдается, в основном эдафотермически обусловленная репродуктивная фенологическая изоляция.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН (проект № 12-П-4-1060).

1. Абатурова М.П., Хромова Л.В. Факторы, обеспечивающие формирование популяций сосны на болоте // Особенности формирования популяций сосны обыкновенной. – М. : Наука, 1984. – С. 56-74.
2. Муратова Е.Н., Седельникова Т.С. Кариологические исследования болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Экология, 1993. – № 6. – С. 41-50.
3. Ларионова А. Я., Экарт А.К. Генетическое разнообразие и дифференциация болотных популяций сосны // Хвойные бореальной зоны. – 2010. – Т. 27. № 1-2. – С. 102-126.
4. Седельникова Т.С. Дифференциация болотных и суходольных популяций видов семейства Pinaceae Lindl. i: дис...докт. биол. наук : Тамара Станиславовна Седельникова Красноярск, 2008. – В 2-х Т.– 579 с.
5. Петрова И.В., Санников С.Н. Изоляция и дифференциация популяций сосны обыкновенной. – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 159 с.
6. Петрова И.В., Черепанова О.Е., Санников С.Н. Репродуктивная фенологическая изоляция смежных поселений *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. на суходолах и болотах // Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – С. 17-23.
7. Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. / С.Н. Санников. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 248 с.
8. Санников С.Н., Петрова И.В. Очерк теории генетической дивергенции суходольных и болотных популяций *Pinus sylvestris* L. // Экология, 2010. – № 5. – С. 352-356.
9. Пьявченко Н.И. Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. – АН СССР, 1977. – 153 с.
10. Черепанова, О.Е., Мишихина Ю.Д. Влияние факторов среды (температуры и влажности воздуха) на качество пыльцы сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) // Аграрный вестник Урала, 2012. – №7 (99). – С. 72-73.
11. Черепанова, О.Е. Эколого-географическая дифференциация генетической и фенотипической структуры суходольных и смежных болотных популяций *Pinus sylvestris* L. в Западной Сибири. дис...канд. биол. наук : Ольга Евгеньевна Черепанова. Екатеринбург, 2013. Т.– 183 с.

ОСТРОВНЫЕ РЯМЫ НА ЮГЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ISLAND BOGS (RJAM) IN SOUTH-TAIGA ZONE OF WEST SIBERIA

Н.Н. Пологова, А.Г. Дюкарев
N.N. Pologova, A.G. Dyukarev

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
E-mail: pologova@imces.ru

Островные рямы, или изолированные болота, в финальной стадии которых развиваются сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы, широко распространены на юге таежной зоны и в лесостепи. В исследованиях больший интерес вызывали островные рямы лесостепи (Кац Н.Я., Кац С.В., 1950; Хотинский, 1970; Наумов и др., 2009), развивающиеся в зоне неустойчивого увлажнения. Палинологические спектры и типы залежей рямов Барабинской лесостепи, где они имеют специфичную характерную структуру: выпуклую форму в центре и окружение займищными сообществами на периферии, использовались для выявления картины взаимоотношения леса и степи в голоцене (Кац Н.Я., Кац С.В., 1950). Сравнивая строение залежей, спорово-пыльцевые спектры рямов Барабы и юга таежной зоны Новосибирской области авторы показали увеличение мощности олиготрофной залежи к северу, наличие осоковых и древесно-осоковых видов торфа в основании залежи северных рямов.

Нами проанализировано строение торфяных залежей островных рямов малых размеров бассейна р. Чая, широко распространенных в приречной части рек Андарма, Парбиг, Тетеренка, Бакчар и Икса. Центральные части междуречий заняты обширными болотными массивами со сложной структурой топяных, грядово-мочажинных, окраинных рямовых болотных микроландшафтов. Развитие болот в приречной дренированной части проходит под влиянием локального поверхностного переувлажнения. По мере торфонакопления в начальных центрах заболачивания и прирастания площади водораздельных болот происходит поглощение островных рямов и присоединение их к основному массиву. По условиям формирования исследованные рямы распределены в три группы: а) островные рямы с четкими внешними границами преимущественно округлой формы ареалов, занимающие вероятно первичные депрессии среди вторичных березняков; б) рямы на границе с болотными водораздельными массивами, сливающиеся с ними, но еще сохраняющие округлую форму первичного понижения («поглощенные»); в) заболоченные леса, с сосной в составе насаждений.

Заболоченные леса имеют особое место в развитии болот. Здесь выделяется два типа

заболачивания - аллохтонный и автохтонный. Формирование согры в аллохтонном заболачивании и распространение из этого центра на прилегающие поверхности с отложением древесного торфа. Автохтонный тип заболачивания широко распространен в приболотном поясе, осуществляется как площадной - путем слияния многочисленных центров с локальным увлажнением по микропонижениям, с постепенным накоплением древесного и древесно-осокового торфа. Мощность торфа в заболоченных лесах с участием сосны варьирует: от 30 до 100 см при широком диапазоне возраста залежи 3-4 тыс. лет.

Типичные островные рямы на юге таежной зоны имеют сходное строение торфяной залежи в генетических центрах. В анализ включены 30 колонок, заложенные в центрах рямов, 20 колонок на их периферии, 15 колонок в заболоченных лесах. Островные рямы площадью 0,8-1,2 га имеют мощность торфа в центрах 60-90 см, площадью от 2,2 до 3,7 га - 120-220 см, но наиболее часто для рямов с плоской или слабовыпуклой поверхностью характерна мощность торфа в 140 см. Торфяная залежь сложная, характеризует последовательность смен растительных сообществ от мезотрофных стадий развития к олиготрофной. Заболачивание в первичных очагах приболотном поясе начиналось в изолированных понижениях, развитие болота определяется скоростью вертикального торфонакопления и формой первичной депрессии. Стратиграфия торфяных залежей, отражающая сукцессии растительности в вертикальном и пространственном направлении островных рямов свидетельствует о наличии генетического центра высокой степени увлажнения.

Формирование начинается в наиболее низкой части депрессии с отложения хвощево-сфагново-осокового, гипново-осокового торфа, обнаруженных в некоторых генетических центрах. Встречаемость хвощево-осокового торфа составляет 0,25 от обследованных рямов. Выше по колонке, или непосредственно на минеральной поверхности залегают слой осокового торфа, имеющий мощность преимущественно до 40 см (встречаемость такой мощности 0,62), а в более обширных понижениях - до 60 см (встречаемость 0,38). Состав осокового торфа залежей в центрах рямов (*Carex*

rostrata, *C. omskiana*, *C. limosa*, реже *C. juncella*) свидетельствует о высоком обводнении и богатых условиях начала заболачивания. Так, *Carex rostrata*, являясь характерным болотным видом низинных и переходных осоково-моховых болот богатого грунтового и смешанного питания (Лапшина, 2003) встречается во всех осоковых слоях торфа, варьируя по составу от 5 до 65%. Осока омская (*C. omskiana*) обнаружена в большинстве колонок в придонных слоях торфа (встречаемость 0,63) по составу варьирует от 5 до 60%. Как лугово-болотный вид, широко распространенный в степных и лесостепных районах, связана на юге лесной зоны исключительно с торфяными болотами и относится здесь к редким видам, находящимся на границе ареала (Лапшина, 2003). Как торфообразователь она характерна лишь для лесостепи (Лисс и др., 2001). В исследованных рямах встречаемость её в составе торфа с содержанием 35-60% составляет 0,27.

На начальных стадиях в центрах понижений складывались наиболее однородные экологические условия для болотной растительности – развивались евтрофные или мезотрофные растительные группировки. Затем на поверхности болота формируются различные сочетания евтрофных и мезотрофных, либо мезотрофных и олиготрофных растительных группировок. Так, выше осокового торфа в залежах рямов залегают различные варианты прослоек торфа: пушицевого, пушицево-сфагнового, древесно-кустарничкового, древесно-осокового (из остатков осоки шаровидной), характеризуя разнообразие развития от низинной обводненной стадии к переходной и олиготрофной в зависимости от эндогенетических сукцессий определяемых местным увлажнением. В пространстве переходная стадия характеризует выполаживание первичного углубления и формирование обводнения краевой полосы, где идет заболачивание с отложением преимущественно древесно-осокового торфа. Рямы небольшой площади периодически выгорали. По мере формирования выпуклой поверхности рямов и соответственно с уменьшением трофности от периферии к центру, снижается высота яруса сосны, на периферии развивается полоса рослямовых сообществ, в сезонно подтопляемом крае на хорошо разложившихся маломощных торфах обособляется полоса сырых хвощево-осоковых, осоково-вейниковых березняков.

Возраст очагов заболачивания водораздельных массивов с мощностью торфяной залежи 3,6–3,8 м (Бакчарское болото) оценивается в 5200–5500 лет (Лапшина и др., 2000). Первичными центрами заболачивания здесь явились многочисленные мелкие депрессии, растительный покров которых был представлен папоротниковыми, осоково-папоротниковыми, осоково-

тростниковыми открытыми и слабо залесенными березой и ивами, реже хвощевыми сообществами. Мощность низинной торфяной залежи водораздельных болот ко времени выхода их на склоны междуречных пространств после слияния очагов заболачивания (Лапшина и др., 2000) значительно выше, чем в исследованных нами островных рямах: в среднем 1–1,2 м, а в генетических центрах первичных депрессий 1,5–1,8 м. Согласно нашим данным заболачивание в западинах приречной территории началось в конце атлантического (возраст придонных слоев 5300–5700 лет) периода. Рямы на современной границе с водораздельным массивом болота имеют меньший возраст при той же мощности и строении залежи, поскольку первичные очаги находились в центральных частях междуречий. Скорость накопления низинного осокового торфа в рямах разных местоположений близка – 0,23–0,28 мм год⁻¹, накопление мезотрофного и олиготрофного сфагнового торфа идет с различной скоростью: в островных рямах 0,27–0,34 мм год⁻¹, в «поглощенных» рямах на окраинах – 0,40–0,94 мм год⁻¹, а в среднерослом ряме – 1,57 мм год⁻¹. Такие различия прироста торфа олиготрофной части залежей связаны с особенностями современного гидрологического режима – атмосферным увлажнением островных рямов и приточным увлажнением в «поглощенных» рямах.

Региональной особенностью условий формирования изолированных болот (островных рямов) является то, что территория сложена глинистыми озерными отложениями, слабо водопроницаемыми с низкой фильтрацией и низкой общей пористостью. Большая мощность глин на этой территории, их выраженная способность к распыванию, обуславливает изолирование от водоносных горизонтов, а предельно малые перепады высот способствуют поверхностному растеканию влаги и преимущественно атмосферному источнику питания болот. Зондировка залежи рямов округлой формы 200 м в диаметре показала, что рельеф дна образован первичным углублением (расположенным в центре, либо смещенным к одному из бортов западины), от которого борта поднимаются достаточно круто, а далее от центра выполаживаются. Оформление бортов западин возможно связано частично с выщелачиванием карбонатов из подстилающих пород, сопровождающимся небольшими просадками. Понижения вложены в карбонатные глины, местами с остатками ракушечника. Минеральные горизонты под залежью глубоко выщелочены от карбонатов, но под мелкозалежными рямами небольшой площади карбонаты обнаруживаются на глубине 150–220 см.

В вопросе о происхождении очагов заболачивания в приречной дренированной территории,

представляет интерес допущение вероятности того, что ландшафты юга лесной зоны (болотно-березовой по Кац Н.Я., Кац С.В., 1950) в середине голоцена характеризовались редкими березовыми колками, значительным распространением солонцов и поlynных степей и пресными более полноводными, чем теперь водоёмами где началось заболачивание (Кац Н.Я., Кац С.В., 1950; Бронзов, 1936). О значительном смещении к северу растительных зон Западной Сибири в период послеледникового теплого времени говорят И. А. Волков и В. С. Волкова (1965), указывающие на распространение почв черноземного типа в районах, входящих сейчас в таежную зону. Однако Н.А. Хотинский (1970) полагает, что степная растительность проникала в северном направлении лишь в позднеледниковом времени (дриас). Мелководные обширные водоемы, контуры границ которых можно установить по распространению водонепроницаемых глин существовали на Васюганье до второй половины атлантического

периода, около 6000 лет назад пересохли и появились заболоченные лесные массивы. Одновременно на открытых участках шло формирование открытых осоковых и гипново-осоковых болот.

Анализ современной структуры почвенного покрова, наличие широкого спектра почв с остаточнo-гумусовыми горизонтами, следы солонцеватости в почвах плоских повышений (Дюкарев, Пологова, 2010) подтверждает возможность развития переувлажненных колочных западин, характерных в настоящее время для северной лесостепи. Увеличение площади изолированных болот от конца атлантического периода до настоящего времени способствовало развитию ландшафтов от нейтрального кальций-гумусового класса (с высоко вскипающими темнoгумусовыми почвами) через кислый глеевый класс к кислomu. Островные рямь на территории и заболоченные леса приболотного пояса являются очагами современной трансформации почвенного покрова по кислотно-щелочным условиям.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (12-04-01154).

1. Бронзов А.Я. Гипновые болота на южной границе Западно-Сибирской равнинной тайги // Почвоведение. - 1936. - № 2. - С. 224-245.
2. Волков И.А., Волкова В.С. Фаза обводнения внеледниковой полосы Западно-Сибирской низменности. В сб.: Основные проблемы изучения четвертичного периода. - М.: Наука, 1965. - С 227-241.
3. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Почвы Васюганской равнины со сложным органопрoфилем // Почвоведение. - 2011. - № 5. - С. 525-538.
4. Кац Н.Я., Кац С.В. Об эволюции ландшафта южной тайги Западной Сибири по данным изучения торфяников. Труды конференции по спорово-пыльцевому анализу 1948 года. - М.: Изд-во МГУ, 1950. - С. 63-84.
5. Лапшина Е.Д. Флора болот юго-востока Западной Сибири. - Томск, 2003. - 296 с.
6. Лапшина Е.Д., Пологова Н.Н., Мульдияров Е.Я. Болота водораздельных равнин юга лесной зоны Западной Сибири // Krylovia. Сибирский ботанический журнал. - 2000. - Т.2. № 1. - С.38-43.
7. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. - Тула: Гриф и К, 2001. - 584 с.
8. Наумов А.В., Косых Н.П., Паршина Е.К., Артымук С.Ю. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // Сибирский экологический журнал. - 2009. - Т. 16. № 2. - С.251-259.
9. Хотинский Н.А. О положении границы между лесом и степью в Западной Сибири в эпохи среднего и позднего голоцена // Лесоведение. - 1970. - № 6. - С. 40-49.

БИОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭВТРОФНЫХ БОЛОТ BIOCHEMICAL ACTIVITY OF EUTROPHIC BOGS

Е.В. Порохина, О.А. Голубина
E.V. Porochina, O.A. Golubina

Томский государственный педагогический университет, Россия
Tomsk State Pedagogical University, Russia
E-mail: porohkatrin@yandex.ru

В настоящее время, в связи с изменением климата, исследователи большое внимание уделяют изучению углеродного баланса торфяно-болотных экосистем. Биохимические процессы, протекающие в торфяных залежах, определяют газовый режим болот и эмиссию парниковых газов. Полифенолоксидаза и пероксидаза принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах трансформации органического вещества торфов (Щербакова, 1983; Гулько, Хазиев, 1992).

Целью работы является изучение биохимической активности эвтрофных болот, различающихся по условиям торфообразования.

Исследования проводились на территории южно-таежной подзоны Западной Сибири (эвтрофное болото Таган (п.1), Томская область) и Республики Алтай (эвтрофное болото Турочакское). Торфяная залежь (ТЗ) болота Таган (п.1) подстилается заиленными песками и сформирована травяным и древесно-травяным торфами. Торфа слабокислые, хорошо разложившиеся (25-55%), зольность варьирует от 6,6 до 17,2 %. На болоте Турочакское залежь сложена преимущественно травяным, древесно-осоковым и древесно-травяным торфами со степенью разложения от 20 до 60%. Торфа высокозольные (20,5 – 49,2 %), слабокислые (рН 4,6–4,7). Более подробная характеристика пунктов наблюдений приведена в работе (Инишева и др., 2010).

На исследуемых пунктах в мае, июле и сентябре 2013 г. проводился отбор проб торфа на анализ по слоям в соответствии с ботаническим составом. Активность полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПДО) определяли по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловской (Карягина, Михайлоуская, 1986) в мг 1,4-бензохинона /г*30 мин (далее – ед.). Лабораторные исследования проводились в Испытательной лаборатории (№ РОСС RU.0001.516054). Параллельно проводили наблюдения за гидротермическим и окислительно-восстановительным режимами ТЗ. Статистическая обработка данных проведена при помощи пакета Microsoft Office Excel.

На территории Томской области, где располагается болото Таган, особенностями вегетационного периода 2013 года были очень влажный прохладный май, когда осадков выпало почти

в два раза больше среднееголетних значений и засушливый теплый июль. В северо-восточной части Республики Алтай вегетационный период 2013 г. можно охарактеризовать как влажный (ГТК-1,6) и теплый. Выделяются избыточно влажный май и теплый, очень сухой июнь (36,3 мм осадков при среднееголетних – 115,0 мм). Погодные условия оказали влияние на динамику УБВ в торфяных залежах. Среди исследуемых пунктов наблюдений наиболее низкие УБВ наблюдаются в залежи болота Турочакское (25-46 см от поверхности), что свидетельствует о ее лучшей аэрации. В торфяной залежи болота Таган УБВ весной и в первой половине лета находились выше поверхности и в конце июля опустились на максимальную глубину (37 см от поверхности).

Исследования показывают, что пределы изменений активности ПФО в ТЗ болот Таган и Турочакское составляют соответственно 0,51-2,19 ед. и 0,16-3,50 ед. (при средних значениях 1,26 и 1,47 ед.) (рисунок).

Данные согласуются с результатами других авторов, полученных для эвтрофных болот (Савичева, Инишева, 2000; Инишева и др., 2003). В залежи болота Турочакское активность ПФО в среднем была выше в 1,2 раза, чем в ТЗ болота Таган. Вглубь по профилю эвтрофных болот активность ПФО изменяется неоднозначно, что, вероятно, связано как со сменой вида торфа, так и с соотношением фракций в составе органического вещества торфа. Самые высокие показатели ПФО в эвтрофных ТЗ болот отмечаются в придонных слоях. Более выраженной сезонной динамикой ПФО характеризуется ТЗ болота Турочакское: в верхней двухметровой части залежи наблюдается летний максимум активности фермента, в то время как в нижней части активность ПФО нарастает от мая к сентябрю.

Среди исследуемых ТЗ большей активностью пероксидазы (ПДО) характеризуется ТЗ болота Таган (21,94 – 37,55 ед., при среднем значении 29,8 ед.). При этом максимальное проявление фермента отмечается в сентябре. В ТЗ болота Турочакское активность ПДО в среднем в 1,5 раза ниже (10,95 – 27,48 ед., при среднем 19,47 ед.). Общей закономерностью для ТЗ исследуемых болот является то, что активность

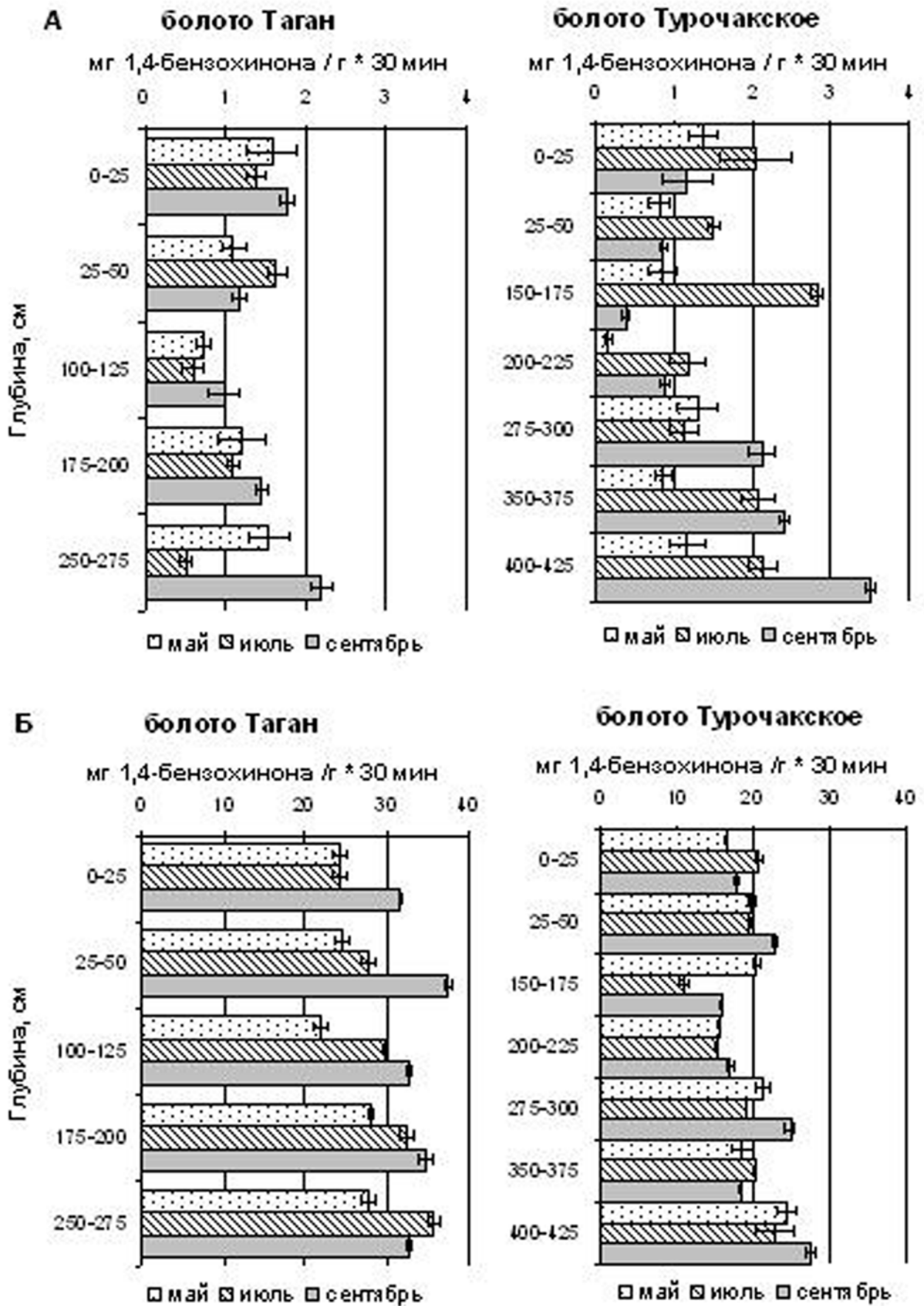


Рис. Динамика полифенолоксидазной (А) и пероксидазной (Б) активности в ТЗ, 2013 г.

ПДО выше в глубоких, анаэробных слоях, где отмечаются устойчивые восстановительные условия и пониженные температуры.

На основании проведенных исследований показано, что пределы активности ПФО в ТЗ болот Таган и Турочакское в погодных условиях 2013 года составляют соответственно 0,51-2,19 ед. и 0,16-3,50 ед. Активность ПДО в ТЗ болот Таган

и Турочакское изменяется в пределах 21,94 – 37,55 ед. и 10,95 – 27,48 ед. соответственно. Более высокой активностью ПДО отличается ТЗ болота Таган, в то время как активность ПФО выше в ТЗ болота Турочакское. Общей закономерностью для ТЗ болот Таган и Турочакское является увеличение с глубиной активности пероксидазы.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 174) и Гранта РФФИ (№ 14-17-00038). Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории агроэкологии за проведение полевых исследований.

1. Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. - 1992. - 11. - С. 55-67.
2. Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., и др. Болотные стационары Томского Государственного педагогического университета. - Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. - 148 с.
3. Инишева Л.И., Ивлева С.Н., Щербакова Т.А. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфяков. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. - 122 с.
4. Савичева О.Г., Инишева Л.И. Биологическая активность торфяных болот // Сибирский экологический журнал. - 2000. - 5. - С. 607-614.
5. Щербакова Т.А. Ферментативная активность и трансформация органического вещества. - Минск: Наука и техника, 1983. - 221 с.
6. Карягіна Л.А., Михайлоуская Н.А. Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Весцы АН БССР. Серыя сельскагаспадарчых навук. - 1986. - 2. - С. 40–41.

АМФИБИОНТНЫЕ НАСЕКОМЫЕ (INSECTA) ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ г. ЯКУТСКА

AMPHIBIOTAN INSECTS (INSECTA) IN WATERLOGGED LANDS OF YAKUTSK CITY

Н.К. Потапова

N.K. Potapova

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia
E-mail: n.k.potapova@ibpc.yasn.ru

Засушливость климата и многолетняя мерзлота неблагоприятно отражаются на развитие болот в Центральной Якутии, в которых процесс торфообразования слабо выражен, площади их также невелики (Работнов, 1939, Караваев, Скрябин, 1971). По одним классификациям район исследований относится к провинции равнинной Якутии (Кац, 1948), по другим – к провинции Южной Якутии (Боч, Мазинг, 1979). По данным Еловской (1961), в г. Якутске в понижениях рельефа представлены лугово-болотные почвы. Также в г. Якутске заболоченные водоемы отличаются небольшой глубиной (0,1–1 м), из-за чего в период засухи некоторые из них пересыхают. Так как эти болота нетипичные, они отнесены нами к категории заболоченных земель. Цель работы – выявить насколько они пригодны для поддержания разнообразия амфибионтов.

Специальных исследований макрозообентоса болотных биотопов г. Якутска не проводилось, имеются лишь отрывочные сведения о сообществах кровососущих комаров в Западной Якутии (Петручук и др., 1972, Пителина, 1973).

Наблюдения проводились в черте г. Якутска на 7 учетных площадках, которые распределялись от поймы до II надпойменной террасы. Заболоченные земли находились на II надпойменной террасе в местностях Сергелях - 1, Сосновый бор - 2, Ботанический сад – 6. Обследованы два типа болот: злаковые (III-4, IV-6, V-4, V-14) и осоковые (V-2, V-3, V-8, V-15). Для большинства из них характерно наличие кочек по периферии или повсеместно, как у кочкарного осокового болота (V-2), где преобладает осока острая (*Carex acuta*). Площадь изученных болот составляла 0,0013–0,03 км², а температура воды в них колебалась от 3 до 19,2°C. Болота подвержены антропогенной нагрузке: замусорены, вода используется для бытовых нужд, в том числе для мытья автомашин и т.д.

Для изучения гидробионтов нами использовались общепринятые методы сбора (Абакумов, 1983, Мончадский, 1952, Николаева, Ольшванг, 1978). В данном сообщении обобщены сведения за 2012–2013 гг., сделано 50 учетов, собрано

свыше тысячи экземпляров насекомых. Материал определен специалистами: по Heteroptera – д.б.н. Винокуровым Н.Н. (ИБПК СО РАН, г. Якутск), Odonata, Trichoptera – д.б.н. Заикой В.В. (ТувИКОПР СО РАН, г. Кызыл), за что автор выражает им искреннюю благодарность.

Амфибиотные насекомые представлены видами из отрядов поденок (Ephemeroptera), стрекоз (Odonata), полужесткокрылых (Heteroptera), жесткокрылых (Coleoptera), ручейников (Trichoptera) и двукрылых (Diptera), которые населяют все типы исследуемых заболоченных земель, но имеют биотопические особенности и различия в соотношениях (таблица).

Ephemeroptera. Выявлено 5 видов из 4 семейств, но только один вид *Caenis horaria* L. отмечен в злаковом болоте V-14, которое граничит с озером Ытык-Кюель, в котором отмечены личинки этого вида. В 2013 г. озеро и болото длительное время были соединены и это, очевидно, способствовало миграции личинок из озера. Здесь они встречались с середины июня по конец июля и их средняя плотность составила 11,2 экз./м². Многолетние наблюдения показывают, что развитие поденок в болотах отмечается крайне редко, что указывает на их незначительную роль в поддержании их разнообразия.

Odonata. Фауна стрекоз г. Якутска насчитывает 19 видов из 5 семейств: из них в озерах встречаются 18, в болотах – 12 видов (Сивцева, 2012). В исследуемых водоемах массовыми видами были: *Lestes sponsa* Hans., *Lestes dryas* Kirby (сем. Lestidae) и *Caenagrion armatum* Charp. (сем. Coenagrionidae). Личинки стрекоз распределены повсеместно, за исключением мелководного злакового болота III-4, которое быстро высыхает и не обеспечивает условия для завершения полного цикла развития стрекоз. В сообществе амфибионтов их доля не так велика: в осоковых – 5,7–30%, в злаковых – 5,4–33,3%. Личинки стрекоз чаще отмечены в более глубоких болотах, их средняя плотность в злаковых составляла – 2,8–14, в осоковых – 2,3–10,5 экз./м².

Heteroptera. В водоемах Якутска известно 11 видов водных клопов из 5 семейств, из них в

Таблица. Соотношение амфибионтных насекомых в болотах г. Якутска (в %)

Таксоны	А. Осоковые заболоченные земли							
	V-2		V-3		V-8		V-15	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	-
Odonata	25	26,6	5,7	7,1	-	6,7	14,3	30
Heteroptera	-	-	25,7	21,4	6,3	60	50	10
Coleoptera	25	6,7	31,4	28,6	50	20	21,4	20
Trichoptera	-	-	-	-	6,3	-	7,1	-
Diptera	50	66,7	37,1	42,9	37,5	13,3	7,1	40
	100	100	100	100	100	100	100	100
Таксоны	Б. Злаковые заболоченные земли							
	III-4		IV-6		V-4		V-14	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Ephemeroptera	-	-	-	-	-	-	-	21,6
Odonata	-	-	19,5	13,0	33,3	13,3	18,2	5,4
Heteroptera	-	-	-	-	-	6,7	9,1	5,4
Coleoptera	-	10,6	4,9	52,2	44,4	20,0	45,5	27
Trichoptera	-	-	17,1	-	11,1	6,7	-	-
Diptera	100	89,4	58,5	34,8	11,1	53,3	27,3	40,5
	100	100	100	100	100	100	100	100

озерах и болотах встречается одинаковое число видов – по 6, в основном широко распространенные виды *Callicorixa gebleri* Fieb., *Callicorixa praeusta* Fieb., *Callicorixa producta* Reut. (сем. Corixidae) и *Gerris odontogaster* Zett. (сем. Gerridae) (Потапова, 2010). Эти виды массово представлены как в озерах, так и заболоченных землях.

В годы наблюдений выявлены предпочтения в заселении личинок и имаго клопов разных типов болот, они чаще встречались в осоковых, чем в злаковых. Так же, как и стрекозы, они не обнаружены в быстро высыхающих мелководных болотах. Их доля в сообществе гидробионтов составляла: в осоковых – 6,3–60%, в злаковых – не более 10%. Средняя плотность полужесткокрылых в злаковых составляла – 1,8–2,8 в осоковых – 2,3–31,5 экз./м².

Coleoptera. Фауна водных и околоводных жуков насчитывает 28 видов из 11 семейств (Аверенский, 1994, 2003). На исследуемых площадках чаще встречались следующие виды: *Bidessus nasutus* Sharp, *Hygrotus quinquelineatus* Zett., *Hygrotus impressopunctatus* Sch. (сем. Dytiscidae) и *Hydrobius fuscipes* L. (сем. Hydrophilidae).

Личинки и имаго жуков встречаются повсеместно в заболоченных землях: их доля в осоковых болотах достигала – 6,7–50, злаковых – 4,9–52,2%. Средняя плотность жуков в злаковых болотах – 3,5–23,3, осоковых – 3,5–25,7 экз./м².

Trichoptera. На исследуемых биотопах выявлено 6 видов из 2 семейств, из них наиболее массовый вид во всех типах болот – *Limnephilus rhombicus* L.

Ручейники избирательны, редко встречаются в заболоченных землях, их доля в амфибионтных сообществах низка: осоковых – до 10, в злаковых – 6,7–17,1%. также низка их средняя плотность: осоковых биотопах – 2,3, в злаковых – 2,3–12,2 экз./м².

Diptera. Фауна амфибиотических двукрылых насекомых г. Якутска представлена 30 видами из 6 семейств: Chaoboridae – 2, Chironomidae, Culicidae – 20, Limoniidae, Tipulidae, Stratiomyidae – 8 (Потапова, 2009, 2011, 2012). Массовыми видами в заболоченных землях были: сем. Chaoboridae – *Chaoborus flavicans* Mg., сем. Culicidae – *Ochlerotatus cyprius* Ludl., *Oc. euedes* H.D.K., *Oc. mercurator* Dyar, сем. Stratiomyidae – *Odonthomyia tigrina* F.

Двукрылые представлены во всех типах водоемов и зачастую они составляют основную долю в сообществе амфибионтов: осоковых – 7,1–66,7, злаковых – 11,1–100%. Их средняя плотность колебалась: в осоковых – 2,3–30,3, в злаковых – 2,3–196 экз./м².

Основу населения двукрылых насекомых в заболоченностях составляют в основном хиромомиды (Chironomidae) и кровососущие комары (Culicidae). Chironomidae распространены повсеместно в заболоченных землях, но везде их плотность была невысокой: в злаковых заболоченностях – 14–105, в осоковых – 7–119 экз./м². Личинки Culicidae также распространены повсеместно, но их показатели плотности значительно выше: в злаковых заболоченностях – 21–217, в осоковых – 7–4305 экз./м².

Таким образом, развитие сообщества амфибионтов зарегистрировано во всех типах заболоченных земель г. Якутска. В течение короткого северного лета они успешно завершают цикл своего развития в большом числе водоемов, но большинство из них избегают населять мелководные водоемы, которые в условиях засушливого лета быстро высыхают.

1. Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод, донных отложений. Л., Гидрометеиздат, 1983. - С. 59–78.
2. Аверенский А.И. Водные и околоводные жуки Якутии, 1994. - Якутск. 57 с.
3. Аверенский А.И. Жесткокрылые (Coleoptera) Якутского Ботанического сада // Энтомологические исследования в Якутии / Сборник научных трудов. - Якутск, 2003. - С. 58–68.
4. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. - Л.: Наука, 1979. - 188 с.
5. Еловская Л.Г. Почвы территории Чучур-Муранской опытно-биологической лаборатории // Тр. ЯФ СО АН СССР. Биология. Якутск. - 1961. - Вып. 5. - С.3-11.
6. Караваев М.Н., Скрябин С.З. Растительный мир Якутии. - Якутск, 1971. - 127 с.
7. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. - М., 1948. - 320 с.
8. Мончадский А.С. Летающие кровососущие двукрылые – гнус. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. - 65 с.
9. Николаева Н.В., Ольшанг В.Н. Простейший биоценометр для учета водных насекомых в мелких водоемах // Экология. - 1978. - № 5. - С. 93-95.
10. Петручук О.Е., Митрофанов А.М., Тимофеева Л.В. Места выплода кровососущих комаров и сроки проведения деларвационных обработок в окрестностях г. Мирного Якутской АССР // Мед. паразит. и паразит. болезни. - 1972. - Т. 41, № 4. - С. 451 – 458.
11. Пителина Л.А. Фауна и биология комаров бассейна нижнего течения Вилюя // Паразитология. - 1973. - Т. 7. Вып. 5. - С.450–456.
12. Потапова Н.К. Кровососущие комары (Diptera, Culicidae) г. Якутска: биотопическое распределение личинок в водоемах Ботанического сада // Женщины в реализации приоритетных направлений национальных проектов. - Якутск, 2009. - С. 319–320.
13. Потапова Н.К. Т. Особенности экологии личинок кровососущих комаров (Diptera, Culicidae) в урбаноценозах Центральной Якутии // Труды Русского энтомологического общества. - С.-Петербург, 2011. - С. 97–105.
14. Потапова Н.К. Двукрылые насекомые (Diptera) заболоченных земель г. Якутска // Биологические проблемы криолитозоны / Материалы Всероссийской конференции «Биологические проблемы криолитозоны», посвященной 60-летию со дня образования ИБПК СО РАН (30 июля–05 августа 2012, г. Якутск). - Якутск: Сфера, 2012. - С. 157-158.
15. Работнов Т.А. О болотах Центральной Якутии // Изв. Государств. геогр. общ. - 1939. - № 4. - С. 547–550.
16. Сивцева Л.В. Распределение личинок стрекоз (Odonata) по водоемам г. Якутска и его окрестностей // Мат. Всерос. конф. «Биологические проблемы криолитозоны», посвящ. 60-летию со дня образования ИБПК СО РАН (30 июля–5 августа 2012, г. Якутск). - Якутск: Сфера, 2012. - С. 177-178.

ЭВОЛЮЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ БОЛОТНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ТОРФООБРАЗОВАНИЯ THE MOLECULAR COMPOSITION EVOLUTION OF BOG PLANTS LIPIDS DURING THE PROCESS OF PEAT FORMATION

О. В. Серебренникова^{1,2}, Е. Б. Стрельникова¹, Ю. И. Прейс³, М. А. Дучко¹*
O. V. Serebrennikova^{1,2}, E. B. Strelnikova¹, Yu. I. Preis³, M. A. Duchko¹*

¹ ФБУН Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

¹ Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

² National Research Tomsk Polytechnic University, Russia

³ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

³ Institute of monitoring of climatic and ecological system SB RAS, Tomsk, Russia

*E-mail: ol.serebrennikova2012@yandex.ru

Болотные, водные и прибрежноводные растения являются одними из основных источников торфообразования. В процессе начальной стадии формирования торфа происходят качественные изменения состава растительной биомассы, что можно проследить по изменению группового состава исходных и преобразованных растений (Савельева, 2003). Состав и свойства торфа определяются химическими особенностями исходного растительного материала, причем растения разных видов существенно отличаются по химическому составу (Лиштван, 1989). К сожалению, детальные данные о составе органических соединений болотных и водных растений юга Западной Сибири в литературе отсутствуют. Данные о составе липидов растений можно использовать для изучения их эволюции в процессе торфообразования после захоронения растительного материала.

В качестве объектов исследования были выбраны основные представители растений-торфообразователей болота Тёмное (Томская область): Шейхцерия болотная (*Scheuchzeria palustris*), Осока шаровидная (*Carex globularis*), Пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum*) и Сфагнум магелланикум (*Sphagnum magellanicum*), образцы сфагнового, сфагново-пушицевого и сфагново-шейхцериевого торфа болота Тёмное, а также водные растения таежного озера Кирек – Хара ломкая (*Chara fragilis* Desv.), Рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.) и Рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.). Непосредственно перед анализом растения и торф были высушены и измельчены. Корни и листья рогоза анализировали отдельно.

Органические компоненты выделяли экстракцией 7% раствора метанола в хлороформе при 60°C. Молекулярный состав органических соединений исследовали методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра DFS фирмы «Thermo Scientific» (Германия).

Концентрации индивидуальных соединений определяли по площадям соответствующих пиков на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта.

В исследованных растениях и торфах были идентифицированы следующие классы углеводородов: алканы нормального строения, полициклоароматические углеводороды (ПАУ), а также сескви- и тритерпеноиды (Серебренникова, 2013). Концентрации этих соединений в болотных и водных растениях представлены в таблице.

Среди углеводородов максимальными концентрациями во всех растениях характеризуются алканы нормального строения. При этом все растения отличаются различным содержанием индивидуальных гомологов: в шейхцерии преобладает гомолог C₂₇, в пушице и рдесте – C₃₁, в сфагнуме – C₂₃, в осоке и корнях рогоза – C₂₉, в харе и листьях рогоза – C₁₇ с дополнительным максимумом на C₂₉.

Исследованные болотные и водные растения характеризуются невысоким близким содержанием ПАУ, представленных би-, три- и тетрациклическими структурами. Среди бициклических аренов были идентифицированы нафталин, его метилзамещенные гомологи и кадален, среди трициклических – фенантрен, его метилзамещенные гомологи и ретен, а среди тетрациклических – флуорантен и пирен. Концентрации ПАУ в растениях болота Тёмное на порядок превышают их содержание в водных растениях озера Кирек. Самыми высокими суммарными концентрациями ПАУ отличаются шейхцерия и осока. Шейхцерия и пушица характеризуются близким содержанием бициклических и трициклических ПАУ, а сфагнум – преобладанием трициклических. Тетрациклические флуорантен и пирен присутствуют во всех образцах в малых количествах.

В растениях болота Тёмное было идентифицировано 19 бициклических терпенов (сесквитерпенов): α- и β-кубебен, иланжен, α-копаен, изоледен, юнипен, γ-, δ- и т-кадинен аромадендрен,

Таблица. Суммарные концентрации различных классов органических соединений в растениях

Концентрации, мкг/г сухой биомассы	Шейхцерия	Осока	Пушица	Сфагнум	Хара	Рдест	Рогоз	
							Корни	Листья
Алканы	38.09	3.04	11.69	6.27	0.39	2.15	0.61	0.07
Арены	0.25	0.25	0.21	0.22	0.02	0.02	0.02	<0.01
Сесквитерпены	0.24	1.95	0.28	0.43	0.04	0.09	0.02	0.01
Кислоты	22.00	11.87	8.04	19.19	2.94	0.63	2.86	0.53
Эфиры	1.21	0.74	0.33	0.71	0.04	0.02	0.04	0.01
Альдегиды	0.65	0.20	1.41	0.60	0	0.11	0	0
Кетоны	5.69	5.18	3.18	4.12	0.04	0.12	0.05	0.01
Спирты	1.19	0.39	0.24	1.35	1.13	0.17	0.26	0.18
Фосфаты	0.09	0.05	0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0
Стероиды	2.98	0.87	0.78	0.91	0.07	0.13	0.08	0.01
Тритерпеноиды	0.04	0.17	0.04	0.01	0	0.01	0	0

гермакрен, эпизонарен, α -аморфен, β -селинен, α -мууролен, α - и β -калакорен, каламенен, дриман, а также некоторые производные октагидро- и гексагидронафталина. Максимальным суммарным содержанием сесквитерпенов характеризуется осока. В шейхцерии среди сесквитерпенов доминирует каламенен, в осоке – δ -кадинен, в пушице – α -калакорен, а в сфагнуме – α -аморфен. δ -кадинен является одним из наиболее распространенных сесквитерпенов в мире растений, его концентрации в сфагнуме, пушице и шейхцерии достаточно высоки. Каламенен, α - и β - калакорены, а также алициклический δ -кадинен являются единственными представителями сесквитерпеноидов в корнях рогоза, в листьях присутствует также 1-изопропил-4,7-диметил-1,2,3,4,6,8 α -гексагидронафталин. Это соединение, а также α -кубебен, гермакрен, α -аморфен и α -мууролен зафиксированы в харе и рдесте. В рдесте, кроме того, идентифицированы β -кубебен, юнипен, 8-изопропил-5-метил-2-метил-1,2,3,4,4 α ,5,6,7-октагидронафталин, β -селинен и γ -кадинен, отсутствующие в остальных водных растениях.

Среди кислородсодержащих соединений (КОС) в растениях были идентифицированы жирные кислоты, сложные эфиры, альдегиды, кетоны, спирты, фосфаты, а также стероиды, при этом концентрации кислот значительно превышают концентрации остальных КОС. Максимальным содержанием карбоновых кислот характеризуются шейхцерия и сфагнум. Среди кислот доминируют гомологи с четным числом атомов углерода состава C_6 - C_{22} , при этом максимум в распределении кислот во всех исследованных растениях приходится на пальмитиновую кислоту (C_{16}).

В болотных растениях были обнаружены альдегиды нормального строения состава C_{20} - C_{29} с преобладанием четных компонентов над

нечетными. Максимум распределения альдегидов приходится на гомологи C_{24} и C_{26} , причем в пушице и сфагнуме они составляют около 70% всех альдегидов. Среди водных растений n -альдегиды состава C_{20} - C_{28} с преобладанием четных компонентов над нечетными были идентифицированы только в рдесте.

Кетоны, обнаруженные в растениях, включают ациклические соединения нормального и изопреноидного строения, а также алициклические структуры с двумя, четырьмя и пятью циклами. Среди кетонов нормального строения были идентифицированы соединения ряда n -алкан-2-она состава C_{15} - C_{33} со значительным преобладанием гомологов с нечетным числом атомов углерода. Для распределения n -алканонов характерно наличие двух максимумов – C_{17} , а также C_{25} для шейхцерии и осоки, C_{27} для сфагнума, хары, рдеста и рогоза, C_{33} для пушицы и рдеста. Концентрации изопреноидных кетонов – 6,10,14-триметилпентадекан-2-она и 6,10-диметил-ундекан-2-она в несколько раз превышают содержание n -алканонов. Среди спиртов, наряду с алифатическими, идентифицированы соединения с ароматическими циклами. Максимальные концентрации спиртов зафиксированы в сфагнуме, в шейхцерии и в харе.

Тетра- и пентациклические КОС включают спирты и кетоны стероидного и тритерпеноидного строения. В растениях болота Тёмное доминируют стероиды, представленные преимущественно эрго- (C_{28}) и стигма- (C_{29}) стенолами и стенонами. В осоке и пушице доминируют стероиды состава C_{29} , в шейхцерии их концентрация лишь незначительно превышает содержание C_{28} , а сфагнум содержит практически одинаковое количество стероидов состава C_{28} и C_{29} . Во всех исследованных болотных растениях преобладает стигмаст-4-ен-3-он. В растениях озера Кирек среди стероидов доминируют соединения с 29

атомами углерода. Максимальная концентрация производных эргостана (C_{28}) и стигмастана зафиксирована в рдесте.

Тритерпеноиды в болотных растениях и в рдесте присутствуют в очень низких концентрациях, максимальное их количество зафиксировано в осоке, а в харе и в рогозе они полностью отсутствуют. В болотных растениях тритерпеноиды представлены соединениями ряда олеана с различным положением двойной связи и метильных заместителей в молекулах, а в рдесте – соединениями ряда олеана с кето-группой.

Содержание в смеси n-алканов гомолога C_{23} может быть использовано в качестве диагностического маркера для сфагнома в торфах болот, где распространено это растение. Молекулярно-массовое распределение n-алканов в исследованных образцах торфа согласуется с их ботаническим составом: в сфагновом торфе преобладает гомолог C_{23} , в сфагнуво-шейхцериевом – C_{27} , а в сфагнуво-пушицевом повышено содержание гомолога C_{31} . Поэтому можно сделать вывод, что торф наследует распределение n-алканов от исходных растений-торфообразователей.

Отсутствующие в растениях, но широко распространенные в торфах тритерпеноиды ряда гопана могут являться продуктами жизнедеятельности ряда видов бактерий. В отличие от исследованных образцов болотных растений, где изопреноидные кетоны преобладают над нормальными, в торфах содержание алканонов нормального строения выше, чем изопреноидных структур.

Сесквитерпены практически во всех образцах торфа представлены преимущественно изомерами кадинена. Это свидетельствует о том, что после захоронения органическое вещество растений претерпевает определенные трансформации – в ходе диагенеза α -аморфен,

α -калакорен и каламенен, которые преобладают соответственно в сфагнуме, пушице и шейхцерии, преобразуются в кадинен в результате реакций гидрирования и диспропорционирования. Бициклические терпеноидные спирты ряда кадинола, а также кубенол и ледол, обнаруженные в растениях-торфообразователях, присутствуют и в торфах. Но во всех торфах доминируют изомеры кадинола, в отличие от растений, где преобладает кубенол. Содержание сесквитерпенолов по сравнению с сесквитерпенами в торфах значительно ниже, чем в болотных растениях, что вероятно объясняется быстрым восстановлением их гидроксильной группы в процессе торфообразования.

Среди стероидов во всех исследованных образцах торфа, как и в болотных растениях, доминируют кетопроизводные стигмастана с одной двойной связью. В процессе торфообразования кето-группа сохраняется, а в сфагновом и сфагнуво-пушицевом торфах у большинства этих соединений появляется дополнительная двойная связь.

Таким образом, исследованные болотные и водные растения характеризуются содержанием соединений нормального, изопреноидного и циклического строения, все они различаются по содержанию различных классов органических соединений и по распределению гомологов внутри каждого класса. Сравнение состава болотных растений и торфов, сформированных преимущественно этими растениями, показало, что некоторые соединения (алканы, карбоновые кислоты, альдегиды) переходят из растений в торф без существенных изменений, а другие (сесквитерпеноиды, стероиды) претерпевают трансформации в процессе диагенеза.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-05-00870.

1. Лиштван И. И., Базин Е. Т., Гамаюнов Н. И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. - М.: Недра, 1989. - 304 с.
2. Савельева А. В., Юдина Н. В. Изменение химического состава болотных растений в процессе торфообразования // Химия растительного сырья. - 2003. - №3. - С.17–20.
3. Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б., Гулая Е. В., Дучко М. А., Прейс Ю. И. Распределение n-алканов, стероидов и тритерпеноидов в торфе и растениях болота Тёмное // Известия Томского Политехнического Университета. Науки о Земле. - 2013 - Т.323. № 1. - С. 40–44.

**СООБЩЕСТВА СОЮЗА CARICION DAVALLIANAЕ НА ВОСТОЧНОМ ПРЕДЕЛЕ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ТАЁЖНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**
**COMMUNITIES OF ALLIANCE CARICION DAVALLIANAЕ ON EAST LIMIT
OF DISTRIBUTION IN THE BOREAL ZONE OF EUROPEAN RUSSIA**

В.А. Смагин
V.A. Smagin

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg, Russia
E-mail: amgalan@list.ru

Со времени выхода публикации о растительности союза *Caricion davallianaе* на Северо-Западе России (Смагин, 2008) удалось обнаружить и описать еще ряд сообществ, заслуживающих быть включенными в состав этого союза. Причем, все они найдены к востоку от ранее известных мест находений сообществ союза и в их составе произрастает все меньше центрально-европейских видов. Прежде всего, удалось обнаружить сообщества с *Schoenus ferrugineus*. Кроме них, на тех же болотах встретились и сообщества образованные несвойственным болотам видом – *Scirpus tabernaemontani*. Сообщества со сценусом были найдены в двух удаленных друг от друга районах. На юго-западе Новгородской области, на болоте с соответствующим названием «Соленое» (Конечная и др., 2012), и в 2012 - 2013 г на нескольких болотах вблизи северного берега оз. Воже по обе стороны от истока р. Свидь, на территории Архангельской области, вблизи с границей Вологодской (Смагин, Денисенков, 2013). На этих же болотах произрастали и сообщества со *Scirpus tabernaemontani*. В 2013 г. повторно были обследованы ключевые болота в Белозерском р-не Вологодской области, где в 1986 г. М. С. Боч был обнаружен *Schoenus ferrugineus*. Почему-то это местонахождение вида было поставлено под сомнение (Красная книга Вологодской области, 2004). Это место произрастания сценуса подтверждено, более того, он обнаружен еще на одном участке в другой части того же болота.

Болото «Соленое» находится южнее г. Холм и, как нередко для болот ключевого питания, располагается на склонах, обращенных к ручью, делящему болотный массив пополам. Болото имеет мощную торфяную залежь, места выхода ключевых вод, имеющиеся в разных частях склона, обозначены ключевыми топями в верхней части и озерками-ваннами на склонах. Сценусовые сообщества располагаются на склонах болота, где занимают обширные участки и на небольших кочках, разбросанных в виде островков посреди ключевой топи. Камышевые сообщества располагаются в приручейной части болота и в ключевых топях в верхней части склона, где камышу

содоминирует средиземноморский вид *Cladium mariscus*.

Евтрофные болота северного побережья оз. Воже, где обследовано 6 массивов, однообразны по пространственной структуре. По краю они опоясаны евтрофными сосново-травяно-сфагновыми и гипновыми сообществами. Центральная часть болот занята кочковато-топяно-озерковым комплексом, участки которого, перемежаются с участками, покрытыми евтрофными сообществами с низким и разреженным древесным ярусом из сосны. Озерки часто соответствуют параметрам озер, но слой воды в них очень мелкий, они заполнены сапропелем, сплошь покрытым харовыми водорослями. На окружающих озера и озерки топях и располагаются сценусовые и камышевые сообщества. Камышевые сообщества широко распространены на всех 6 массивах, сценусовые, как и сам *Schoenus ferrugineus*, только на четырех. Специфической особенностью этих болот является частая встречаемость редкого вида *Ophris insectifera*, и редкого вида для юга Архангельской обл. *Salix myrsinites*.

В Белозерском р-не Вологодской области, *Schoenus ferrugineus* произрастает на ключевом бугре диаметром порядка 100 м, расположенном на краю болота находящегося между Родионовским озером и бывшей деревней Конево. Проективное покрытие сценуса – 25-30 %, причем высота достигает 0.4-0.45 м. Над ним возвышается ярус из *Phragmites australis* покрытием 25-50 %. На другом конце болота, на склоновом участке, *Schoenus ferrugineus* также произрастает под сомкнутым ярусом тростника. К сожалению, его популяция здесь очень слаба, произрастает на небольшой площади и явно вытесняется надвигающимся со всех сторон сфагнумом. Сравнение вновь обнаруженных сообществ с теми, что ранее описывались в западных районах России и странах Балтии приведено в таблице.

По сравнению с описаниями асс. *Primulo-Schoenetum ferruginei* (Koch 1926) Oberdorfer 1957 (Табл. 1; 1) сделанными в Латвии и Эстонии (Табл. 1; 1.1) и на западе России (Табл. 1; 1.2) сообщества описанные в Новгородской области

Таблица. Продолжение.

<i>Sphagnum warnstorffii</i>	r ⁺		I ⁺		III ³	1 ¹	1 ⁺	IV ¹	1 ⁺	IV ¹		III ¹	
<i>Angelica sylvestris</i>				II ⁺	IV ⁺		3 ¹	IV ⁺	3 ¹	I ⁺		I ⁺	
<i>Galium uliginosum</i>	I ⁺	+ ⁺	I ⁺	III ⁺	IV ⁺	2 ⁺	3 ¹	V ⁺	4 ⁺	III ¹		II ⁺	
<i>Pyrola rotundifolia</i>	I ⁺	+ ⁺	III ⁺	+ ⁺	II ⁺		1 ⁺	II ⁺	1 ⁺	II ⁺		II ⁺	
<i>Carex appropinquata</i>	r ⁺	+ ⁺		II ⁺	III ⁺		2 ⁺	II ⁺	1 ⁺	I ⁺		I ⁺	
<i>C. diandra</i>	I ⁺	+ ⁺	II ⁺	+ ⁺	+ ⁺		1 ⁺	II ⁺		IV ¹	1 ²	IV ¹	
<i>Poa pratensis</i>				II ⁺	II ⁺					II ⁺		II ⁺	
<i>Rumex acetosa</i>	r ⁺		I ⁺	+ ⁺	II ⁺	1 ⁺				I ⁺		I ⁺	
<i>Bistorta major</i>					III ⁺		1 ⁺	II ⁺	1 ⁺				
Диагностические виды <i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>													
<i>Menyanthes trifoliata</i>	II ¹	II ¹	II ²	III ²	V ²				3 ¹		2 ²	II ¹	
<i>Comarum palustre</i>	r ⁺	+ ⁺		I ⁺	II ⁺		1 ⁺	IV ¹		IV ¹	1 ⁺	III ¹	
<i>Galium palustre</i>	II ⁺	II ⁺	II ⁺	II ⁺	II ⁺		2 ⁺	I ⁺		II ⁺	1 ⁺	II ⁺	
<i>Calamagrostis neglecta</i>				I ⁺	+ ⁺			II ⁺		II ⁺	1 ⁺	II ⁺	
<i>Carex chordorrhiza</i>					II ¹			+ ⁺		II ¹	1 ¹	II ¹	
<i>C. limosa</i>	+ ⁺		I ⁺	I ⁺				II ⁺	2 ⁺	III ¹		III ⁺	
<i>Drosera anglica</i>	II ⁺	II ⁺	II ⁺					II ⁺	1 ⁺	II ⁺		II ⁺	
Диагностические виды <i>Phragmiti-Magnocaricetea</i>													
<i>Phragmites australis</i>	III ¹	III ¹	III ¹	II ⁺	III ¹	2 ¹	3 ²	V ²	4 ⁴	IV ¹		III ¹	2 ⁺
<i>Cladium mariscus</i>	I ⁺	II ⁺		r ⁺		2 ¹							4 ¹
Диагностические виды <i>Oxycocco-Sphagnetes</i>													
<i>Oxycoccus palustris</i>				+ ⁺	II ⁺	1 ⁺	1 ⁺	V ⁺	1 ¹	V ¹	1 ⁺	V ¹	1 ⁺
<i>Drosera rotundifolia</i>	+ ⁺	+ ⁺	I ⁺	r ⁺	II ⁺		1 ⁺	IV ⁺	1 ⁺	IV ⁺		III ⁺	
<i>Andromeda polifolia</i>								V ¹		IV ¹		III ¹	
<i>Empetrum nigrum</i>								III ⁺					
<i>Betula nana</i>									3 ⁺				
Диагностические виды var <i>Thelypteris palustris</i>													
<i>Thelypteris palustris</i>				r ⁺	+ ⁺	2 ²	3 ⁺	+ ⁺		II ⁺	1 ²	II ¹	
<i>Carex serotina</i>						2 ¹	1 ⁺	II ⁺		III ⁺		II ⁺	3 ¹
<i>Ligularia sibirica</i>	r ⁺	+ ⁺	I ⁺				3 ¹						
Диагностические виды асс. <i>Tomentypno-Schoenetum ferruginei</i>													
<i>Trichophorum alpinum</i>				+ ⁺	II ¹			V ¹	1 ¹	V ¹		V ¹	
<i>Gymnadenia conopsea</i>	+ ⁺	I ⁺		I ⁺	+ ⁺		1 ⁺	V ⁺	3 ⁺	II ⁺		II ⁺	
<i>Salix myrsinites</i>								III ¹		II ⁺		II ⁺	
<i>Ophris insectifera</i>								II ⁺		I ⁺		I ⁺	
<i>Veronica longifolia</i>								II ⁺		II ⁺		II ⁺	

Римскими цифрами в таблице даны классы постоянства видов: r — вид встречен менее чем в 5% описаний; + — 5—10%; I — >10—20%; II — >20—40%; III — >40—60%; IV — >60—80%; V — >80%; Арабскими цифрами справа даны баллы среднего проективного покрытия: + — <1%; 1 — 1—5%; 2 — >5—15%; 3 — >15—25%; 4 — >25—50%; 5 — >50%. При небольшом числе описаний представляющих синтаксон, арабскими цифрами слева указано число описаний, где встречен вид, арабскими цифрами справа, находящимися в верхнем индексе, показаны баллы проективного покрытия.

(Табл. 1; 1.3; 1.4) заметно утрачивают набор диагностических видов союза. Сделанные здесь 5 описаний разделены нами на 2 группы. Первая (Табл. 1; 1.3) включает сообщества кочек разбросанных среди ключевой топи. Небольшое число видов обусловлено, наряду с некоторой изолированностью, малой площадью описания. Вторая группа (Табл. 1; 1.4) включает сообщества склона, для которых характерно постоянное присутствие *Ligularia sibirica*, проективное покрытие которой местами достигает 10%. По видовому составу эти сообщества близки суббасс. *Caricetum raniceo-lepidocarphae* Braun 1968 *caricetosum raniceae* (Табл. 1; 2), что дает основание для принятия двух синтаксономических решений. Либо выделять их в ранге варианта *Scirpus tabernaemontani* ass. *Primulo-Schoenetum ferruginei*, либо варианта *Schoenus ferrugineus* ass. *Caricetum raniceo-lepidocarphae*. Первое нам представляется предпочтительней. Описания же из Архангельской области (Табл. 1; 4.1) следует отнести к ассоциации *Tomentypno-Schoenetum ferruginei* ass. nov. hoc loco. Здесь набор диагностических видов *Caricion davallianae* сводится к 4 видам, кроме сценуса, это *Carex panicea*, *Triglochin palustre*, *Campylium stellatum*, *Limprichtia cossoni*. Тем не менее, ассоциацию относим к этому союзу, т. к. диагностических видов союза *Bistorto-Caricion diandrae* в ней мало, и представлены они в основном мхами. Здесь демонстрируется

яркий пример накладки диагностических признаков двух викарирующих синтаксонов высокого ранга. Ассоциация включает и сообщества из Вологодской области (Табл. 1; 4.2), где уже нет *Carex panicea* и *Triglochin palustre*. По видовому составу, за исключением обильного *Schoenus ferrugineus*, эти сообщества близки к сообществам ассоциации *Cariceto flavae-Eriophoretum latifolii* Smagin 2008, характерной для восточного края союза в таёжной зоне Европейской России (Табл. 1. 3). Если сообщества образованные *Scirpus tabernaemontani* на болоте «Соленом» (Табл. 1; 6) можно рассматривать в ранге субассоциации *scirpetosum tabernaemontani* subass. nov. hoc loco acc. *Cladietum marisci* Allorge 1922, то сообщества с болот побережья оз. Воже (Табл. 1; 5.1) следует выделить в асс. *Tomentypno-Scirpetum tabernaemontani* ass. nov. hoc loco. Это типичные болотные травяно-гипновые сообщества, по видовому составу переходные между союзами *Caricion davallianae* и *Bistorto-Caricion diandrae*, и относимые к первому за счет немногих сохраняющихся его видов. К ассоциации отнесены и сообщества, ранее, в 2008 г, описанные на участке с выходами ключевых вод на болоте Никандровское в Порховском р-не Псковской области (Табл. 1; 5.2). По видовому составу они в большей мере соответствуют союзу *Caricion davallianae*.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-04-00159а)

1. Красная Книга Вологодской области. Т. 2. - Вологда, 2004. - 359 с.
2. Конечная Г. Ю., Ефимов П. Г., Цвелев Н. Н., Смагин В. А., Крупкина Л. И. Новые находки редких видов сосудистых растений на Северо-Западе Европейской России // Бюл. МОИП. Отд. биол. - 2012. - Т. 117, вып.3. - С.64–70.
3. Смагин В. А. Союз *Caricion davallianae* на Северо-Западе Европейской России // Ботанический журнал. - 2008. - Т. 93. № 7. - С.1029–1082.
4. Смагин В. А., Денисенков В. П. Евтрофные болота северного побережья озера Воже // Ботанический журнал. - 2013. - Т. 98. № 7. - С. 867–885.

ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ В ГОРНОМ АЛТАЕ RESEARCH OF PEAT BOGS IN MOUNTAIN ALTAI

О.Н. Смирнов¹, Г.В. Ларина²
O.N. Smirnov¹, G.V. Larina²

¹ ФГБУ ВПО Томский государственный педагогический университет, Россия

¹ Tomsk State Pedagogical University, Russia

E-mail: agroecol@tspu.edu.ru

² ФГБУ ВПО Горно-Алтайский государственный университет, Россия

² Gorno-Altai State University, Russia

E-mail: office@gasu.ru

Образование болот в Горном Алтае объясняется климатическими и геоморфологическими условиями. Наибольшие площади болот сосредоточены в Северо-Восточном Алтае, где выпадает большое количество осадков и значительна мощность снегового покрова при невысоких уклонах стока вод по сравнению с другими районами Горного Алтая. Образование болот в Центральном Алтае объясняется наличием крупных межгорных впадин, занятых в ледниковый период водными бассейнами. Большие слитные болотные массивы имеются в Абайской долине, в бассейне правых притоков р. Чарыш. Анализ форм рельефа и состава рыхлых отложений, заполняющих впадины, показывает их озерно-ледниковое происхождение. После уничтожения основного ледникового покрова резко сократился приход воды, и процесс ликвидации озер ускорился. Очень небольшое количество болот в Северо-Восточном Алтае имеет смешанное атмосферно-грунтовое питание и может быть отнесено к классу переходных болот. Большие болотные массивы имеются в Абайской долине (Абайское болото, Усть-Коксинский район), в бассейне правых притоков р. Чарыш (Канское и Ябоганское болота, Усть-Канский район). Только из-за этих болотных массивов Усть-Канский район имеет наивысший процент заболоченности. Абсолютное большинство болотных массивов Горного Алтая относится к типу низинных болот, характеризующихся грунтовым питанием. Типичные верховые болота для Республики Алтай не характерны. С целью детального обследования болот и определения пунктов мониторинга за функционированием болот были проведены экспедиционные работы, отобраны образцы для определения их возраста, физико-химических и биохимических свойств торфов по стратиграфии торфяных залежей. Исследования охватывали всю территорию Республики Алтай. Так обследованное нами Тюгюрюкское болото, (самое большое болото в Горном Алтае), имеет площадь 87,5 км², в геоморфологическом плане располагается на пологих склонах верховьев реки Тюгюрюк. Возраст залежи 430±55 лет (СО АН 8036). Согласно литературным данным, обязано своим существованием не только Теректинскому хребту, перехватывающему и осаждающему осадки, но и

температурным инверсиям. Над днищем обширной горной котловины скапливается холодный воздух, определяющий низкую испаряемость и промерзание торфяной толщи, мерзлые слои которой не пропускают влагу. Крупным болотным массивом межгорных впадин является Абайское болото, расположенное в нижнем течении р. Кокса, в пойме рек Абай и Урмалык. В 1962 г. здесь были проведены мелиоративные работы по осушению 260 га заболоченных земель. Молодые современные отложения Абайской котловины представлены торфами, которые залегают в центре и юго-восточной части болотного массива на аллювиальных отложениях. Мощность торфяного горизонта колеблется от 0,8 до 1,5 м. Аналогичные по происхождению, но меньшие по размеру болота имеются в бассейне р. Соузар (приток р. Коксы), возраст залежи 530±45 (СОАН - 8034). Были обследованы также болота в Чойском Ынырга, возраст 2215±140 лет, (СОАН - 8037), Майминском Карагушское болото, возраст 4720±180 лет, (СОАН - 8033), Кош-Агачском болото САС, возраст 1100±65 лет и Улаганском районе болото, долина р. Онулу, возраст 905±45 лет, (СО АН 8039). Торфа болот Республики Алтай отличаются от торфов равнинных болот повышенной зольностью, темным почти черным цветом, повышенной степенью разложения. Темный цвет предположительно объясняется повышенным содержанием гуминовых веществ, что в свою очередь вызвано большим разнообразием растений торфообразователей (Инишева, 2008, Ларина, 2012). Горноалтайские торфа относятся к малобитуминозным. Для торфов характерно увеличение содержания битумов от низинного торфа к верховому (от 1,1–2,5% до 3,3–6,1%). Анализы проводились в аккредитованной лаборатории Томского Государственного педагогического университета (№ РОСС RU.0001.516054). На основании полученных предварительных сведений о торфяных болотах, особое внимание было уделено болотам северо-востока Республики Алтай, Чойское и Баланах на которых проведены более глубокие полевые исследования. Так было проведено зондирование торфяных массивов с целью определения границ болот, мощности торфяной залежи. Также подробно был исследован растительный покров, геоморфологические

особенности расположения болот. Чойское болото расположено в Турочакском районе в 16,5 км от р. ц. Турочак. По данным нашего обследования 2011 г., площадь месторождения составляет 460 га с запасами торфа (по предварительным подсчетам) 3006 тыс. т. Проведенное зондирование торфяной залежи позволило выявить три основных очага заболачивания. Один из них болото Чойское, располагается на правом берегу реки Бирюля. Микрорельеф на болоте неровный: из за осоковых кочек высотой до 80 см. Растительный покров представлен эвтрофными видами растений: ива пятичичиновкая, береза кустарниковая, осока вздутая, осока мешочковидная, осока длинноносиковая, вейник тупоколосковый, вейник тупочешуйный, лабазник вязолистный, таволга вязолистная, герань луговая, дудник лесной, подмаренник болотный. Редко встречаются: горошек мышиный, вика мышиная, незабудка болотная, дубравная, скорпионовидная, ежевика сизая. По окраинам болота отмечаются, валериана лекарственная, сомнительная. По результатам зондирования определена максимальная мощность торфяной залежи низинного типа 5,0 м при средней 2,0 м. В границе промышленной глубины залежи участок имеет площадь 81,0 га запасы торфа 437 тыс. т. Два других болота Открытое и Безымянное находятся в долине реки Чойка на левом и правом ее берегах соответственно, ниже устья реки Бирюля и имеют похожую растительность. Древесный ярус характеризуется наличием угнетенных форм сосны (высота 5–7 м, диаметр стволов 8–12 см), кедра (высота 10–12 м, диаметр стволов 10–14 см), березы (высота 2–3 м диаметр стволов 4–8 см). В травяном покрове преобладает шейхцерия, вахта, осока пузырчатая. В кустарничковом ярусе доминирует клюква. Сплошной моховой покров состоит из сфагновых мхов, зеленые мхи встречаются только у приствольных повышений. Болото Открытое (местное название) относится к переходному типу. При визуальном осмотре торф светло бурого цвета степень разложения невысокая, зольность высокая, присутствует заиленность, которая усиливается с увеличением глубины. Максимальная мощность торфяной залежи 7,0 м, площадь участка в промышленной границе

составляет 211,4 га, запасы торфа составляют 1795 тыс. т. Болото Безымянное располагается на правом берегу реки Чойка. Месторождение занимает площадь в границе промышленной глубины 168,4 га, максимальная мощность торфяной залежи 3,7 м, запасы составляют 744 тыс. т. В августе 2012 года было проведено обследование болота Баланак. По результатам обследования торфяное месторождение Баланак представлено одним цельным участком, имеет вытянутую форму с запада на восток, ширина болота 400–500 м, протяженность месторождения около 4 км. Растительный покров в центральной части болота формирует редкий древостой, из молодых угнетенных берез, растущих группами по 3–5 деревьев на приствольных повышениях, в травяном ярусе доминирует рогоз широколистный, поверхность болота неровная из за осоковых кочек высотой 30–40 см. В восточной и западной частях болота растительность имеет другой характер. Древостой более мощный с сомкнутыми кронами из березы диаметром 12–14 см. и высотой 8–12 м. в густом подлеске преобладает бузина, ива, которая создает сплошные заросли вдоль русла реки Сухая. Разнотравье с осоковыми кочками занимает нижний ярус, встречаются сфагновые мхи. Проведено зондирование торфяной залежи. Мощность торфяной залежи в средней части болота достигает 6,0 м. Площадь залежи торфа в промышленной границе около 122,5 га. Максимальная мощность торфяной залежи 6,5 м, минимальная 1,5 м предварительно рассчитанные запасы торфа составляют 808,5 тыс. т. Проведенные исследования болот и заболоченностей на территории Республики Алтай показывает что процесс заболачивания активно проявляется и в горных условиях. Обследование болот республики Алтай позволяет уточнить площадь болот в нулевой и промышленной границе, мощность торфяной залежи, а также прогнозные запасы торфа. Предварительное обследование болот Чойское и Баланак, показывают что их площадь 460 га и 122,5 га с запасами торфа 3006 тыс. т. и 808,5 тыс. т. соответственно. Таким образом проведение подобных исследований в будущем позволит разработать карту торфяных ресурсов Республики Алтай.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки №174

1. Инишева Л.И., Шурова М.В., Ларина Г.В., Хмелева И.Р., Инишев Н.Г. Торфяные болота северо-восточной части территории Горного Алтая // Известия Бийского отделения Русского географического общества. - Бийск: АГАО им. В.М. Шукшина, 2011. - Вып.32. - 188 с
2. Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., Ларина Г.В., Порохина Е.В., Шинкеева Н.А., Шурова М.В. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета. - Томск. Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
3. Инишева Л.И., Шурова М.В., Ларина Г.В. Перспектива развития мелиорации торфяных болот в Горном Алтае // Мелиорация и водное хозяйство. - 2008. - №1.
4. Ларина Г.В., Шурова М.В., Кузнецова О.В., Ченчубаев А.Н., Турсунбеков Ж.Е. Содержание и распределение ряда микроэлементов в торфах и гуминовых кислотах Горного Алтая // Болота и биосфера: материалы восьмой всероссийской с международным участием научной школы (10–15 сентября 2012 г., Томск). - Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2012. - С.90-97.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТНОГО КОМПЛЕКСА (СРЕДНЯЯ ТАЙГА ИРТЫШСКОГО ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ) FEATURES OF SOIL ELEMENT COMPOSITION IN OLIGOTROPHIC MIRE COMPLEX (MIDDLE TAIGA IRTYSH LEFT BANK)

В.А. Степанова

V. Stepanova

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
E-mail: verastep1985@rambler.ru

Актуальность данного исследования продиктована важной ролью стабильности биогеохимических циклов в функционировании болотных экосистем. Болотные экосистемы являются очень уязвимыми, а все усиливающаяся антропогенная нагрузка на них делает изучение естественных (фоновых) объектов все более необходимым.

В качестве объекта исследования нами был выбран олиготрофный болотный комплекс «Мухрино», находящийся в долине нижнего Иртыша в средней тайге Западной Сибири. Нами был изучен элементный химический состав, особенности накопления и распределения элементов в торфяном профиле болотных почв, сформированных в различных экосистемах, а также выявлены изменения и закономерности в содержании элементов в пределах ландшафтно-геохимического профиля (рослый рям – низкий рям – гряда – мочажина – олиготрофная топь).

В исследуемых экосистемах послойно отбирались образцы (каждые 10 см) на всю мощность торфяной залежи. Всего проанализировано около 160 образцов. В отобранных образцах определялись: ботанический состав, степень разложения, зольность, pH торфа и объемный вес (ГОСТ, 1983, 1989, Классификация..., 2000). Содержание в образцах C, H, N и S определяли на автоматическом элементном CHNS-анализаторе PE 2400-II. Содержание K, Na, Ca, Mg, P, Fe, Al, Ti, Zr, Ga, Cr, V, Ni, Co, Ba, Zn, Cu, Mn, Pb, As, Cd, Rb, Sr, Mo после предварительного кислотного разложения определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) на Agilent 7500 ce (США).

По ландшафтно-геохимическому профилю средние величины pH изменяются от 3,0 в низком ряме до 3,8 в мочажине. В пределах вертикального профиля изменение pH незначительно и соответствует олиготрофной стадии развития. Зольность в торфяной залежи экосистем изменяется в пределах 1-2%, за исключением рослого ряма, и в целом соответствует содержанию золы в верховых

торфах (Тюремнов, 1976). Рослый рям, вследствие его периферического положения в болотном массиве испытывает влияние сопряженных с ним территорий, что находит свое отражение в свойствах залежи.

Экосистемы низкого ряма и гряды формируют сфагновую залежь. Мочажина образует шейхцериево-сфагновую и олиготрофная топь – мочажинную залежь. Отмечено, что в экосистемах низкого ряма, гряды, мочажины и топи на протяжении почти всей истории формирования не менялись условия торфонакопления, о чем свидетельствует ботанический состав торфа. В болотном ландшафте низкий рям и гряда занимали повышенные элементы мезорельефа, мочажина и топь – подчиненное положение. В основании залежи исследуемых экосистем располагается 10-20 см слой переходного торфа. Исключение составляет рослый рям, почти весь профиль которого сформирован переходным торфом.

Объемный вес торфа изменяется от 0,02 до 0,46 г/см³. Минимальные величины для экосистем составляют 0,02 г/см³ (в рослом ряме и олиготрофной топи) и 0,03 г/см³ (в низком ряме, гряде и мочажине). Максимальные величины 0,20 г/см³ (в рослом ряме и мочажине), 0,28 г/см³ (гряда и олиготрофная топь) и 0,46 г/см³ (в низком ряме).

Среднее содержание C изменяется от 52% в низком ряме до 55% в рослом ряме и олиготрофной топи. Среднее содержание H в экосистемах изменяется в пределах 6,6-6,7%. Отмечено, что в распределении C и H, их содержание практически не меняется в торфяной залежи болотных экосистем, но наблюдается некоторая тенденция к увеличению с глубиной (и возрастом) для C, и незначительного уменьшения для H. Среднее содержание N в торфяных залежах болотных экосистем составляет: рослый рям – 1,1, низкий рям – 0,6, гряда – 0,8, мочажина – 1,9, олиготрофная топь – 1,3%. Нами отмечается более равномерное распределение N в сфагновых залежах (низкий рям и гряда), занимающие элювиальную позицию. Напротив,

широким разбросом значений содержания N характеризуются залежи, образованные мочажинными торфами, экосистемы которых занимают подчиненное положение в ландшафте (мочажина и олиготрофная топь). Изучаемые почвы характеризуются довольно однородным распределением S, как в пределах вертикального профиля, так и между торфяными почвами отдельных болотных экосистем. Массовая доля S резко возрастает в нижнем горизонте торфа при контакте с минеральным дном.

Результаты исследований содержания и распределения K, Na, P, Mg, Ca и Fe позволили выделить ряд особенностей, как в пределах торфяной почвы, так и в пределах ландшафтно-геохимического профиля. Согласно статистической обработке данных, наиболее стабильным содержанием характеризуются Mg, P и Ca. Натрий, напротив, сильно варьирует в пределах торфяной залежи. K и Fe занимают среднее положение, но ближе к Mg, P и Ca.

Обнаружена тесная связь в распределении содержания K, Na и P в торфяных почвах автономных ландшафтов (низкого рьяма и гряды) и K и Na в подчиненных ландшафтах (мочажине и топи). Для верхней части профиля торфяной залежи характерно наличие экстремумов в увеличении количества указанных элементов, что может быть приурочено к сменам климатических условий в сторону потепления (Сысо, Перегон, 2009). В исследуемых торфяных почвах нами выявлена общая тенденция к уменьшению содержания натрия и калия вниз по вертикальному профилю, связанная со снижением их мобильности вследствие легкого выщелачивания (вымывания из биологической торфяной матрицы) (Gorham, Janssens, 2005). В подчиненных элементах болотного ландшафта – мочажине и топи – отсутствует сильная корреляционная связь P с Na и K, что, возможно, связано с его миграцией и накоплением в торфяных залежах подчиненных элементарных ландшафтов, а, отчасти, и с биогеохимическими особенностями мочажинных торфов.

В мощных торфяных залежах, образованных верховым торфом, отмечена тесная связь между распределением Mg, Ca и Fe. Прямая корреляция в накоплении этих элементов свидетельствует о стабильном режиме питания торфяной залежи и согласованном их поступлении (Gorham, Janssens, 2005; Shotyk et al, 1990; Weiss et al, 2002). В сфагновых залежах наблюдается увеличение содержания Mg, Ca и Fe сверху вниз по профилю. В залежах, сложенных мочажинными торфами, эти химические элементы распределены более равномерно с небольшим повышением их содержания в нижней части торфяного профиля. Нами было отмечено, что почвы экосистемы

рослого рьяма характеризуются более высоким накоплением Na, Mg, P и Fe, почвы мочажины – K и Na, почвы гряды – Ca. Почвы низкого рьяма и олиготрофной топи характеризуются более низким накоплением K, Na, Mg и Fe.

Исследование содержания макроэлементов показало, что на накопление и распределение их влияет не только химический состав растений, вошедших в торфяную залежь, но и миграционные процессы. Радиальная миграция кальция, железа и магния происходит в результате циркуляции болотных вод в торфяной залежи. Латеральная миграция фосфора и железа по профилю в подчиненные элементы болотного мезорельефа осуществляется с боковым внутритпочвенным стоком.

Концентрации Al, Ti и Zr, а также Ga, Cr и V по торфяному профилю исследуемых экосистем хорошо коррелирует с содержанием золы в нем (коэффициент парной корреляции достигает 0,98). Распределение содержания элементов Ni, Co, Ba в болотных экосистемах является очень стабильным на протяжении всего торфяного профиля. Сверху вниз происходит небольшое равномерное увеличение концентрации этих элементов. В нижних торфяных слоях происходит резкое увеличение их концентраций, а также зольности, за счет их обогащения минеральным веществом. Равномерное распределение Ni, Co, Ba, как и Fe, говорит о стабильности торфонакопления в период формирования торфяной залежи (Архипов и др., 1997, 2000; Ефремова и др, 2003). Однако, несмотря на относительно равномерное распределение содержания исследуемых элементов в торфяном профиле, коэффициенты их вариации оказались высокими для ряда экосистем. Для Ni - в экосистемах мочажина, низкий рям и гряда, для Co - в грядово-мочажинном комплексе и топи, для Ba - на гряде. В пределах экосистем болотного массива Мухрино, среднее содержание этих элементов изменяется незначительно.

Биогенные элементы Zn, Mn, Cu накапливаются растениями и откладываются в торфе. В пределах болотного комплекса Мухрино минимальные средние концентрации Zn и Cu отмечаны нами в торфяном профиле топи, максимальные - в мочажине.

Распределение концентраций Zn в торфяном профиле сильнее варьирует в олиготрофной топи, Mn - в грядово-мочажинном комплексе. Содержание Cu по торфяному профилю сильнее изменяется в низком рьяме и гряде. Более неоднородное распределение содержания в пределах торфяного профиля исследуемых болотных экосистем отмечено нами для Zn. Зачастую в растительности и верхних слоях торфа наблюдается повышенное содержание Zn

и Mn, а иногда и Cu, что связано с биологическим накоплением этих элементов болотной растительностью. В нижних слоях торфа (10-20 см) содержание этих элементов резко возрастает, за счет увеличения минеральной составляющей в нем.

Среднее содержание элемента-загрязнителя Pb имеет сильный разброс значений в пределах экосистем одного болотного комплекса. Низкими средними концентрациями Pb характеризуются отдельные экосистемы болотного комплекса Мухрино, такие как низкий рям, гряда и топь, повышенными значениями - рослый рям и мочажина.

В распределении концентраций в пределах торфяного профиля болотных экосистем нами было отмечено, что резкие скачки увеличения концентрации Pb и As приурочены к болотной растительности или верхнему (до 50 см) слою торфа. Тогда как в торфяных слоях, залегающих ниже, содержание этих элементов значительно меньше и в пределах профиля слабо меняется. В нижнем слое торфа концентрации этих элементов возрастают.

В распределении содержания Cd по торфяному профилю выделяются один или несколько «пиков» увеличения его концентрации, не имеющих связи с содержанием Pb, As, других исследуемых элементов, а также зольности. Сильное варьирование концентраций Pb, Cd и As по торфяному профилю было отмечено для ряда экосистем. Сильно варьирует содержание Pb в экосистеме грядово-мочажинного комплекса.

Гряда и низкий рям характеризуются высокими коэффициентами вариации Cd. Высокие коэффициенты вариации As по торфяному профилю были отмечены в топи.

Средние концентрации Rb, Sr и Mo в пределах экосистем одного болотного массива меняются незначительно. Максимум концентрации Rb, как и K характерен для болотной растительности. Повышенное содержание отмечено нами в верхней части торфяного профиля. Содержание Sr постепенно с некоторыми колебаниями возрастает сверху вниз по торфяному профилю. В содержании Mo по профилю нами выявлено постепенное увеличение его концентрации сверху вниз и резким увеличением в нижней части профиля. Содержание Rb, Sr и Mo резко возрастает в нижнем слое торфа, контактирующего с минеральным горизонтом (10-20 см).

Среднее содержание Rb сильнее варьирует по профилю в экосистеме гряды, Mo – в низком ряме и грядово-мочажинном комплексе. Ряд исследуемых элементов в экосистемах накапливаются в болотной растительности по сравнению с торфом, особенно K, Rb, Mg, Zn, Mn, Pb.

По содержанию и распределению элементов в торфяном профиле исключением является экосистема рослого ряма, в котором не обнаружена связь содержания ряда элементов с содержанием зольности в нем и с другими экосистемами вследствие его вторичной минерализации из-за окраинного положения в болотном массиве.

1. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения зольности. Введ. 01. 01. 85. взамен ГОСТ 7302-73. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
2. ГОСТ 28245.2-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
3. Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири / Р.Г. Матухин, В.Г. Матухина, И.П. Васильев и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГМ, 2000. - 90 с.
4. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения / Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 488 с.
5. Сысо А.И., Перегон А.М. Специфика болотообразования в южной части Большого Васюганского болота // Сибирский Экологический Журнал. – 2009. - №2.
6. Gorham E, Janssens J.A. The distribution and accumulation of chemical elements in five peat cores from the mid-continent to the eastern coast of North America // *Wetlands*. – 2005. - № 2. – P. 259-278.
7. Shotyk W., Nesbitt H. W., Fyfe W.S. The behaviour of major and trace elements in complete vertical peat profiles from three Sphagnum bogs // *International journal of Coal Geology*. – 1990. – № 15. – P. 163–190.
8. Weiss D., Shotyk W., Rieley J., Page S., Gloor M., Reese St. and Martinez-Cortizas A. The geochemistry of major and selected trace elements in a forested peat bog, Kalimantan, SE Asia, and its implications for past atmospheric dust deposition // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. - 2002. – Vol. 66. - № 13. – P. 2307-2323.
9. Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Железо в торфах центральной части Западной Сибири // *Почвоведение*. – 1997. – №3. – С. 345–351.
10. Архипов В.С., Бернатонис В.К., Резчиков В.И. Распределение Fe, Co и Cr в торфяных залежах центральной части Западной Сибири // *Почвоведение*. – 2000. – №12. – С. 1439–1447.
11. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Куценогий К.П., Онучин А.А., Переседов В.Ф. Биогеохимия Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ti, V, Mo, Ta, W, U в низинном торфе на междуречье Оби и Томи. // *Почвоведение*. – 2003. – №5. – С. 557–567.

БИОГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ BIOGEOCHEMISTRY AND ECOLOGY OF PEAT BOGS OF WEST SIBERIA

А.И. Сысо
A.I. Syso

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
E-mail: syso@mail.ru

В Западной Сибири масштабно торфонакопление идет в болотах лесостепной – тундровой зон Западносибирской равнины, с максимумом в таежной зоне, а локально в депрессиях горно-лесостепного – альпийского климатических поясов горных систем. Широкий диапазон природных условий формирования торфяных болот региона предопределил их большее разнообразие по генезису и возрасту, гидротермическому режиму, ботаническому составу растений-торфообразователей, показателям продукционного и деструкционного процессов, типам водного и минерального питания, составу и свойствам грунтов водосборов и ложа болот, биогеохимии торфа и круговороту макро- и микроэлементов и другим характеристикам.

Несмотря на многочисленность факторов обуславливающих биоразнообразие торфяных болот, на Западносибирской равнине выявлено закономерное широтное изменение с севера на юг ботанического состава растений-торфообразователей и типов болот (Романова и др., 1977), увеличение от северной тайги к подтайге величин первичной продукции (NPP) (Peregon etc, 2008), скорости накопления торфа (Лапшина, 2011). Это объясняет распространение в южной тайге и подтайге наиболее мощных торфяных отложений.

Почвенно-биогеохимические исследования на Западносибирской равнине показали, что здесь широтное изменение растительного покрова, в том числе болот, их ботанического состава, величин NPP, является следствием смены не только гидротермического режима почв, но биогеохимических условий почвообразования, трофности экосистем. Она же обусловлена изменением с севера на юг региона состава и свойств минеральных покровных отложений, повышением концентрации в почвах, грунтовых и поверхностных водах элементов минерального питания растений, вовлекаемых в биогеохимический круговорот (Сысо, 2007).

В силу этих причин с севера на юг региона в торфе и растениях однопольных болот наблюдается закономерное повышение зольности и концентрации макро- и микроэлементов, как связанных как легкодоступными водорастворимыми соединениями в почвенном растворе, так и с прочными химическими соединениями в пылеватых частицах (Сысо и др., 2001, Московченко, 2006).

Обобщение данных изучения биологического разнообразия и продуктивности низинных, переходных и верховых болот Украины, Белоруссии и Западной Сибири (Бахнов, 1986), экосистем средней тайги северо-запада России (Разнобразие... 2006) показало яркую связь этих характеристик фитоценозов с содержанием и соотношениями основных элементов питания растений в корнеобитаемом слое почв экосистем.

В общем виде связь биоразнообразия и продуктивности растений с агрохимическими свойствами почв показывают графики зависимости от количества подвижных фосфора и калия в корнеобитаемом слое почв числа произрастающих на них видов растений и их продуктивности, накопления элементов в листьях растений, представленные на рисунке.

В целом при очень низком содержании элементов-биофилов в олиготрофных торфяных почвах разнообразие и продуктивность растений минимальны, как и при крайне высоком – фитотоксичном содержании элементов в почвах, например при их загрязнении водорастворимыми солями пластовых вод. При эвтрофном – оптимальном для большинства растений уровне содержания элементов питания в почвах и благоприятном их гидротермическом режиме биоразнообразие и продуктивность растительности наибольшее.

Антропогенное воздействие на природную среду сопровождается увеличением поступления в нее разных загрязняющих веществ, негативно влияющих на все компоненты наземных экосистем. Особенно негативно промышленная деятельность сказывается на неустойчивых к техногенному воздействию болотных экосистемах с торфяными почвами, требующими особого подхода к их экологической оценке и нормированию загрязнения, поскольку действующие нормативы для них не годятся.

В практике оценки и нормирования загрязнения почв используются весовые концентрации общего количества и подвижной формы элементов, выражаемые в мг/кг почвы. При этом не учитывается то, что плотность сложения (d_v) почв и почвенных горизонтов варьирует в широком диапазоне от 0,05 до 1,8 г/см³ (кг/дм³, т/ м³). Она минимальна в верховых торфяных болотных почвах, а максимальна в песчаный и переуплотненных глинистых почвах.

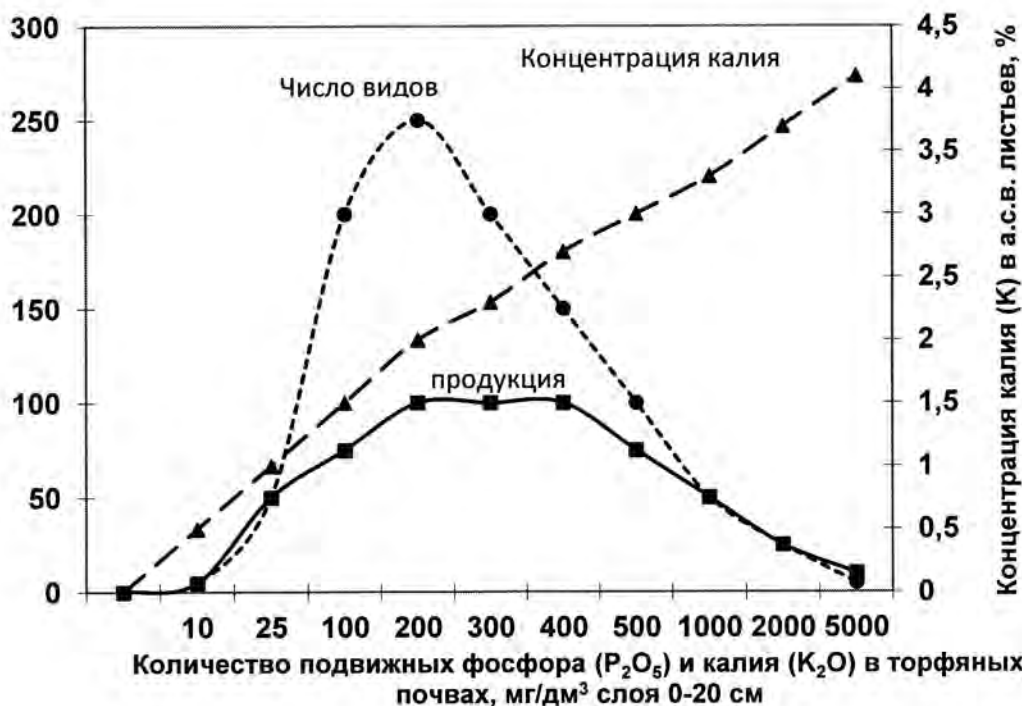


Рис. Изменение числа видов растений болотных и лесных фитоценозов и их продуктивности (в % от максимальной), концентрации калия в абсолютно-сухом веществе (а.с.в.) листьев растений в зависимости от количества фосфора и калия (в мг/дм³), подвижных в вытяжке 0,2 н. соляной кислоты по методу Кирсанова

Обычно используемые весовые концентрации элементов в почвах позволяют с точностью $\pm 20-30\%$ оценить загрязнение большинства минеральных почв с $d_v = 1,0 \pm 0,2$ г/см³. Однако при плотностях почв более 1,3 и менее 0,7 г/см³ весовые концентрации элементов не дают возможности объективно оценить и сравнить между собой и относительно какого-либо стандарта количество химических элементов, в том числе поллютантов, в разных по плотности сложения почвах и их горизонтах. Для решения этой задачи нужны объемные концентрации или запасы элементов в почвах и их горизонтах, выражаемые в мг/дм³ или в кг/га оцениваемого слоя почвы. Такой подход в России давно используют агрохимики при оценке запасов и баланса элементов минерального питания в почвах сельхозугодий, а в Финляндии и для адекватной оценки интенсивности накопления и запасов поллютантов в почвенном покрове, включающем минеральные и органогенные почвы. Использование объемных концентраций элементов при экологических исследованиях торфяных почв позволит точнее оценивать и нормировать их загрязнение, моделировать процессы массопереноса поллютантов в торфяной и торфяно-минеральной толще.

Приведенное (табл.) сравнение весовых (C_v) и объемных (C_n) концентраций тяжелых металлов в низинных торфяно-болотных почвах юга Западной Сибири, в среднем имеющих плотность сложения (объемную массу) равную

0,2 г/см³ показало, что значения валового содержания тяжелых металлов в торфе в мг/кг, близки их естественному количеству в песчаных разновидностях подзолистых почв. В торфяных же почвах реальное количество элементов - их объемная концентрация рассчитанная по формуле $C_n \times d_v = C_v$, в 5-8 раз меньше, чем в подзолистых почвах с плотностью 1,6 г/см³. По этой причине значения ОДК и ПДК, разработанные для санитарно-гигиенической оценки загрязнения минеральных почв не пригодны для торфяных почв.

Пересчет стандартных весовых значений ПДК подвижной формы (ПДКпф) тяжелых металлов в объемные величины показал, что расчетные значения ПДКпф в торфе при $d_v = 0,2$ г/см³ количественно будут в 5 раз меньше, чем в минеральной почве, имеющей $d_v = 1,0$ г/см³ (табл.). Полученные расчетные объемные значения ПДКпф в торфе подвижной формы меди и цинка по агрохимическим критериям соответствуют высокому уровню их содержания как микроэлементов и никакой экологической угрозы они не представляют.

Расчет объемных концентраций химических элементов уже давно используется при экологической оценке загрязнения искусственными радионуклидами почв с разной плотностью сложения. Они позволяют сравнить между собой и адекватно оценить количество исследуемых элементов в почвах с разной плотностью сложения.

Таблица. Значения весовых и объемных концентраций тяжелых металлов в почвах

Элемент	Весовая концентрация в мг/кг				Объемная концентрация в мг/дм ³		
	Валовое содержание в торфе	ОДК вал*	ПДК пф**	Расчетное значение ПДКпф в торфе	Валовое содержание в торфе	Расчетное значение ОДКвал в торфе	Расчетное значение ПДКпф в торфе
Cu	5	33	3	15	1	7	1
Zn	20	55	23	115	4	11	5
Ni	5	20	4	20	1	4	1
Pb	4	32	6	30	1	6	1

* ОДКвал – ориентировочно-допустимая концентрация валового количества в песчаных и супесчаных почвах по ГН 2.1.7.2511-09.

** ПДКпф – предельно-допустимая концентрация подвижной формы в ацетатно-аммонийном буфере с рН 4,8 для любых типов почв без учета их состава и свойств по ГН 2.1.7.2041-06

1. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. - Новосибирск: Наука, 1986. - 103 с.
2. Лапшина Е.Д. Динамика накопления торфа на болотах таежной зоны Западной Сибири // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Третьего Международного симпозиума. - Новосибирск, 2011. - С. 38-39.
3. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. - 2006. - №1. - С.63-70.
4. Разнообразие почв и биоразнообразие в лесных экосистемах средней тайги / Отв. ред. Н.Г. Федорец; Кар. НЦ РАН; Ин-т леса РАН. - М.: Наука, 2006. - 287 с.
5. Романова Е.А., Рыбина Ф.Т., Голицина У.Ф., Иванов Т.М., Усова Л.И., Трушников Л.Г. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. - М. 1:2500000. - М.: ГУГК, 1977.
6. Сысо А.И., Васильев С.В., Смоленцев Б.А., Сеньков А.А. Ландшафтно-геохимический анализ изменения природной среды в районах нефтедобычи // Сибирский экологический журнал. - 2001. - № 3. - С.333-342.
7. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. - 227 с.
8. Peregon A., S. Maksyutov, Kosykh N., Mironysheva-Tokareva N. Map based inventory of the wetland biomass and NPP in western Siberia // J. Geophys. Res. - 2008. - № 113, G01007. doi:10.1029/2007JG000441.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ EXPERIMENTAL NATURAL AND CLIMATIC RESEARCH IN THE MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA

*И.Е. Трофимова**, *А.С. Балыбина***, *А.И. Шеховцов****
*I.E. Trofimova**, *A.S. Balybina***, *A.I. Shekhovtsov****

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

*E-mail: balybina@irigs.irk.ru

**E-mail: trofimova@irigs.irk.ru

***E-mail: ashekhov@irigs.irk.ru

Обширная Западно-Сибирская равнина уникальна по своим географическим закономерностям пространственной дифференциации природных условий. Одна из ее особенностей – четкое проявление природной зональности, обусловленное широтным распределением тепла и влаги с севера на юг и равнинностью рельефа. Другая специфическая черта территории – исключительная по своим размерам заболоченность.

Поскольку определяющим фактором в функционировании, динамике, структурных преобразованиях геосистем является ресурс климата, то становится актуальным получение более глубокого представления о климатической организации равнинной территории Западной Сибири. Для этого проведено ее районирование, основанное на закономерностях пространственного распределения тепла и влаги в теплый период года. В качестве показателей тепла взяты суммы средних суточных температур воздуха выше 10 °C ($\Sigma t > 10^\circ\text{C}$), атмосферного увлажнения – индекс сухости (k).

$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ на крайнем севере равнины отсутствуют. На южной ее окраине они достигают 2000–2400 °C, k изменяется от < 0,5 на севере до 2,5–3,5 на юге. На этой основе проведено деление климатических показателей на градации количественных значений, которым присваиваются качественные характеристики. В результате территория дифференцирована на 9 климатических подразделений (I.1–IX.9), где I–IX – условия увлажнения, 1–9 – термические условия (рис. 1).

Основные типы климатов. I.1 – избыточно влажный ($k < 0,5$) и очень холодный ($\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ отсутствуют), характеризует территорию арктической тундры. II.2 – повышено влажный ($k < 0,5$) холодный ($\Sigma t > 10^\circ\text{C} < 600^\circ$), относится к субарктической тундре. III.3 – влажный ($k 0,9–1,1$) менее холодный (600–900°), соотносится с территорией лесотундры. IV.4 – умеренно влажный ($k 1,1–1,2$)

прохладный (900–1200°), присущ северной тайге. V.5 – понижено влажный ($k 1,2–1,4$) относительно теплый (1200–1600°), занимает пространство средней тайги. VI.6 – недостаточно влажный ($k 1,4–1,6$) умеренно теплый (1600–1800°), сопряжен с южной тайгой. VII.7 – слабо засушливый ($k 1,6–2,0$) достаточно теплый (1800–1900°), соответствует подтаежной территории. VIII.8 – умеренно засушливый ($k 2,0–2,5$) теплый (1900–2100°), совпадает с лесостепной территорией. IX.9 – засушливый ($k 2,5–3,5$) очень теплый (2100–2400°), распространяется на степи.

Климат приземной атмосферы – важный, но не единственный фактор, раскрывающий

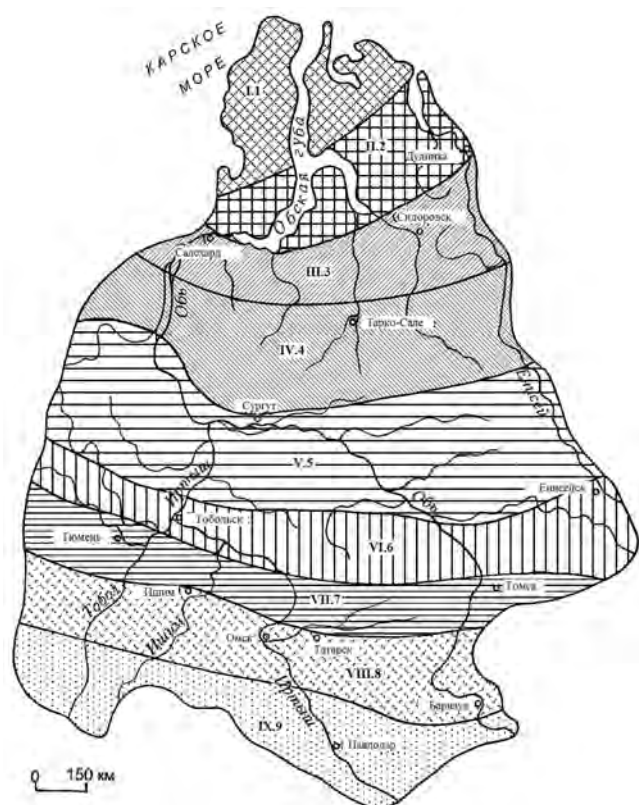


Рис. 1. Карта климатического районирования Западно-Сибирской равнины

взаимосвязь отдельных компонентов геосистемы. В результате взаимодействия приземного слоя воздуха, наземного покрова, почвы и почвообразующей породы солнечно-тепловая энергия преобразуется и аккумулируется в почвенной толще. Поэтому в качестве интегрального фактора, стимулирующего функционирование геосистемы, заслуживает внимание температурный режим почвы.

Изменение температуры с глубиной и ее пространственная дифференциация оценивается по средним месячным значениям самой высокой температуры в годовом цикле на конкретных глубинах почвенного профиля (до 3,2 м). На глубине 0,2 м температура варьирует от 7 °С (лесотундра) до 23 °С (степи). На глубине 3,2 м температура возрастает в направлении с севера на юг от –3 до 10 °С. Указанные диапазоны могут быть расширены за счет термического режима почвы в тундровой зоне. Однако на крайнем севере (п-ова Ямал и Гыданский) такого рода информация отсутствует. Всё полученное поле вертикальных температурных профилей разбивается на градации количественных значений, которым придается качественная характеристика по степени нагревания почвы. Используются термины «интенсивное» и «слабое» с усилением или ослаблением признака. Систематизация температуры почвы теплого периода года представляет основу для районирования Западно-Сибирской равнины по данному показателю.

Однако выполненное по материалам метеорологических станций климатическое районирование представляют собой регионально-зональный фон открытого (безлесного) пространства. Между тем под влиянием физико-географических факторов климатические условия и особенно тепловое состояние почв существенно трансформируются.

В средней тайге Западно-Сибирской равнины (Кондо–Сосьвинское Приобье) на топологическом уровне проводились экспериментальные исследования геосистем по выявлению взаимосвязей и размещений в пространстве и во времени их компонентов и параметров. Ведущее место в исследованиях занимает методика ландшафтно-географического обоснования выбора объектов изучения (Природные ..., 1977; Михеев, 1987). На ее основе выполнены исследования основных ландшафтных структур пространственного взаимодействия. Наблюдения за комплексом природных режимов (в том числе и микроклиматических) осуществлялись на полигонах-трансектах в плакорной с проявлением гидроморфизации, литоморфной в сочетании с гидроморфизацией, литоморфной с проявлением псаммофитизации ландшафтных структурах (Закономерности ..., 1978; Климатические ..., 1980; Михеев, 1987).

Количественный учет природных режимов в главных элементарных структурах конкретного географического ландшафта позволили реализовать функционально-информационное изучение пространственно разобобщенных географических систем, отражающих общую динамическую ситуацию.

Аналогичные исследования проведены на полигоне-трансекте (рис. 2), который расположен в низовьях р. Нягынъеган. Здесь на повышенных элементах рельефа господствуют кустарничково-лишайниково-зеленомошные, мелкотравно-зеленомошные и кустарничково-зеленомошные сосняки на перегнойно-подзолистых иллювиально-железистых почвах легкого механического состава. На отдельных участках подобных элементов рельефа идет процесс послепожарных и вырубочных смен древостоя. На данном сукцессионно-возрастном этапе господствуют производные березняки с примесью сосны разного возраста, под пологом которых заселяется темнохвойный подрост. Мощность мохово-лишайникового покрова с отмершей напочвенной органикой в трансформированных растительных сообществах варьирует от 2 до 7 см, в ненарушенных от 7 до 15 см. В понижениях рельефа господствуют сосняки (иногда с темнохвоем) кустарничково-сфагновые на торфяно-глеевой супесчаной (или легкосуглинистой) почве и сосновые «рямы» кустарничково-сфагновые на торфяной залежи. Мощность торфяников достигает 40 см. Уместно отметить, что высокая степень заболоченности, в целом свойственная средней тайге Западно-Сибирской равнины, в пределах Кондо–Сосьвинского Приобья существенно ниже (Типологическая ..., 1977).

Непосредственно микроклиматические наблюдения на полигоне-трансекте проводились в течение четырех лет во все периоды годового цикла. На полигоне-трансекте в фиксированных местоположениях (см. рис. 2) температура измерялась в верхнем 20-сантиметровом слое минерального профиля почвы (t , °С), что дало возможность установить ее зависимость от мощности перегнойно-торфянистой и торфяной толщ (s , см) (рис. 3).

Особенности сезонного взаимодействия компонентов системы атмосфера – наземный покров – почва позволили внутри годового цикла выделить несколько фаз термических процессов в почве. Раннелетняя, летняя и позднелетняя фазы характеризуются однотипной криволинейной зависимостью t от s (см. рис. 3а). Поле температур в этот период различается по степени нагревания почв: пониженное в июне (значки 1), интенсивное в августе (значки 2) и медленно снижающее в первых числах сентября (значки 3). Раннеосенней (сентябрь) и осенней (октябрь)

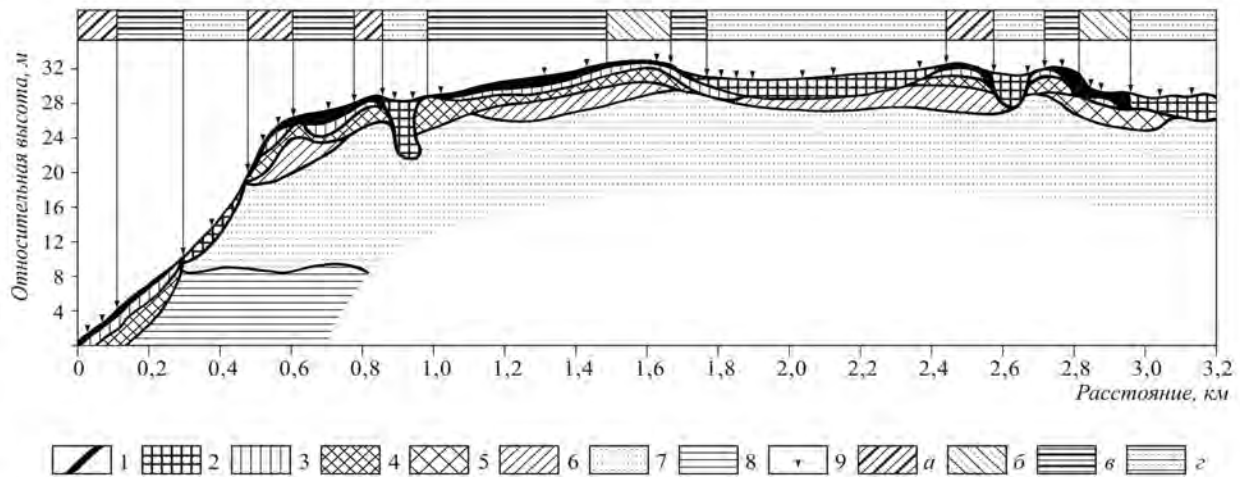


Рис. 2. Полигон-трансект в низовьях р. Нягынъеган.

Почвенные горизонты: 1 – перегнойно-торфянистый; 2 – торфяной; 3 – подзолистый; 4 – иллювиально-железистый; 5 – переходный. Литология: 6 – суглинки; 7 – пески; 8 – глины; 9 – объекты наблюдений. Сосняки: а – кустарничково-лишайниково-зеленомошные, б – мелкобрусничково-зеленомошные, в – кустарничково-зеленомошные, г – сфагновые (рямы)

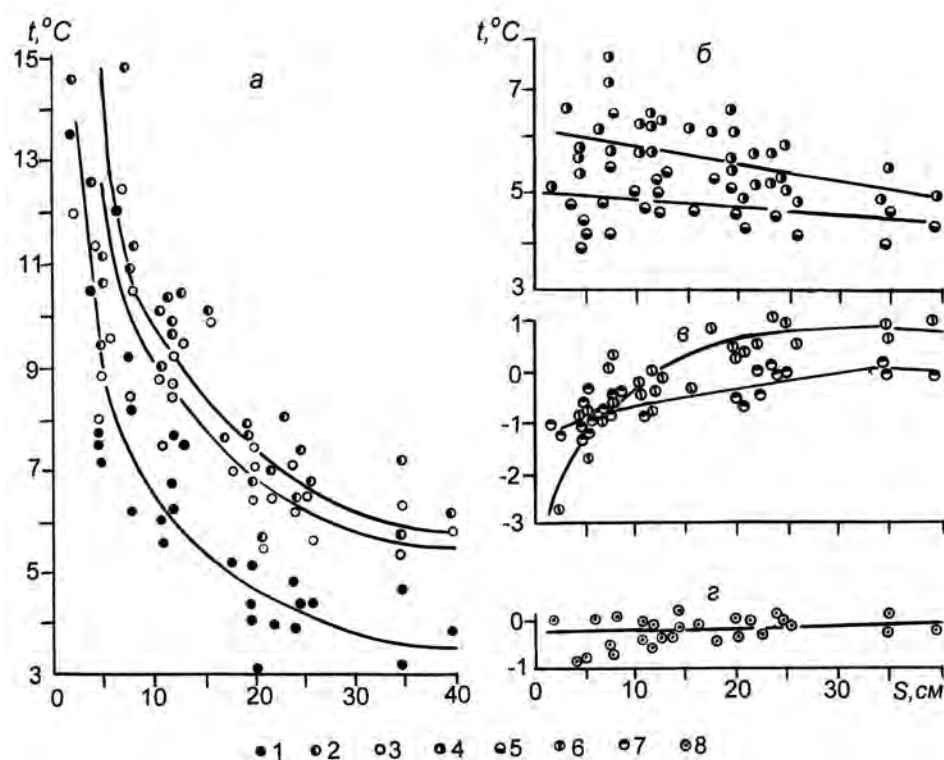


Рис. 3. Связь между температурой минерального горизонта почвы на глубине 20 см (t , °C) и перегнойно-торфянистой и торфяной толщиной (s , см) в сосновых сообществах.

Значки 1–8: измеренные значения температуры в летний (а), осенний (б), зимний (в), весенний (г) периоды года

фазам свойственна одноположительная зависимость t от s (см. рис. 3б), но положительные температуры в первом случае выше (значки 4), чем во втором (значки 5). В зимнюю фазу (декабрь) зависимость t от s криволинейная (см. рис. 3в, значки 6). Причем отрицательные температуры верхнего минерального горизонта

устанавливаются в местоположениях с s до 15 см, с увеличением s они остаются положительными. Ранневесенняя фаза (апрель) характеризуется узким диапазоном температур (от 0 до -1 °C). Связь t от s практически прямолинейная (см. рис. 3в, значки 7). Весенней фазе (май) свойственны близкие к 0 °C температуры, которые

устанавливаются во всем многообразии местоположений полигона-трансекта (см. рис. 3г, значки 8) и сохраняются продолжительное время. Температурные контрасты в весеннюю фазу нивелируются вследствие фазовых превращений воды в почвенном профиле.

Таким образом, сезонная ритмика термических процессов в минеральных горизонтах почвенного профиля среднетаежного ландшафта

водораздельного типа, наряду с энерго-, тепло- и влагоресурсами атмосферы, определяется разнообразием растительного покрова, мощностью напочвенного покрова. В целом исследования на полигонах-трансектах в элементарных структурах среднетаежных ландшафтов оказались результативными для углубленного изучения структурно-функциональной организации геосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-05-00819.

1. Закономерности формирования элементарных геосистем. - Иркутск, 1978. - 123 с.
2. Климатические условия и микроклимат таежных геосистем Сибири. - Новосибирск: «Наука», 1980. - 230 с.
3. Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. - Новосибирск: «Наука», 1987. - 206 с.
4. Природные режимы средней тайги Западной Сибири. - Новосибирск: «Наука», 1977. - 302 с.
5. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины (М 1:2500000). - М.: ГУГК, 1977.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ РАКОВИННЫХ АМЕБ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА ГРАНИЦЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЛЕСОСТЕПИ

SPECIES COMPOSITION AND ASSEMBLAGE STRUCTURE OF TESTATE AMOEBAE IN BOG AND FEN ECOSYSTEMS AT THE BORDER OF MIXED FORESTS AND FOREST-STEPPE

А.Н. Цыганов*, Е.А. Малышева, К.В. Бабешко, Ю.А. Мазей
A.N. Tsyganov*, E.A. Malysheva, K.V. Babeshko, Ju.A. Mazej

Пензенский государственный университет, Россия

Penza State University, Russia

*E-mail: andrey.tsyganov@bk.ru

Болотные экосистемы играют важную роль в биосфере как регуляторы гидрологического режима, центры биоразнообразия и как резервуары для связывания атмосферного диоксида углерода. Важным, но малоизученным компонентом болотных экосистем являются одноклеточные эукариотические организмы, или протисты. Одним из представителей протистов являются раковинные амебы – гетеротрофные организмы, характеризующиеся наличием внешнего скелетного образования, раковинки (Мазей, Цыганов, 2006; Charman et al., 2000). Раковинные амебы распространены практически повсеместно и населяют почвы, водоемы и болота. Они играют важную роль в детритных пищевых цепях, как промежуточное звено между бактериями и беспозвоночными и оказывают значительное влияние на бактериальную активность (Bonkowski, 2004). Благодаря наличию раковинки эти корненожки могут быть определены до вида без использования трудоемких методов культивирования, необходимых для изучения многих других групп простейших (Foissner, 1987). Помимо этого, раковинки устойчивы к разложению и хорошо сохраняются в торфяных отложениях болот и могут быть использованы в палеоэкологических исследованиях для реконструкции гидрологического режима. Цель настоящей работы – изучить распределение раковинных амеб в болотных экосистемах, расположенных на границе хвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоны (территория Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича, МГПЗ), определить основные характеристики окружающей среды, влияющие на изменения в видовом составе и структуре сообществ раковинных амеб. Подобные данные необходимы для развития методов биоиндикации и могут послужить основой для построения калибровочных рядов для палеоэкологических реконструкций с использованием раковинных амеб.

Материал для исследования был собран в ходе полевых работ в заповеднике, проводившихся с 15 по 16 июля 2013 г. В работу были включены 13 болотных экосистем, расположенных в районе кордона Павловский и п. Пушта, среди которых были три болота полностью или частично выгоревших в результате пожаров, вызванных засухой 2010 года. Отбор образцов проводили таким образом, чтобы, по возможности, охватить все разнообразие мест обитания, т.е. кочки, ровные участки, понижения. Образцы сфагноума объемом ~ 20 см³ извлекали при помощи ножа и разделяли на две части: живые (зеленые) и разлагающиеся (очес). В полностью выгоревших болотах для исследования отбирали донные отложения у берега. Собранные образцы помещали в пластиковые пакеты с застежкой и хранили до обработки в лаборатории. Всего был отобран 41 образец. Во время отбора проб измеряли глубину залегания болотных вод. Приготовление образцов для микроскопирования проводили согласно модифицированной методике основанной на фильтрации и концентрировании водных суспензий (Мазей, Ембулаева, 2009).

Всего в ходе исследования было обнаружено 59 видов и инфравидовых таксона раковинных амеб. Количество видов, обнаруженных в одном образце, изменялось от 7 до 28 (среднее количество видов в образце 14). Наиболее обильными видами были *Hyalosphenia papilio* (15% от общей численности обнаруженных раковинных амеб), *Phryganella acropodia* (10%), *Arcella rotunda* (9%), *Assullina muscorum* (7%), *Arcella arenaria sphagnicola* (6%) и *Hyalosphenia elegans* (6%). Два вида из вышеперечисленных (*Assullina muscorum* и *Phryganella acropodia*) характеризовались высокой встречаемостью и были обнаружены в более чем 85% образцов. Высокая встречаемость (более 80% образцов) также была характерна для *Euglypha compressa* и *Euglypha laevis*. Восемь видов были обнаружены лишь в одном образце.

Наибольшие различия в структуре сообществ раковинных амеб наблюдаются между верховыми болотами с одной стороны и низинными и горевшими болотами с другой. По структуре сообществ раковинных амеб переходные болота занимают промежуточное положение. Частично выгоревшее переходное болото по структуре сообщества раковинных амеб тяготеет к низовым болотам. Для верховых болот характерны представители родов *Archerella* и *Nebela*. В низовых болотах преобладают представители родов *Arcella*, *Diffflugia*, *Euglypha*. Подобные изменения в структуре сообществ можно объяснить увеличением трофности в ряду верховые – переходные – низинные болота (Opravilova, Hajek, 2006). Сообщества раковинных амеб в полностью выгоревших болотах значительно отличаются от сообществ в нормально функционирующих болотных экосистемах. Эти отличия,

прежде всего, связаны с преобладанием эврибионтных видов (*Trinema lineare*, *Centropyxis aerophila*, *Corythion* spp.), что может свидетельствовать об активных процессах колонизации.

Сфагнобионтные раковинные амеб формируют богатые и разнообразные сообщества в болотных экосистемах на границе хвойно-широколиственных лесов и лесостепной зоны. Наибольшим видовым богатством раковинных амеб характеризуются верховые болота с развитой дифференциацией сфагновой сплавины. Основные различия в видовой структуре сообществ раковинных амеб связаны с гидрологическим и трофическим статусом болота. Видовая структура сообществ раковинных амеб чувствительна к повышению трофности болот в результате выгорания. Полностью выгоревшие болота активно колонизируются эврибионтными видами раковинных амеб.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-04-31472 мол_а, 13-04-00542 А), а также Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» в сфере научной деятельности на 2014 – 2016 годы.

1. Мазей Ю.А., Ембулаева Е.А. Изменение сообществ почвообитающих раковинных амеб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье // Аридные экосистемы. - 2009. - 5. - С.13–23.
2. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. Пресноводные раковинные амебы. - М.: КМК, 2006. - 300 с.
3. Bonkowski M. Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited // New Phytologist. - 2004. - 162. - P. 617–631.
4. Charman D.J., Hendon D., Woodland W.A. The Identification of Testate Amoebae (Protozoa: Rhizopoda) in Peats. QRA Technical Guide No 9. London: Quaternary Research Association, 2000. - 147 p.
5. Foissner W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in Ciliates and Testateceans, bioindicators and guide to the literature // Progress in Protistology - 1987. - 2. - P.69–212.
6. Opravilova V., Hajek M. The variation of testacean assemblages (Rhizopoda) along the complete base-richness gradient in fens: A case study from the Western Carpathians // Acta Protozoologica. - 2006. - 45. - P.191–204.

СОСТАВ И СТРУКТУРА БРИОФЛОР БОЛОТ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ STRUCTURE OF BRYOPHORAS OF SWAMPS IN THE NIZHNY NOVGOROD REGION

А.А. Шестакова

A.A. Shestakova

Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Россия

Lobachevsky State University in Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: f_s_c@mail.ru

Болота распространены по всей территории Нижегородской области, однако наиболее крупные массивы расположены в Южном Заволжье и Волжско-Окском междуречье. По данным Нижегородской геологоразведочной экспедиции ПГО «Торфгеология» в настоящее время болота занимают около 4,5% от площади области. Преобладают торфяные месторождения низинного типа (65% от общей площади торфяников области), верховые болота занимают 23%, а переходные – 12% от их общей площади. Среди верховых болот в области преобладают сосново-сфагновые. Среди переходных распространены как облесенные (сосново-березово-осоково-сфагновые, сосново-березово-тростниково-сфагновые и др.), так и открытые (осоково-сфагновые, шейхцериево-сфагновые и др.). Среди низинных болот преобладают лесные (черноольховые и черноольхово-березовые), реже встречаются открытые (осоковые, осоково-разнотравные, тростниковые, хвощевые и др.).

Материалом для данной работы послужили личные сборы мохообразных (около 800 образцов), сделанные в период с 2001 по 2013 гг., а также материал гербария кафедры ботаники ННГУ. Латинские названия и положение таксонов печеночных мхов приводятся по списку печеночников России (Konstantinova, Bakalin, 2009), листостебельных – по списку мхов Восточной Европы и Северной Азии (Ignatov et al., 2006).

В настоящее время для болот в Нижегородской области выявлено 173 вида мохообразных, что составляет 52 % от всей бриофлоры области. К отделу *Bryophyta* принадлежит 150 видов из 60 родов и 29 семейств, отделу *Marchantiophyta* – 24 вида из 17 родов и 15 семейств.

Самое большое число видов (138) отмечено на низинных черноольховых и черноольхово-березовых болотах, при этом специфичность флоры данной группы болот также является самой высокой – 27,2%. С одной стороны это объясняется развитым древесным ярусом из *Alnus glutinosa*, т.к. подавляющее большинство специфичных видов являются эпифитами и эпиксилами, а ольха по сравнению с березой и сосной лучше заселяется мхами. С другой стороны бриофлоры черноольховых болот отличаются разнообразием

печеночников, здесь также отмечено наибольшее число видов (18). В качестве эпифитов отмечено 48 видов, из них в основании ствола 37 видов, 14 – на высоте более 0,5 м. Чаще всего стволы заселяет *Leskea polycarpa*, *Orthotrichum* ssp. (на юге), реже *Homalia trichomanoides* (на севере), *Myrinia pulvinata*, корни – *Stereodon pallescens*, *Leptodictyum riparium*, *Calliergonella lindbergii*, иногда отмечается *Hypnum cupressiforme*. Из редких видов стоит отметить *Timmia megapolitana*. В черноольшанниках в пойме р. Ветлуга характерна *Dichelima falcatum*. Эпиксилы также довольно многочисленны – 74 вида. В условиях повышенного увлажнения процесс гумификации древесины протекает довольно быстро. Древесина становится мягкой уже через 2-3 года, и мхи активно заселяют колоду. Из редких – на юге области в районах распространения известняков отмечен *Anomodon attenuatus*, вид не типичный для гниющей древесины, кроме того *A. longifolius*, *A. viticulosus*, а также *Dicranum fragilifolium*, *Fissidens osmundoides*. Весьма своеобразен напочвенный моховой покров. Из-за высокой конкуренции с травостоем общее проективное покрытие его невелико – 10-30%. Всего на почве отмечено 72 вида, из них 29 – на нарушенной почве, 43 – на подстилке. На кочках доминируют *Polytrichum commune*, *Pleurozium schreberi*, *Climacium dendroides*, *Plagiomnium* ssp., в обводненных понижениях *Warnstorfia* ssp., *Calliergon* ssp., *Drepanocladus aduncus*, *Sphagnum flexuosum*, *S. fimbriatum*, *S. girgensonii*, редко *S. platyphyllum*, *S. palustre*, и др. Также из редких отмечены *Helodium blandowii*, *Fissidens adianthoides*, *Rhizomnium pseudopunctatum*. На нарушенных участках отмечены *Pohlia bulbifera*, *Fissidens osmundoides*, *Dicranella cerviculata*, *D. rufescens*, из печеночников обычны *Pellia* ssp., *Blasia pusilla*, *Marchantia polymorpha*, *Conocephalum conicum*.

Открытые низинные болота довольно редки на территории области – здесь отмечено всего 66 видов, из них только 7 печеночников, при этом специфичные виды выявлены не были. В связи с отсутствием древесного яруса мохообразные представлены только напочвенными видами, общее проективное покрытие которых

может сильно варьировать в зависимости от развития травостоя, в среднем составляя 30-50%. Обычны *Sphagnum fallax*, *S. fimbriatum*, *S. girgensohnii*, *S. squarrosum*, *S. subsecundum*, *S. warnstorffii*, *Polytrichum commune*, *Aulacomnium palustre*, *Plagiomnium ellipticum*; на сильно обводненных участках – *Drepanocladus aduncus*, *Calliergon giganteum*, *C. cordifolium*, *Warnstorffia fluitans*, *W. exannulata*. Здесь отмечены такие довольно редкие для области виды, как *Cratoneuron filicinum*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Fissidens adianthoides*, *Sphagnum auriculatum* и др.

Для переходных сосново-березовых болот отмечено 74 вида, среди которых многие виды характерны как для верховых болот, так и для заболоченных лесов. В связи с этим специфичность флоры мхов переходных болот крайне низка (1,2 %). Здесь отмечен крайне редкий вид *Bryum turbinatum*, а также *Calypogeia integristipula*, *Mylia anomala*. Стоит отметить, что печеночники развиваются чаще всего на обнаженном торфе или отмершем сфагнуме. На почве отмечено 56 видов. Проективное покрытие сильно варьируется – от 10% до 80%. Доминируют часто *Sphagnum fallax*, *S. flexuosum*, *S. girgensohnii*. Обычны также *S. centrale*, *S. magellanicum*, *S. warnstorffii*. Между кочек довольно обычен *S. angustifolium*, на обводненных участках – *S. riparium*, *Drepanocladus aduncus*, *Calliergon giganteum*, *C. cordifolium*, виды рода *Warnstorffia*. На сухих кочках доминируют лесные мхи – *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum juniperinum*. На нарушенных участках обычна *Cephalozia bicuspidata*, *Dicranella cerviculata*. На гниющей древесине отмечен 21 вид; эпифитов 23 вида, при этом на большинство из них заселяет кору берез, на сосне отмечено всего 18 видов.

Бриофлора верховых сосновых пушицево-сфагновых и кустарничково-пушицево-сфагновых болот насчитывает 81 вид, из них печеночников 9 видов. Доля специфичных видов составляет 6,4 %. Только здесь отмечаются такие редкие для области виды как *Dicranum bonjeanii*, *Meesia triquetra*. На почве всего отмечено 62 вида, из них 52 в – условиях сформированного мохового покрова и 18 – на нарушенных участках, обнаженном торфе или деградировавшем сфагновом покрове. Проективное покрытие сильно варьируется (от 40-50% до 90-100%) в зависимости от развития кустарничков. В напочвенном покрове обычны сфагновые мхи, на сильно обводненных участках *Warnstorffia ssp.*, *Drepanocladus aduncus*, *Calliergon ssp.* На выворотах корней вместе с зелеными мхами (*Dicranella heteromalla*, *Pohlia*

nutans, *Tetraphis pellucida*, *Ceratodon purpureus*) поселяются и сфагновые – *S. fallax*, *S. girgensohnii* и др. Печеночники развиваются только в условиях деградировавшего сфагнового покрова (преимущественно на постпирогенных и вытопанных участках) и по окрайкам болот: только здесь отмечены *Scapania scandica*, *S. undulata*, *S. paludicola*, *Cladopodiella fluitans*. Для грядово-мочажинных комплексов на грядах характерны *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*, на севере довольно часто отмечается *S. fuscum*, также довольно обычен *S. capillifolium*, на пристволовых кочках – *Aulacomnium palustre*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum commune*, *P. strictum*. В обводненных мочажинах доминирует *S. cuspidatum*, на севере также *S. rubellum*, *S. balticum*. В качестве эпифитов отмечено 14 видов (исключительно на сосне), причем подавляющее большинство из них развивается только в основании ствола, только 5 видов было отмечено на высоте более 0,5 видов. На гниющей древесине отмечено 23 вида. Из редких стоит отметить *Polytrichum swartzii*.

При проведении сравнительного анализа видового состава бриофлор болот использовался коэффициент Сьеренсена – Чекановского (K_s) (Мэггаран, 1992). В результате было выявлено, что бриофлоры черноольховых болот по составу более близки к бриофлорам пойменных широколиственных и хвойно-широколиственных лесов, характеризующиеся богатством гигрофильных и базифильных видов мохообразных ($K_s=0,741-0,767$), в то время как сходство с бриофлорами других групп болот гораздо ниже от $K_s=0,497$ с верховыми болотами до $K_s=0,615$ с открытыми низинными болотами. Анализ также выявил, что бриофлоры верховых и переходных болот по своему составу очень близки к бриофлорам заболоченных лесов – сосняков и ельников сфагновых и долгомошных ($K_s=0,727-0,772$), которые характеризуются преобладанием гигрофильных ацидофилов. Флора открытых низинных болот занимает промежуточное положение между флорой черноольховых и переходных березово-сосновых болот ($K_s=0,593$).

Таким образом, проведенные исследования выявили значительное разнообразие мохообразных, произрастающих на болотах: здесь отмечено более половины видов, зарегистрированных в области. При этом по видовому составу болотные бриофлоры отличаются невысокой специфичностью, обнаруживая большое сходство с бриофлорами лесных сообществ.

1. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М., 1992. – 184 с.

2. Ignatov M.S., Afonina O.V., Ignatova E.A. Check-list of Mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. – 2006. – V. 15. – P. 1–130.

3. Konstantinova N.A., Bakalin V.A. Checklist of Liverworts (Marchantiophyta) of Russia // Arctoa. – 2009. – V. 18. – P.1–64.

АНАЛИЗ КЛИМАТО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УВЛАЖНЕННОСТИ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ВОДОСБОРОВ ПОДЗОНЫ ОСИНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ И СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL AND CLIMATIC CONDITIONS FOR MOISTURE ASSESSMENT OF THE WATERLOGGED CATCHMENTS OF SUBZONE OF ASPEN-BIRCH FORESTS AND NORTHERN FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA IN A CHANGING CLIMATE

В.В. Щукова, Л.И. Дубровская
V.V. Schukova, L.I. Dubrovskaya

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
Tomsk State University, Russia
E-mails: dubrli@sibmail.com, nikki_victorovna@mail.ru

Болотный ландшафт является преобладающим на территории Западносибирской равнины, и играют важную средообразующую роль для этого региона. При этом болотная экосистема является очень ранимой и уязвимой, особенно для северных территорий. По данным авторов (Кирпотин С. Н., Е.Д. Лапшина, Н.П. Мироничева-Токарева, В. Блейтен, 2004) в настоящее время происходят «обвальные» процессы таяния вечной мерзлоты, которые могут привести к большим негативным последствиям для растительного и животного мира этих территорий.

В рассматриваемых нами подзоне осиново-березовых лесов лесной зоны и северной лесостепи Западной Сибири изменения условия жизнедеятельности болотных экосистем в связи с климатическими трендами не такие явные и тревожные как на севере Западной Сибири, однако, проблема существует и для них.

Основной целью данной работы являлась оценка внутри- и межгодовой изменчивости тепло- и влагообеспеченности и выявление изменений климатического происхождения на заболоченных водосборах на южной периферии Большого Васюганского болота.

Наиболее адекватным индикатором экосистемных изменений в климатозоологических системах является изменение влажности деятельного слоя ландшафтов, которая помимо климатических факторов интегрально учитывает влияние растительного и почвенного покровов, а также условия дренированности территории. Влажность деятельного слоя обусловлена в первую очередь климатическим фактором, выражающимся количеством выпадающих осадков и теплоэнергетическими ресурсами испарения. Температура воздуха определяет тепловой режим атмосферы, а атмосферные осадки являются основным источником увлажнения.

Изменчивость в режиме увлажнения исследуемой территории достаточно сложно

отследить напрямую в связи с ее высокой заболоченностью и недоступностью, которая еще больше усложняется имевшим место массовым закрытием гидро- и метеопостов Росгидромета в 1975–80, а затем в 90-х годах.

Однако в качестве величины, отражающей текущую влажность деятельного слоя на малом водосборе можно использовать поверхностный русловой сток воды, как один из ведущих компонентов ландшафта, интегрирующий свойства и особенности его развития и динамики во времени. В связи с этим в работе ставилась задача – выяснить, имеются ли значимые климатически обусловленные тренды в увлажненности малых заболоченных водосборов косвенными оценками, то есть через совместный анализ изменений стоковых характеристик и атмосферных осадков.

Объекты исследований. Рассматривается район южной и юго-западной периферии Большого Васюганского болота (БВБ), расположенного в центральной части Обь-Иртышского междуречья. В административных границах – это север Новосибирской области (рис. 1).

В системе природного районирования Западной Сибири исследуемая территория располагается в двух ботанико-географических подзонах: осиново-березовых лесов лесной зоны и северной лесостепи. Подзона северной лесостепи занимает значительную территорию Новосибирской области и на водоразделах проникает в лес, который, в свою очередь, вклинивается в нее по долинам рек. В качестве ключевых участков для оценки состояния природной среды через характеристики стока нами выбраны бассейны 5 правобережных притоков р. Иртыш (табл. 1). Метеорологическая обстановка анализировалась по метеостанциям Тара и Северное.

Методика исследований. В качестве индикатора соотношения тепла и влаги вегетационного периода использовался индекс Г.Т. Селянинова, который вычисляется по формуле:

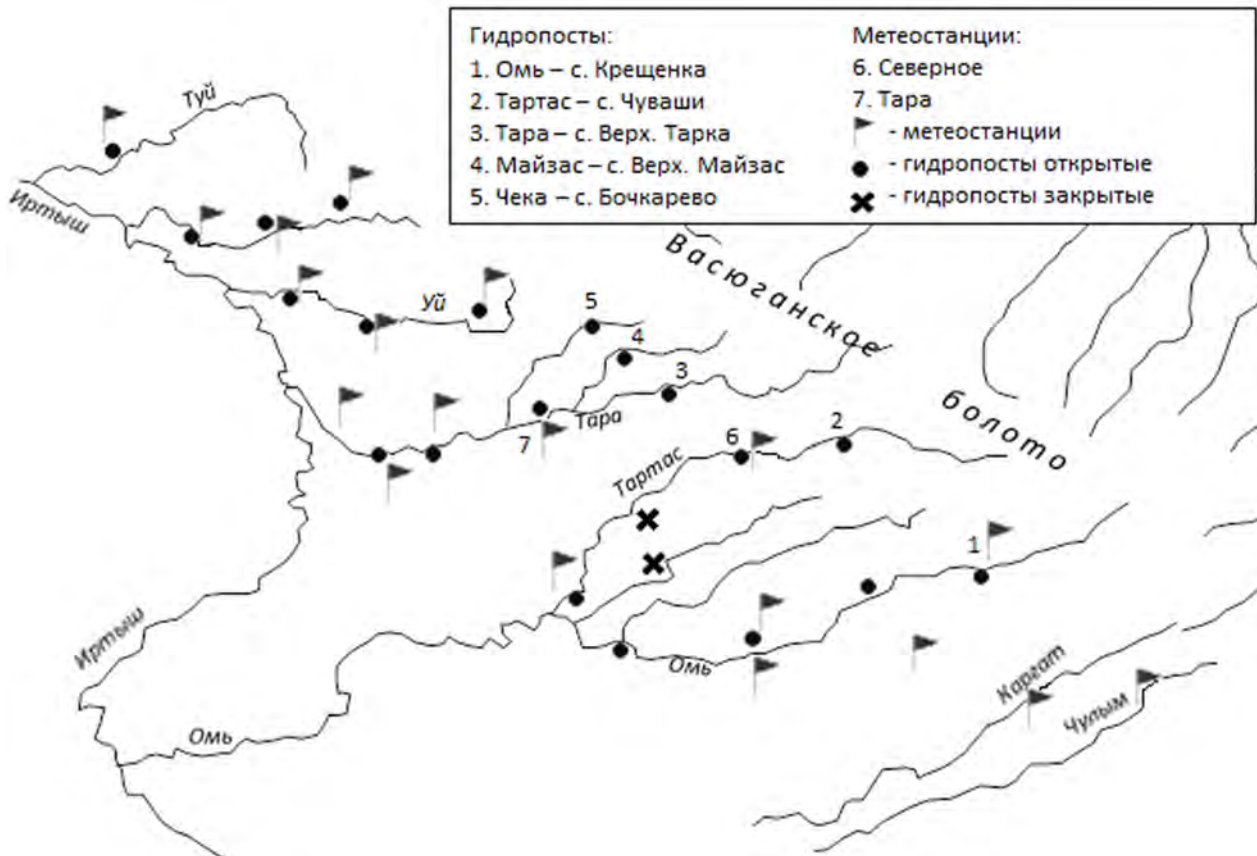


Рис. 1. Схема расположения гидропостов и метеостанций

$$ГТК = \frac{10 \sum P}{\sum T_{>10^{\circ}C}}$$

где P – сумма осадков (мм) и $T_{>10^{\circ}C}$ – сумма среднесуточных температур за период с $T \geq 10^{\circ}C$. По данным наблюдений на м/с вычислены значения ГТК за периоды с активными температурами воздуха и отдельно за месяцы вегетационного периода, а также среднее многолетнее значение (норма) и среднеквадратическое отклонение ГТК от нормы.

Неустойчивость увлажненности выражается экстремумами ГТК, которые определялись за наиболее важные для вегетации месяцы – май, июнь, июль.

К основным недостаткам индекса ГТК следует отнести неучет весенних запасов влаги. Кроме того, переход устойчивых среднесуточных температур через $5^{\circ}C$, с чем связывается начало и конец вегетационного периода, отмечается на исследуемой территории в первой пятидневке мая, а средние даты начала половодья значительно раньше (табл. 2).

Таблица 1. Гидрографические характеристики водосборов и статистические параметры годового стока за исследуемый период 1991– 2009 гг.

Река-пункт	F*	H	I	$\lambda_{оз}$	$\lambda_{бол}$	$\lambda_{лес}$	q	$Q_{ср}$	$\sigma_{Q_{ср}}$	C_v	σ_{C_v}
Омь – с. Крещенка	6500	140	0,26	<1	70	30	2,1	13,8	0,14	0,61	0,12
Тартас – с. Чуваши	4540	130	0,11	<1	80	20	3,0	13,6	0,12	0,53	0,09
Тара – с. Верх. Тарка	6250	130	0,15	<1	50	40	3,2	19,7	0,11	0,48	0,09
Майзас – с. Верх. Майзас	1430	130	0,28	<1	40	40	3,1	4,5	0,14	0,61	0,10
Чека – с. Бочкарево	2730	130	0,23	<1	55	40	2,8	7,6	0,12	0,53	10

Примечание: * F – площадь водосбора, км²; H – средняя высота водосбора, м; I – уклон реки средний, ‰; $\lambda_{оз}$ – озерность, ‰; $\lambda_{бол}$ – заболоченность, ‰; $\lambda_{лес}$ – лесистость, ‰; q – модуль стока, л/(км²*с); $Q_{ср}$ – средний годовой расход, м³/с; $\sigma_{Q_{ср}}$ – ср. квадратическая погрешность $Q_{ср}$; C_v – коэффициент вариации; σ_{C_v} – ср. квадратическая погрешность C_v ; C_s – коэффициент асимметрии.

Таблица 2. Многолетний слой весеннего и годового стока (мм) и его тенденции за период 1991-2009 гг.

Река – пост	Весенний сезон		Летне-осенний сезон		Годовой	
	Слой стока	Тенденция	Слой стока	Тенденция	Слой стока	Тенденция
Омь – с. Крещенка	38	Нет	15	Возр.	67	Возр.
Тартас – с. Чуваши	52	Убыв.	25	Возр.	95	Возр.
Тара – с. В. Тарка	59	Возр.	24	Возр.	99	Возр.
Майзас – с. В. Майзас	48	Возр.	27	Возр.	100	Возр.
Чека – с. Бочкарево	43	Возр.	23	Возр.	88	Возр.

* – полужирным шрифтом выделены статистически достоверные тренды

Поэтому для оценки уровня весенней увлажненности от снеговой составляющей (включая атмосферные осадки периода снеготаяния) привлекались данные о стоке весеннего сезона.

Сток за два гидрологических сезона – весенний и летне-осенний рассчитывался в рамках генетического подхода. Даты начала весеннего сезона определялись путем анализа гидрографа стока за каждый год по характерному уменьшению расхода, предшествующему резкому подъему кривой, знаменующему начало половодья. Даты конца весеннего сезона находились по кривых истощения (спада).

Исходные материалы. Материалами для настоящей работы послужили официальные данные о ежедневных расходах воды, опубликованные в гидрологических ежегодниках за период с 1991 по 2009; данные о суточных осадках и температуре приземных слоев воздуха за вегетационный период по м/с Тара и Северное за 1974–2012 гг. для оценки и анализа внутри- и межгодовой динамики ГТК.

Обсуждение результатов. Суммарный сток половодья в северной лесостепи и подзоне

осиново-березовых лесов, рассчитанный с позиций генетического подхода к определению сроков этой фазы водного режима, изменяется по представленным гидропостам в пределах 38–59 мм, что выше приведенных (25–45 мм) в работе (Бураков, 2005). Слой стока половодья имеет тенденцию на возрастание практически по всем постам, за исключением р. Тартас – с. Чуваши (табл. 2, рис. 2).

При этом зафиксированы статистически значимые тенденции в бассейнах двух притоков р. Тары – рр. Майзас и Чека.

Возрастание слоя стока половодья объясняется как увеличением продолжительности этой фазы водного режима, так и сдвига сроков наступления на более ранние сроки (табл. 3).

Результаты расчетов ГТК за период 1974–2012 гг. представлены в таблице 4. Достаточная влагообеспеченность из всего 39-летнего периода наблюдалась 28–30 раз (71,8–77,0%), неблагоприятные условия (недостаточно влажно) по влагообеспеченности наблюдались 5–8 лет (12,8–20,5 %).

Если придерживаться градаций ГТК других авторов, в которых при величине ГТК > 1,5

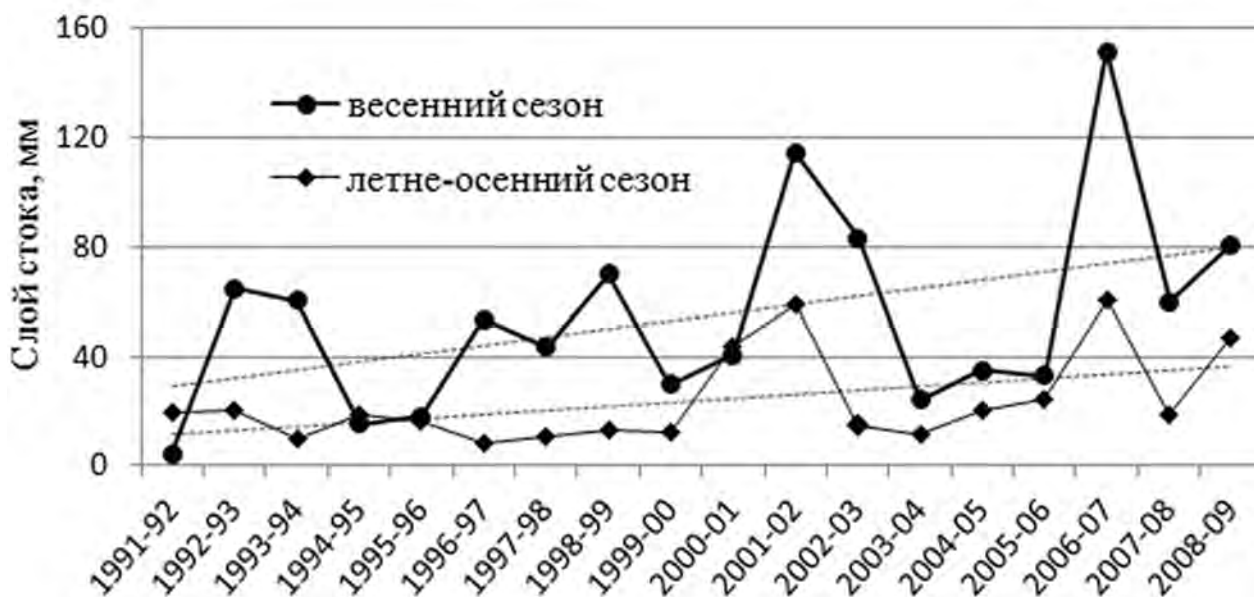


Рис. 2. Межгодовая динамика сезонного слоя стока р. Майзас – с. Верхний Майзас

Таблица 3. Продолжительность и тенденции весеннего сезона (за период 1991-2009 гг.)

Река – пункт	Продолжит-сть		Сроки наступления весеннего сезона (даты)			
	кол-во дней	тенденция	ранняя	поздняя	средняя	тенденция
Омь – с. Крещенка	71	*+	29 марта	19 апреля	10 апреля	–
Тартас – с. Чуваши	75	нет	25 марта	29 апреля	9 апреля	–
Тара – с. Верх.Тарка	90	–	21 марта	1 мая	6 апреля	+
Майзас – с. В. Майзас	70	+	15 марта	19 апреля	5 апреля	–
Чека – с. Бочкарево	68	+	27 марта	29 апреля	10 апреля	–

* (+/–) – тенденция на возрастание/убывание продолжительности сезона; (+/–) – сдвиг на более поздние сроки/ ранние сроки наступления сезона.

влагообеспеченность классифицируется как избыточная, то переувлажнение наблюдается от 38,5 (м/с Тара) до 51 % (м/с Северное). Для м/с Северное характерна тенденция на убывание для майских величин ГТК. В работе анализируются пространственно-временные изменения ГТК (месячные и за вегетационный сезон), корреляционные связи между ними и их согласованность со стоком весеннего сезона в различные по водности годы.

Таблица 4. Повторяемость ГТК вегетационного периода за 1974–2012 гг. согласно классификации авторов (Справочник эколого-климатических характеристик..., 2005)

М/с	Характер обеспеченности					
	Недостаточно влажно (0,7 ≤ ГТК ≤ 1,0)		Достаточно влажно (1,0 < ГТК ≤ 2,0)		Переувлажнено (ГТК > 2,0)	
	число лет	%	число лет	%	число лет	%
Северное	5	12,8	30	77,0	4	10,2
Тара	8	20,5	28	71,8	3	7,7

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 13-05-41116 РГО-а.

1. Кирпотин С.Н. «Обвальный» термокарст в Западно-Сибирской субарктике и тенденции глобальных климатических изменений / Е.Д. Лапшина, Н.П. Миронычева-Токарева, В. Блейтен // Экологические, гуманитарные и спортивные аспекты подводной деятельности: материалы III межд. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2004. – С. 163–169.
2. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы, 2005. – Изд-во геогр. ф-та МГУ. – Т. 2. – 412 с.
3. Бураков Д.А., Богданова В.Ф., Ромасько В.Ю. Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское [Электронный ресурс] – URL: http://method.meteorf/publ/sb39/bur_bog.pdf

ЛЕСОБОЛОТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ: СТРУКТУРА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ FOREST-MIRE COMBINATION: STRUCTURE AND MAPPING

Т.К. Юрковская
T.K. Yurkovskaya

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
Komarov Botanical Institute, Saint-Petersburg, Russia
E-mail: yurkoskaya@hotmail.ru

Тайга – это не одни темнохвойные леса, но область распространения бореальных экосистем лесов, болот, озер и пойм рек. Таежные экосистемы в пространстве представляют сложную сеть неравномерно чередующихся массивов лесов и болот, местами озер, которую пересекают речные долины. Их развитие и существование на всем таежном пространстве происходит в тесном взаимодействии. Механизмы регуляции и саморегуляции, свойственные растительному покрову, создают оптимальную пространственную структуру покрова (Pignatti, Vox, Fujiwara, 2002). Исходя из этого, соотношение лесов и болот в том или ином регионе не случайно и определяет во многом меру устойчивости растительного покрова.

Лесоболотные сочетания являются характерными структурными элементами тайги и играют весьма существенную роль в структуре растительного покрова некоторых таежных территорий. Наличие болот значительно увеличивает гетерогенность таежных экосистем, способствуя их устойчивости. Достаточно упомянуть Мещеру, Восточную Фенноскандию, многие таежные пространства на северо-востоке Европы. На протяжении нескольких десятилетий лесоболотные сочетания являлись одним из предметов моих исследований и как объект геоботанического картографирования и как полигон для изучения взаимоотношений леса и болота (Исаченко, Юрковская, 1973 и др.).

Лесоболотные сочетания, характерные для таежной зоны, связаны с теми участками тайги, в которых леса и болота в связи с резко контрастирующими экологическими условиями, представлены небольшими урочищами, часто чередующимися друг с другом.

Первоначально понятие о лесоболотном сочетании рассматривалось как территориальная (хорологическая) единица растительного покрова в связи с задачами мелкомасштабного картографирования, выделяемая для тех участков тайги, где леса и болота представлены небольшими урочищами и не могут быть изображены на карте самостоятельными контурами (выделами). Соотношение между площадями, занимаемыми сообществами разных ассоциаций и их групп сильно колеблется и зависит от степени расчлененности рельефа, крутизны склонов, их экспозиции, размеров депрессий, механического состава и мощности моренных отложений и

почвенного покрова. Ранее на геоботанических картах предпочтение отдавалось лесам даже в тех случаях, когда в картируемом выделе суммарная площадь мелких болот значительно превосходила площадь лесов, что значительно искажало истинный характер растительности.

Лесоболотные сочетания изучались мною в различных таежных регионах: на водосборе средней Пинеги (Архангельская область), Карельском перешейке (Ленинградская область), Мещере (Владимирская, Московская и Рязанская области), в бассейне реки Вымь (республика Коми) и в Карелии. В процессе их изучения я убедилась в том, что лесоболотное сочетание не просто единица, выделенная для целей картографирования, а реально существующая гетерогенная категория таежных экосистем.

Лесоболотные сочетания представляют собой совокупность закономерно повторяющихся на определенном пространстве плакорных и неплакорных типов леса и болот. В системе дурядной классификации В.Б. Сочавы (1968, 1979) лесоболотные сочетания соответствуют рангу мезофитоценохоры, и сопряжены с геохорами соответствующего объема.

Подчеркну, что не всякая совокупность лесов и болот является лесоболотным сочетанием. Если среди леса встречаются кое-где болота – это и надо трактовать как лес с единичными болотами.

Только тогда, когда имеется закономерное чередование лесов и болот на значительном протяжении однотипное по морфологии, т.е. воспринимаемое физиономически как некая целостность, мы вправе говорить о лесоболотном сочетании. Обычно болота занимают в сочетаниях не менее 30% общей площади.

Напрашивается определенная аналогия с комплексами сообществ. Но лесоболотные сочетания и комплексы относятся к разным уровням размерности.

Сочетания – это уровень мезофитоценохоры, а комплексы – микроценохоры. И как следствие, очевидна разная степень сопряженности в этих категориях.

Очень тесная сопряженность в комплексах, некоторые компоненты которых вне комплексов вообще не существуют. Такова преобладающая часть растительных сообществ мочажин верхних болот. Сочетания же образованы достаточно

обособленными компонентами, вполне способными существовать независимо. Но в сочетаниях их связь друг с другом несомненна.

Метод изучения сочетаний сводится к крупномасштабному картографированию и экологическому профилированию. Профили дают возможность выявить характер сопряженности различных типов леса и болот, их связь с формами рельефа и пространственную выраженность. Но основным способом фиксации фитоценозов, по мнению В.Б. Сочавы (1979) является картографирование. В сочетании с другими методами (анализом дистанционных материалов, экологическим профилированием и другими прямыми натурными наблюдениями) картографирование позволяет выявить характер и тенденцию взаимоотношений леса и болота.

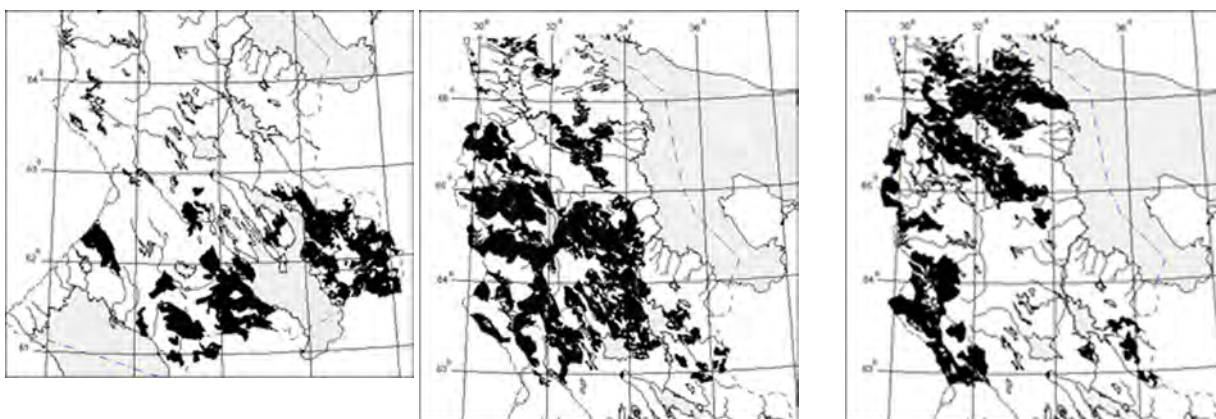
Лесоболотные сочетания поддаются не только описанию и картографированию, но также могут быть систематизированы. Процесс систематизации рассматривался нами ранее именно здесь в Новосибирске на совещании по классификации растительности (Исаченко, Юрковская, 1977). На основе изучения лесоболотных сочетаний мною также анализировались пространственно-временные взаимоотношения лесов и болот в тайге (Юрковская, 2002, 2007, 2012).

Рассмотрим их в Карелии, где они особенно широко распространены, занимают большие пространства и наряду с карельскими кольцевыми аапа болотами, преобладанием сосновых лесов над еловыми и некоторыми другими особенностями состава и структуры растительности определяют специфику самой западной подпровинции таежной России (Кольско-Карельской или Восточной Фенноскандии).

В качестве примера приводим 3 аналитические карты самых распространенных лесоболотных сочетаний в Карелии (Рис.1).

Лесоболотное сочетание среднетаежных еловых нормально увлажненных и заболоченных лесов с болотами (рис. 1.1) занимает в Карелии почти половину площади всех еловых лесов (46%). Они сосредоточены в основном на юго-западе Карелии и приурочены к моренной равнине с сомкнутым покровом, реже к участкам грядового рельефа (Лукашов, 2005). Нормально увлажненные среднетаежные ельники представлены преимущественно черничниками и чернично-брусничными типами. Заболоченные леса (главным образом хвощево-сфагновые, хвощево-чернично-сфагновые и осоково-сфагновые с *Carex globularis*) занимают депрессии. Сфагновые ельники, занимающие большую площадь, снижают хозяйственную ценность лесов этого сочетания, но в то же время играют большую роль в увеличении биологического разнообразия среднетаежных еловых лесов и не менее важно их значение для противопожарной устойчивости ельников, представленных этим типом сочетаний. В данном типе сочетаний прослеживается тенденция в сторону заболачивания и медленном, но постоянном увеличении площади сфагновых ельников.

Лесоболотное сочетание северотаежных сосновых лишайниковых, зеленомошных и сфагновых лесов с аапа болотами (рис.1.2). Выделы этой синхорологической единицы являются самыми крупными на карте Карелии (Юрковская, Елина, 2009) и составляют третью часть от площади всех сосновых лесов – 28189 км² или 30%. Средний размер одного выдела равен



1.1

1.2

1.3

Рис.1. Самые распространенные лесоболотные сочетания на геоботанической карте Карелии.

1.1. Сочетание среднетаежных еловых нормально увлажненных и заболоченных лесов с болотами

1.2. Сочетание северотаежных сосновых лишайниковых, зеленомошных и сфагновых лесов с аапа болотами

1.3. Сочетание северотаежных сосновых лишайниковых, зеленомошных сфагновых лесов с еловыми лесами и болотами.

Выделы сочетаний обозначены сплошной черной заливкой

919 км² и всего на карте показан 31 выдел. Это лесоболотное сочетание связано преимущественно с моренными равнинами с разомкнутым покровом, т.е. с наличием выходов коренных пород на дневную поверхность в виде скалистых сельг (возвышенностей). Наибольшие площади занимают сосняки кустарничковые зеленомошные и лишайниково-зеленомошные. Они приурочены к повышенным участкам местных водоразделов и склонам холмов. Вершины холмов и верхние части склонов южной экспозиции занимают лишайниковые сосняки. Там, где на поверхность выходят каменистые гряды, на их вершинах обычно также сосредоточены лишайниковые сосняки, а на крутых каменистых склонах сосняки каменистые. Сосняки сфагновые располагаются вытянутыми полосами вдоль края болот или в довольно плоских депрессиях, а болота в достаточно глубоких впадинах рельефа, преимущественно имеющих форму проточных или сточных котловин, изредка в небольших замкнутых котловинах или в приозерных впадинах. Данной картографической единицей представлен один из самых характерных типов гетерогенного растительного покрова Карелии. Соотношение компонентов этого сочетания довольно стабильны, так как нормально увлажненные сосняки расположены в основном на повышениях, но местами прослеживается слабая тенденция в сторону заболачивания, иницируют эту тенденцию сфагновые сосняки.

Лесоболотное сочетание северотаежных сосновых лишайниковых, зеленомошных сфагновых лесов с еловыми лесами и болотами (рис. 1.3). Этот тип сочетаний также очень широко распространен в северотаежной подзоне Карелии. 18 крупных выделов сосредоточены преимущественно на севере и западе республики, менее крупные встречаются на северо-восток от Выгозера. На карте выделы этого лесоболотного

сочетания занимают площадь 23553 км² или 24% от общей площади сосняков. Велика их роль и в общей структуре растительного покрова Карелии. Они немного уступают только предыдущему сочетанию, а вместе они образуют 35% всего растительного покрова Карелии. В этом сочетании, как и в других, на первый план выходят закономерности чередования разных типов лесов и болот и их связи с чередованием форм рельефа: глубиной вреза понижений, формой и высотой повышений, крутизной и протяженностью склонов и т.п.

Последние 2 сочетания наиболее полно и ярко отражают характер гетерогенного растительного покрова северотаежной Карелии. Главное их различие заключается в заметном участии еловых и елово-сосновых лесов, которое составляет от четверти до половины всей лесопокрываемой площади, в то время как в предыдущем налицо безраздельное господство сосняков.

Итак, лесоболотные сочетания являются характерными элементами тайги. Поэтому полагаю, что они могут рассматриваться как модельные территории для изучения взаимоотношений, складывающихся в таежных экосистемах.

В заключение подчеркнем пространственно-временную связь в развитии таежных лесов и болот. Роль болот в развитии и существовании таежных экосистем велика. Пространственная структура растительного покрова тайги определяется все увеличивающейся в последние 10 тысяч лет площадью болот. Болота образуют сеть, которая обуславливает естественную фрагментированность и гетерогенность растительного покрова тайги, усиливая его устойчивость по отношению к природным и антропогенным нарушениям. Болота существенно увеличивают биоразнообразие таежных экосистем и способствуют его сохранению при антропогенной трансформации лесов.

1. Исаченко Т. И., Юрковская Т.К. Основные типы сочетаний растительности Мещеры и отражение их на карте // Геоботаническое картографирование. - Л.: Наука, 1973. - С.316.
2. Исаченко Т. И., Юрковская Т.К. Опыт картографирования растительности Карелии в крупном и среднем масштабе // Пятое Всесоюз совещ по классификации растительности: тез. докл. - Новосибирск, 1977. - С. 27-30.
3. Лукашов А.Д. Геолого-геоморфологические карты // Елина Г.А., Лукашов А.Д., Токарев П.Н. Картографирование растительности и ландшафтов на временных срезах голоцена таежной зоны восточной Фенноскандии. - СПб, 2005. - С. 14-21.
4. Сочава В.Б. Растительные сообщества и динамика природных систем // Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. - 1968. - Вып. 20. - С. 12-22.
5. Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. - Новосибирск, 1979. - 190 с.
6. Юрковская Т.К. Взаимоотношение леса и болота в пространстве и времени на северо-востоке европейской тайги // Проблемы комплексного использования и мелиорации земель на водосборе. 2002. - С.69-70.
7. Юрковская Т.К. Пространственно-временные взаимоотношения болот и лесов в таежных экосистемах // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Второго Международного полевого симпозиума, Ханты-Мансийск, 24 августа – 2 сентября 2007г. - Томск, 2007. - С. 47-48
8. Юрковская Т.К. Взаимоотношения таежных лесов и болот в пространстве и времени // Известия Самарского научного центра РАН. - 2012. - Т.14. № 1. Вып. 5. - С. 1416-1419.
9. Юрковская Т.К., Елина Г.А. Восстановленная растительность Карелии на геоботанической и палеокартах. - Петрозаводск, 2009. - 136 с.
10. Pignatti S., Box E. O., Fujiwara K. A new paradigm for the XXIth century // *Annali di botanica*. - 2002. - Vol. II. - P. 31-58.

Section 2

**Carbon Cycle in Mire
Ecosystems: Productivity,
Carbon Stock, Decomposition
and Greenhouse Gases Emission**

**Круговорот углерода
в болотных экосистемах:
запасы фитомассы
и первичная продукция,
накопление углерода,
процессы разложения,
эмиссия парниковых газов**

SURFACE ENERGY BUDGETS OF FENNOSCANDIAN PEATLANDS: COMPARING 8 SITES WITH DIFFERENT MANAGEMENT HISTORIES

Pavel Alekseychik^{1*}, Anders Lindroth³, Magnus Lund³, Ivan Mammarella¹, Janne Rinne², Mats Nilsson⁴, Matthias Peichl⁴, Annalea Lohila⁵, Mika Aurela⁵, Tuomas Laurila⁵, Narasinha Shurpali⁶, Eeva-Stiina Tuittila⁷, Timo Vesala¹

¹ Department of Physics, University of Helsinki

² Department of Physics, University of Helsinki

³ Department of Physical Geography and Ecosystems Analysis, Lund University

⁴ Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences

⁵ Atmospheric Composition Research, Finnish Meteorological Institute

⁶ Department of Environmental Science, University of Eastern Finland

⁷ School of Forest Sciences, University of Eastern Finland

* E-mail: pavel.alekseychik@helsinki.fi

Abstract

With a high degree of confidence, anthropogenic impacts on the environment play a significant role in the climate change (IPCC 2013). This is particularly relevant for peatlands, which cover a significant fraction of the boreal landscape area (e.g. Turunen *et al.* 2002) and constitute a large and unstable pool of organic carbon on Earth (Yu *et al.* 2009) due to their susceptibility to the changing climate (Charman *et al.* 2013). Research indicates that potential shifts in climate will be able to disturb the fragile equilibrium of peatland ecosystems and result in massive emissions of carbon, previously trapped in the organic peat soils, in the form of greenhouse gases, GHG (Gorham 1991). This sensitivity is manifested in the effects of rising temperatures (Dorrepaal *et al.* 2009), changing hydrology (Ise *et al.* 2008) and the temporal patterns in the solar radiation (Loisel *et al.* 2012) on the variation in peatland-atmosphere carbon exchange processes. However, besides the carbon balance, these external forcings control also the energy balance of peatland ecosystems – the aspect that has not enjoyed an equal amount of attention as of today.

We address the problem of the Fennoscandian peatland energy balance by examination of 8 sites which had been subjected to a varying degree of

anthropogenic impact through forestry and agricultural management. Four of the sites constituted the group of natural peatlands (Siikaneva- 1 and 2, Degerö Stormyr and Fäjemyr), 2 represented peatlands converted into agricultural sites (Linnansuo and Jokioinen), while the remaining two sites are essentially forests growing on peatland soil.

The analysis of the energy balance closure revealed its high variability with respect to the season, wind direction and amount of turbulent mixing. We also found the magnitude of the energy balance closure to be highly sensitive to the method of its derivation. On the ecophysiological side, seasonal dynamics of Bowen Ratio turned out to differ greatly between the management classes, generally correlating with the vegetative and hydrological characteristics of the sites.

In terms of mean snow-free season values, ecophysiological parameters (e.g. the Bowen ratio), surface and aerodynamic conductances, decoupling coefficient and the evapotranspiration quantities varied between the site groups, while still exhibiting a wide range within the groups. Overall, the peatland sites in this study showed a large disparity in the mean snow-free season values: Bowen ratio 0.25 to 1.09, Priestley-Taylor alpha 0.72 to 1.28, decoupling coefficient 0.32 to 0.80, surface conductance of 1.8 to 24.9 mm s⁻¹.

Finally, we developed an alternative view of the energy balances based on the degree of resilience to drought conditions, rather than peatland type or management activities. We found that the sites fall in two groups depending on their reaction to the prolonged rainless conditions, which does not fully correlate with the classification schemes based on bog/fen dichotomy or the type of management activities at the site. Rapid or delayed ecosystems responses to drought were observed, generally corresponding to the managed and natural site groups, with the exception of FAJ.

Overall, the peatlands under examination appear to have diverged from the assumed “original” state,



Fig. 1. Locations of the study sites (Alkkia, Kalevansuo, Jokioinen, Linnansuo, Siikaneva-1, Siikaneva-2, Degerö Stormyr, Fäjemyr)

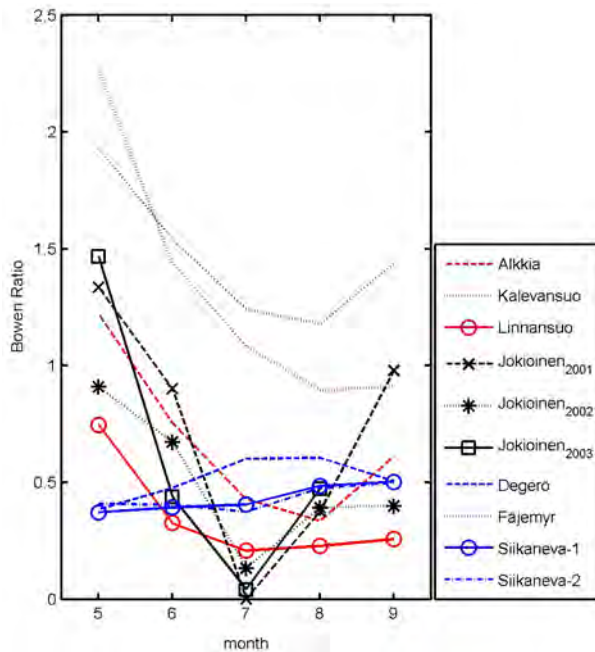


Fig. 2. Bowen Ratio, cumulative monthly averages

following their natural evolution and human intervention, so that their energy balances have attained certain characteristic features. These features will need to be addressed in both the process and regional modeling applications, in addition to the changes in the carbon balance, if the net climatic effects of the boreal peatlands are sought.

We gratefully acknowledge: Academy of Finland Center of Excellence Program (project No. 1118615), Finnish National Doctoral Programme "Atmospheric Composition and Climate Change: From Molecular Processes to Global Observations and Models" (ACCC), Nordic Centre of Excellence DEFROST, projects ICOS and GHG-Europe. This study is part of DEFROST Work Package 1.

- Charman, D.J., D.W. Beilman, M. Blaauw, R.K. Booth, S. Brewer, F.M. Chambers, J.A. Christen, A. Gallego-Sala, S.P. Harrison, P.D.M. Hughes, S.T. Jackson, A. Korhola, D. Mauquoy, F.J.G. Mitchell, I.C. Prentice, M. van der Linden, F. De Vleeschouwer, Z.C. Yu, J. Alm, I.E. Bauer, Y.M.C. Corish, M. Garneau, V. Hohl, Y. Huang, E. Karofeld, G. Le Roux, J. Loisel, R. Moschen, Nichols J.E., Nieminen T.M., MacDonald G.M., Phadtare N.R., Rausch N., Sillasoo Ü., Swindles G.T., Tuittila E-S., Ukonmaanaho L., Valiranta M., van Bellen S., van Geel B., Vitt D.H., and Zhao Y. Climate-related changes in peatland carbon accumulation during the last millennium // *Biogeosciences*. - 2013. - 10. - P. 929-944. doi:10.5194/bg-10-929-2013.
- Dorrepaal E., Toet S., van Logtestijn R.S.P., Swart E., van de Weg M.J., Callaghan T.V. and Aerts R. Carbon respiration from subsurface peat accelerated by climate warming in the sub-arctic // *Nature*. - 2009. - 460. - P. 616-619.
- Gorham E. Northern Peatlands: Role in the Carbon Cycle and Probable Responses to Climatic Warming // *Ecological Applications*. - 1991. - 182. <http://dx.doi.org/10.2307/1941811>
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.): Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. - Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. - 1535 p.
- Ise T., Dunn A.L., Wofsy S.C., Moorcroft P.R. High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback // *Nature Geoscience*. - 2008. - 1. - P. 763-766.
- Loisel J., Gallego-Sala A. V., and Yu Z. Global-scale pattern of peatland sphagnum growth driven by photosynthetically active radiation and growing season length // *Biogeosciences Discuss*. - 2012 - 9. - P. 2169-2196. doi:10.5194/bgd-9-2169-2012
- Turunen J., Tomppo E., Tolonen K. and Reinikainen A. Estimating carbon accumulation rates of undrained mires in Finland: Application to boreal and subarctic regions // *The Holocene*. - 2002. - 12. - P. 69-80.
- Yu Z. C., Beilman D. W., and Jones M. C. Sensitivity of northern peatlands to Holocene climate change. *In: Carbon Cycling in Northern Peatlands*. (Eds): Baird, A., Belyea, L., Comas, X., Reeve, A., and Slater, L. - AGU, Geophys. Monog. Series. - 2009. - 184. - P. 55-69. doi:10.1029/2008GM000822.

CARBON FLUX CHANGES AFTER DRAINING PART OF THE BAKCHAR BOG: A 3-D DYNAMIC MODELING APPROACH

Wiebe Borren, Wladimir Bleuten

Utrecht University, Netherlands

Keywords: peatland, drainage, modeling, Western Siberia, carbon cycling, climate change

Peatland mires typically accumulate atmospheric CO₂ by biomass production. This process of Carbon sequestration by mires exceed the production of methane CH₄ by decomposition of organic matter in the peat layers. Even if the much higher radiative forcing of CH₄ compared to CO₂ is considered these mires give an important negative feedback to climate change.

However, in places where mires are drained for enhancement of wood production, agriculture or road construction the mires change into dry peatland which produce high fluxes of CO₂ to the atmosphere by increased oxidation of peat. Because the processes of both peat accumulation and peat decay are steered by the water saturation conditions we hypothesised that the effects of draining can be prediction with a of 3-D dynamic modeling of the mire

hydrology, combined with modules for peat growth and (an)aerobic decay. A suitable catchment with partly drained and undrained peatland/mires within the catchment area was found in the "Bakchar bog" in the south taiga zone of Western Siberia. The output of the model showed that the drawdown of the water table due to drainage not only affected the drained part, but stretched into the undrained part over 1 to 1.5 km. Here peat growth and carbon accumulation were decreased. Due to drainage the net CO₂ sink of 33.1 g C m⁻² yr⁻¹ for the whole mire was turned into a net source of CO₂ of 47.3 g C m⁻² yr⁻¹. In the drained part the net source was 100.5 g C m⁻² yr⁻¹. The accompanied subsidence rate was 1.5 to 5 x 10⁻³ m yr⁻¹. This change lead to the switch of a net sink of greenhouse gases to a net source of greenhouse gases. The resulting instantaneous radiative forcing was switched from negative to positive and thus to a net contribution to the greenhouse effect.

PHOTO-EXPOSE AFFECTS SUBSEQUENT PEAT DECOMPOSITION

Bente Foereid¹, Evgeniy A. Zarov², Ilya V. Filippov², Elena D. Lapshina²

¹ University of Abertay Dundee, UK
E-mail: 1307280@live.abertay.ac.uk

² Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Introduction

Several recent studies have indicated that photodegradation, enhancement of decomposition rate caused by exposure to light and UV light, may play an important role in plant residue and soil organic matter decomposition (Austin and Vivanco 2006; Parton et al. 2007; Day et al. 2007; Foereid et al. 2011; Meyer et al. 2012). The mechanism for how photo-exposure affects litter mass loss is insufficiently known, but recent work suggests that it particularly affects the degradation of lignin, the plant compound most resistant to microbial degradation (Austin and Ballare 2010), and that photo-exposure can enhance subsequent microbial degradation (Foereid et al. 2010).

A large proportion of the planet's carbon stores are in the soil, and a disproportionately large percentage of this is found in northern latitude peats (Batjes 1996; Kremenetski et al. 2003; IPCC 2007). However, surprisingly little is known about the controls of peat decomposition in natural and semi-natural ecosystems. Decomposition appears to be patchy with a large portion of the peat seemingly inactive at any one time, but with hot-spots of microbial activity (Fenner et al. 2011). The difference between

active and inactive patches has been difficult to understand.

Previous studies on terrestrial photodegradation have mostly focused on tropical semi-arid areas, but there is potentially enough radiation in the summer also at higher latitudes on surfaces free of vegetation or with low vegetation cover to have an effect, as shown by a simulation study (Foereid et al. 2011). Ruthledge et al. (2010) showed that photodegradation plays a role for carbon fluxes in a de-vegetated peatland in New Zealand. Photodegradation could be a factor in explaining the patchy nature of peat decomposition, as previous work has also shown that exposure to sunlight can prime plant residues for subsequent microbial degradation (Foereid et al. 2010). Photodegradation has been shown to play a role in decomposition in arctic waters, and to interact with microbial degradation (Cory et al. 2013). It is possible that exposure to sunlight in some exposed areas of the peat primes it for microbial activity, and therefore explains the patchy nature of peat decomposition.

Here we collect peat in spring and put it out exposed to the sun together with shaded controls over the summer. The samples were then incubated, both at field capacity and submerged to determine if pre-exposure to sunshine primes the peat to faster decomposition.

Materials and methods

The study area was located at the east bank of the Irtys River near the confluence with the Ob River in the middle taiga area of Western Siberia (60°54'N, 68°42'E), 30 km west of the town of Khanty-Mansiysk.

Peat was sampled from the top layer of 5 typical microlandscapes within the peatland (at the bottom and the top of an eroded slope, in a hollow, on a ryam and in a ridge). Bags were prepared with cotton material on one side, and UV-transparent Alcal film on the other. Control bags also had a layer of black plastic between the sample and the Alcal plastic. The collected peat was air dried and put in the bags, all peat samples split to have both exposed and control from each sample. All bags were put out and fastened on a sun-exposed wooden plating in the peatland. The bags were put out in the morning of 24th of May and collected in the evening of 21st of August 2013.

About 5 g of dry peat from each bag (exposed and controls) was put in each jar. Replicate jars were made for an incubation at field capacity (dry) and one

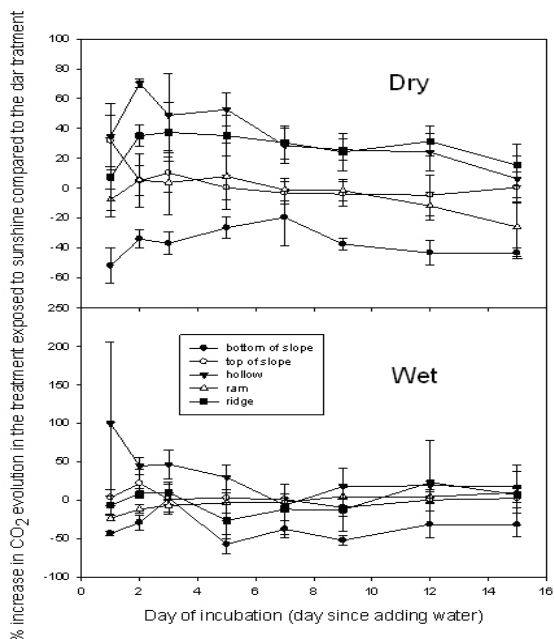


Fig. Percentage increase in CO₂ evolution in the sun-exposed peat compared to the shaded for each peat type (negative numbers denote decrease). Error bars are standard error (n=4)

under saturated conditions (wet). Water was added to field capacity in the dry incubation, and enough to fully cover all samples in the wet incubation. Extra water was added as needed. The temperature during the incubation was 22.32 ± 1.87 °C.

Before each measurement the jars were closed for between 1 and 4 hours. 10 ml gas sample was taken out by a syringe. The gas concentration in the samples was measured on a chromatograph. CO₂ evolution was measured every day in the beginning, then every second day and then every third day for just over 2 weeks. CH₄ was measured at the same time, but only in the wet incubation.

Preliminary results and discussion

There was a marked effect of photo-exposure on the decomposition rate at field capacity (dry) (Figure). In the submerged peat (wet), the effect of

photo-exposure was only seen in some peats, and the effect was short-lived. No methane emission was recorded from any peat at any time, indicating that even the submerged peat did not go anaerobic. The results indicate that exposure to sunshine can significantly increase peat decomposition- and carbon loss rate even at this relatively high latitude. This could mean that peat disturbance that exposes the peat to sunshine, for example erosion, cultivation or cutting, could have disproportionately large effects on carbon losses. This effect could be further exacerbated if the water table is also lowered, as the effect was only marked when the peat was not water-logged. Further work will focus on the how photo-exposure changes the chemical composition of peat to make it more degradable.

The research leading to these results has received funding from INTERACT (grant agreement No262693) under the European Union's Seventh Framework Programme.

1. Austin, A. T., & Ballare, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. - 2010. - 107. - P. 4618-4622.
2. Austin, A. T., & Vivanco, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation // *Nature*. - 2006. - 442. - P. 555-558.
3. Batjes, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *European Journal of Soil Science*. - 1996. - 47. - P. 151-163.
4. Cory, R. M., Clumps, B. C., Dobkowski, J. A., & Kling, G. W. Surface exposure to sunlight stimulates CO₂ release from permafrost soil carbon in the Arctic // *PNAS*. - 2013. - 110. - P. 3429-3434.
5. Day, T. A., Zhang, E. T., & Ruhland, C. T. Exposure to UV-B radiation accelerates mass and lignin loss of *Larrea tridentata* litter in the Sonoran Desert // *Plant Ecology*. - 2007.
6. Fenner, N., Williams, R., Toberman, H., Hughes, S., Reynolds, B., & Freeman, C. Decomposition 'hotspots' in a rewetted peatland: implications for water quality and carbon cycling. // *Hydrobiologia*. - 2011. - 674. - P. 51-66.
7. Foereid, B., Bellarby, J., Meier-Augenstein, W., & Kemp, H. Does light exposure make plant litter more degradable? // *Plant and Soil*. - 2010. - 333. - P. 275-285.
8. Foereid, B., Rivero, M. J., Primo, O., & Ortiz, I. Modelling photodegradation in the global carbon cycle // *Soil Biology & Biochemistry*. - 2011. - 43. - P. 1383-1386.
9. IPCC Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis. - Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
10. Kremenetski, K. V., Velichko, A.A., Borisova, O.K., MacDonald, G.M., Smith, L.C., Frey, K.E. & Orlova, L.A. Peatlands of the Western Siberian lowlands: current knowledge on zonation, carbon content and Late Quaternary history // *Quaternary Science Reviews*. - 2003. - 22. - P. 703-723.
11. Mayer, L. M., Thornton, R. T., Schick, L. L., Jastrow, J. D., & Harden, J. W. Photodissolution of soil organic matter // *Geoderma*. - 2012. - 170. - P. 314-321.
12. Parton, W., Silver, W. L., Burke, I. C., Grassens, L., Harmon, M. E., Currie, W. S., et al. Global-Scale Similarities in Nitrogen Release Patterns During Long-Term Decomposition // *Science*. - 2007. - 315. - P. 361-364.
13. Rutledge, S., Campbell, D. I., Baldocchi, D., & Schipper, L. A. Photodegradation leads to increased carbon dioxide losses from terrestrial organic matter // *Global Change Biology*. - 2010. - 16. - P. 3065-3074.

PRELIMINARY RESULTS OF NET ECOSYSTEM EXCHANGE OF GREENHOUSE GASES (CO_2 , CH_4 , H_2O) AT WETLAND OF BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND

Krzysztof Fortuniak*, Włodzimierz Pawlak**

Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Science, University of Łódź, Poland

*E-mail: kfortun@uni.lodz.pl,

**E-mail: wpawlak@uni.lodz.pl

Introduction

A detailed knowledge on the net surface exchange of greenhouse gases is essential for reliable climate modeling both in local and global scale. The wetlands play an important role in climatic system due to their significant contribution to carbon exchange and specific surface energy balance. Situated in northeastern Poland the Biebrza Valley, is the largest wetland of the country and one of the largest in Central Europe. It is 110 km long, up to 20 km wide and consist more than 250 km² of swamps. The area is famous due to its unique European ecological value being a result of a combination of the relatively extensive use of the area, the occurrence of large peat deposits, the yearly natural large flooding and the presence of mire ecosystems that become habitats for rare plant communities and protected animal species. This natural wetland ecosystem was alternated by human activities in nineteenth and twentieth century by construction of the Woznawiejski and Augustowski Canals (1820-1860) and drainage works in 1950-1990 which led to the mineralization of peat cover (Grygoruk et al. 2011). Recently different environmental-restoration strategies are introduced to re-cultivate degraded peatlands. For that reason, biological and chemical processes at the area may differ than other wetlands. On the other hand, this processes can be regard as typical for a large part of eastern Poland where irrigation made a few decades ago altered natural ecosystem.

The main goal of the present work is to recognize a net ecosystem exchange of main greenhouse gases (H_2O , CO_2 , CH_4) for such type of wetlands. It is of key importance for understanding of their role in the climatic system. We present results of continuous measurement of turbulent fluxes of greenhouse gases made with the aid of open-path

eddy-covariance (EC) system. The eddy-covariance method is the most direct and accurate way to estimate net exchange of the mass, energy and momentum between the surface and the atmosphere, but because of availability of the commercial sensors, restriction of the site location and other methodological problems, the grow of EC network is limited to last two decades. Still, only a few EC systems works in Poland and only two of them are located on wetlands: the system presented below and another one working in Rzecin (Western Poland).

Site location, instrumentation and data processing

The Biebrza Valley is subdivided by morphological features into three major units, defined as the Upper, Middle and Lower Basin (Okruszko 1990). The measurement site (53°35'30.8"N, 22°53'32.4"E, 110 m asl) is located in the Middle Basin on the very flat surface near to the village Kopytkowo south to the famous peatland called "Czerwone Bagno". The small river Kopytkowa flows in the nearest neighborhood of the site, but it is completely overgrown with reeds (Fig. 1). The mixture of reeds, sedges and rushes characteristic for Biebrza wetlands compose homogenous surroundings of the site. A few separate houses is located in the distance about 500 m south-east from the site.

A typical open-path eddy-covariance measurement system consists of three fast respond sensors: a sonic anemometer (RMYoung 81000) and two gas analyzers (Li7500 – $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ and Li7700 – CH_4) operating with 10 Hz frequency. The middle of the path of the eddy-covariance system is on the height 3.5 m above the ground. The 90% source area for such height is approximately a circle with diameter about 500 m. The outputs from sensors, governed by CR5000 datalogger (Campbell Sci.),

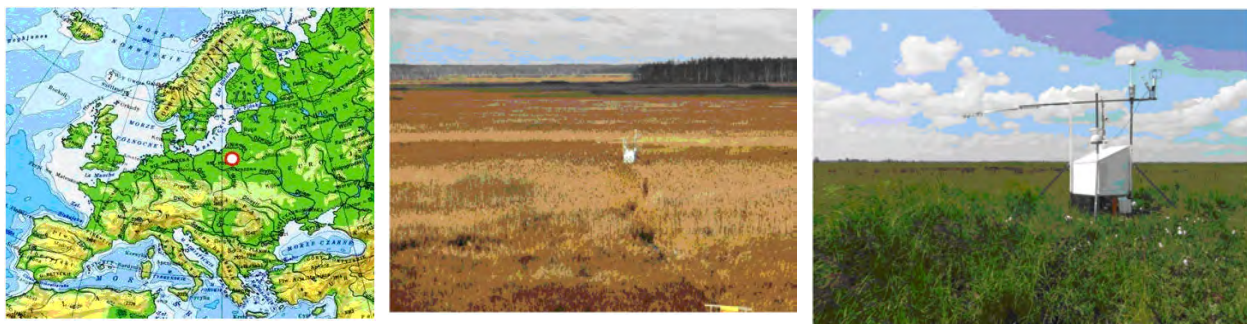


Fig. 1. Site location and a view on the measurement screen

are organized in 15 min files and stored on the PC connected to the logger. The eddy-covariance system is complemented by slow-respond sensors giving information on: radiation balance – net radiometer (CNR1 allowing for independent measurements of downward and upward shortwave and longwave radiation) and two PAR sensor faced up and down mounted on the horizontal arm at the height 2.7 m in a distance more than 3 m from the box; heat flux to the ground – ground heat flux plates; soil moisture – volumetric water content sensor; precipitation – standard rain gauge; two temperature and humidity probes (HMP60, Vaisala, Finland) at height 0.5 and 2 m; atmospheric pressure sensor, cup anemometer and wind vane.

The data processing scheme used in fluxes calculation highly affects the results. The entire impact of post-processing method can reach 5-20% for energy fluxes and even 50% in CO_2 (Mauder and Foken, 2006). To minimize these effect we followed the procedure commonly used by EC groups recommended by Aubinet et al. (2012). The data processing scheme includes:

- spikes elimination;
- outranged values elimination based on physical thresholds;
- cross-wind correction as implemented in sonic anemometer;
- coordinate transformations to natural wind coordinate system with double rotation (Kaimal and Finnigan, 1994);
- covariance maximization in the window ± 2 s;
- 1 hour block averaging;
- humidity correction of sensible heat flux from sonic temperature measurements;
- correction for mass imbalance (Webb et al., 1980);
- correction for spectral losses (Horst, 2003).

In data analysis we checked stationarity conditions using three tests: the test proposed by Foken and Wichura (1996) with a critical value of RNFW = 0.3; the non-stationarity ratio, NR, given by Mahrt (1998) with a critical value of NR = 2; and the relative covariance stationarity criterion introduced by Dutaur et al. (1999) with a critical value of the relative covariance stationarity coefficient, RCS = 0.5.

Results and discussion

The measurements of the turbulent fluxes and other meteorological parameters started in Kopytkowo in November 2012. Present analysis covers more than one year of continuous measurements November 2012 – January 2014. The winter 2012/2013 was relatively cold and long with a negative temperature lasting from the beginning of December 2012 to the end of the first decade of April 2013. The ground was frozen and cover by patches of the snow in this period. In the end of April the mean daily temperature grew to 10-12°C. In summer 2013 the five days mean temperature oscillated between 14°C and

22°C, but the daily maxima exceeded 32 °C at the beginning of August. Since mid-August the temperature regularly dropped to the 0°C at the beginning of December, but it was in general positive to the mid-January when negative values around -15°C was recorded. Precipitation in the analyzed period exhibits typical for the region annual course with lowest totals in winter and the highest summer season (Fig. 2). Still, the highest monthly total, above 135 mm, was recorded in September.

The mean monthly values of the net turbulent flux of methane are positive (upward) and follow the temperature (Fig. 2). The emission in the winter 2012/2013 was on the level $0.02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$. It raised rapidly in May and reached maximum in June – above $0.24 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$. Next it decreased continuously to the level about $0.06 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ in September and remained at this level all Autumn months. In December it dropped by about a half, but because the winter 2013/2014 was milder than the previous one, the net CH_4 flux was in general higher. The total annual methane emission in the year 2013 was on the level $33 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ which gives almost $25 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ of carbon.

The annual course of carbon dioxide is characterized by a negative net flux (accumulation) in the growing season and close to zero or slightly positive

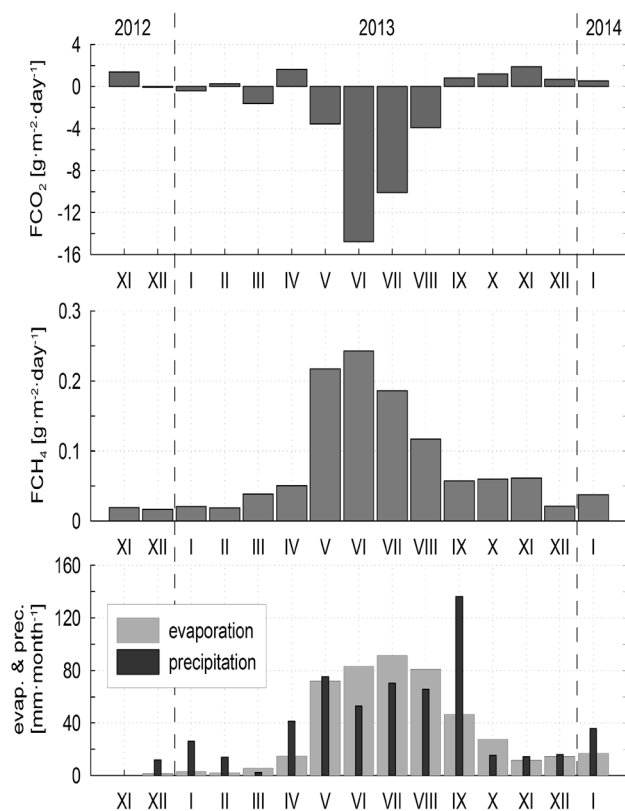


Fig. 2. Mean monthly net flux of CO_2 and CH_4 (positive flux means net emission, negative – uptake) and evaporation vs. precipitation totals in Kopytkowo in the period November 2012 – January 2014

values in the rest of year. The highest accumulation of CO₂, almost 15 g·m⁻²·day⁻¹, was recorded in June, during the most intensive growth of vegetation. In next summer months the absolute CO₂ flux systematically decreased. The total annual CO₂ uptake in 2013 was almost 845 g·m⁻², which gives 230 g·m⁻² of carbon. Comparing the annual emission of carbon in CH₄ and accumulation in CO₂ uptake, the total annual storage of the carbon at Biebrza wetlands can be estimated as about 200 g·m⁻².

The evaporation (H₂O flux) also shows a clear annual course related to the temperature. There is also a clear relation to the precipitation. However, as the swamp Fig. 2 Mean monthly net flux of CO₂ and CH₄ (positive flux means net emission, negative – uptake) and evaporation vs. precipitation totals in Kopytkowo in the period November 2012 – January 2014. Hydrological system the local precipitation is

not necessary a steering variable for the latent heat flux. The highest evaporation, above 90 mm·day⁻¹, was recorded in July. The lowest, close to zero, in the winter months 2012/2013, when the swamp was totally frozen.

Conclusions

The flux measurements with the aid of eddy-covariance method allows to estimate average net turbulent exchange for the area of diameter about 500 m. It allows for more realistic estimation of spatial fluxes than given by other techniques (e.g. chamber method). The longer than one year measurements of the net ecosystem exchange of main greenhouse gases made in Kopytkowo shows that Biebrza wetlands are in general sink of carbon. The emission of carbon in methane is balanced by its accumulation in carbon dioxide uptake during a vegetation season.

Funding for this research was provided by the Polish National Centre of the Science under project UMO-2011/01/B/ST10/07550.

1. Aubinet, M., Vesala, T., Papale, D. (Eds.). Eddy Covariance: a Practical Guide to Measurement and Data Analysis. - Springer, Berlin, 2012. - 460 p.
2. Dutaur L, Cieslik S, Carrara A, Lopez A. The detection of nonstationarity in the determination of deposition fluxes. Proceedings of EUROTRAC Symposium '98. Vol. 2. WIT Press: Southampton, 1999. - P. 171–176.
3. Foken T, Wichura B. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements // Agricultural and Forest Meteorology. - 1996. - 78. - P. 83–105.
4. Grygoruk M., Batelaan O., Okruszko T., Mirosław-Świątek D., Chormański J., Rycharski M. Groundwater Modelling and Hydrological System Analysis of Wetlands in the Middle Biebrza Basin. In: D. Mirosław-Świątek and T. Okruszko (eds.), Modelling of Hydrological Processes in the Narew Catchment. - 2011. - P. 89–109.
5. Horst, T.W. Corrections to sensible and latent heat flux measurements. - 2003. <http://weather.nmsu.edu/pecans/>
6. Kaimal, J.C., Finnigan, J.J. Atmospheric boundary flows. Their structure and measurement. - Oxford Univ. Press, 1994. - 289 p.
7. Mahrt L. Flux sampling errors for aircraft and towers // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 1998. - 1. - P. 416–429.
8. Mauder, M. Foken, T. Impact of post-field data processing on eddy covariance flux estimates and energy balance closure // Meteorol. Z. - 2006. - 15. - P. 597–609.
9. Okruszko H. Wetlands of the Biebrza Valley, their value and future management. - Polish Academy of Sciences, Section of Agricultural and Forestry Sciences, Warszawa, 1990. - 107 p.
10. Webb, E.K., Pearman, G.I., Leuning, R. Correction of the flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer // Q. J. Roy. Meteor. Soc. - 1980. - 106. - P. 85–100.

ESTIMATION OF CO₂ ASSIMILATION BY MOSSES AT OLOGOTROPHIC PEATLAND ОЦЕНКА ПОГЛОЩЕНИЯ СО₂ МОХОВЫМ ПОКРОВОМ НА ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ

E.A. Dyukarev

E.A. Дюкарев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

Institute of monitoring of climatic and ecological system SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: egor@imces.ru

Soil respiration is an important component of the global carbon cycle and is highly responsive to changes in soil temperature and moisture. Accurate prediction of soil respiration and its changes under future climatic conditions requires a clear understanding of the processes involved.

The measurements of CO₂ fluxes were made at the IMCES SB RAS field station "Vasjuganie" at the Bakcharskoe bog (area 1400 km²) located between the Ikxa and Bakchar rivers. Observations were organized at pine–shrub–sphagnum (PSS) community and sedge–sphagnum fen (SSF) during field campaign from 17 to 24 July 2013. CO₂ fluxes were measured using automatic soil flux system Li-8100A (Li-Cor, USA) with attached opaque chamber. The chamber was installed at plastic cylindrical basement deepened to the peat to 15 cm. The vegetation cover under the chamber consists of mosses only. Exposition time for CO₂ accumulation within the chamber was 5 minutes, but only two first minutes were used for flux calculation. Measurements were automatically repeated each 30 minutes during 5 days at PSS point and 3 days at SSF point. Simultaneous observations of air, surface and peat temperatures, incoming solar radiation, air pressure, air water content, water table level and precipitation were made.

CO₂ fluxes have clear diurnal variations with maximum at night time and minimum at day time (Fig.1). The net CO₂ exchange of terrestrial ecosystems is determined by the difference between C uptake due to photosynthesis and C loss due to soil and plants respiration.

Day-time fluxes reach -3.4 (18:00 17.07.2013) at PSS, and -1.8 μmol/m²/s (11:00 24.07.2013) at SSF. Maximal night-time fluxes (soil respiration plus plant dark respiration) were registered at 2:00 20.07.2013 (4.4 μmol/m²/s) at PSS, and 3:30 24.07.2013 (3.4 μmol/m²/s) at SSF. Analysis of diurnal course of net

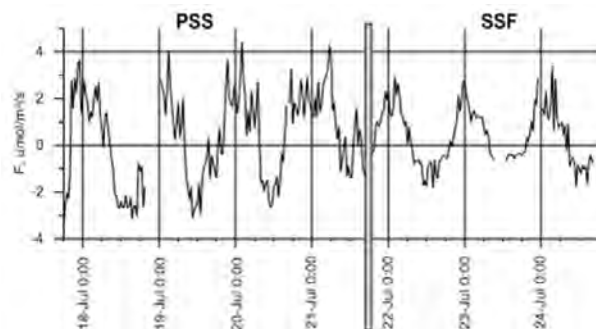


Fig. 1. Net CO₂ exchange at PSS and SSF ecosystems

CO₂ exchange have shown that negative flux (plant assimilation prevails soil emission) observed from 7:30 to 18:30 in average. Diurnal amplitude of net CO₂ flux (4.7 μmol/m²/s) at PSS is higher than at SSF (3.9 μmol/m²/s).

Simple flux model were suggested for description of the observed CO₂ fluxes. The main controlling factor, in this study was soil temperature and incoming solar radiation

$$NEE = (R + H) - Ph, \quad (R+H) = R_0 \exp(k_R T),$$

$$Ph = \frac{\alpha I \cdot P_m}{\alpha I + P_m}$$

NEE - net ecosystem exchange, *R* – soil respiration, *H* – plant respiration, *Ph* – assimilation of CO₂ during photosynthesis. Soil and plant respiration was combined into one flux depended on surface temperature (*T*). Photosynthesis was depended on incoming solar radiation (*I*). Empirical coefficients of the model (*R₀*, *k_R*, *α*, *P_m*) was estimated using the observations of CO₂ fluxes at PSS and SSF ecosystems.

There is good agreement between the model output and the observations in day time but not so good during night period (Fig. 2). Observed night time variations of soil respiration is much more than modeled ones. Soil respiration model should be improved by taking into account gas diffusion process within soil. Daily variation of soil respiration is about 1.5 μmol/m²/s with maximum rate values at 16:00 and minimum at 6:00. Maximal day time assimilation of CO₂ occurs around the local noon and its rate is about 3.8 μmol/m²/s. Using the suggested model, we were able to separate estimations for of soil/plant respiration and photosynthesis rate.

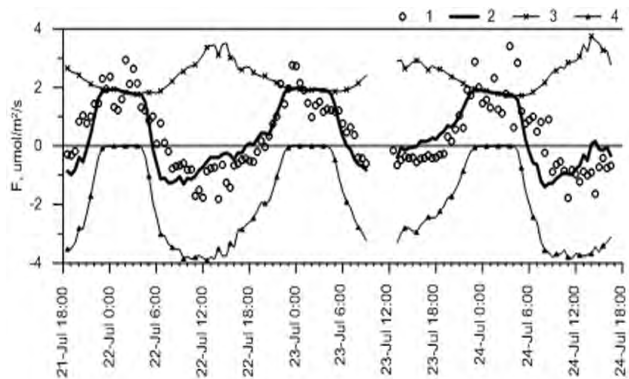


Fig. 2. Observed (1) and modeled (2) fluxes of CO₂ at SSF ecosystem. Plant and soil respiration (3), photosynthesis rate (4)

THE DOWNWARD MOVEMENT OF DISSOLVED ORGANIC CARBON EXISTS IN THE BOREAL PEATLANDS OF WEST SIBERIA

E.D. Lapshina^{1*}, *E.-D. Schulze*^{2**}, *I.V. Filippov*¹, *I. Kuhlmann*²

¹ Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

E-mail: e_lapshina@ugrasu.ru

² Max-Planck Institute of Biogeochemistry in Jena, Germany

E-mail: dschulze@bgc-jena.mpg.de

A younger age of gases (CO₂, CH₄) compared to the surrounding peat at the same depth of 500 and 2000 yearshas has been reported from several boreal and temperate peatlands in North America and Europe (Charman et al., 1994, 1999; Clymo & Bryant, 2008). It is suggested that downward transport of younger carbon as dissolved organic carbon (DOC) exist which decompses easier that peat. Indications that dissilved carbon originating from younger peat may have infiltrated to deeper strata have been also found in a dating studies of peat fragments (Törnqvist et al., 1992; Nilsson at al., 2001). The presence of ³H and tritium from nuclear tests at in peat pore water of greater depth has confirmed that the water precipitated after 1950, when thermonuclear testing began (Aravena et al, 1993; Charman et al., 1994, 1999). This fact suggests significant role of movement of dissolved organic carbon in peat deposits and export of carbon outside of peatlands with ground water.

In this study we attempt to examine the hypotesis that similar processes occure in the continental environment conditions of Western Siberia. At present there are no data to estimate the age of DOC and its contribution to regional giogeochemical cycles in Siberia.

In order to study carbon balance and the movement of DOC in peatlands knowledge about mire typology, peat stratigraphy, bulk density, carbon concentrations are needed. Here we investigate the diversity of peatland types and deposits in relation to carbon cycle.

Study area

The investigatons were carried out in boreal forest zone in eastern part of West Siberia adjoining to the left bank of Yenissey River between its two left tributaries – Sym and Dubches Rivers (60°02' – 61°00' N, 88°05' – 89°56' E). The area is covered by 40% by peatlands. Mean annual temperature according the nearest Bor weather station (61° 06' N, 92° 01' E) was – 3.6°C between 1936 and 2012. Mean annual precipitation was 554 mm, about 265 falling at temperatures >5°C.

Methods

29 peat cores were collected on representative wetland sites. Macrofossils, C concentrations and bulk density were measured at 10 cm intervals along the cores.

In each peat core a basal 1 cm slice lying immediately above the peat-mineral interface were taken for radiocarbon analysis. For 9 peat cores the samples for ¹⁴C age determination were taken contiguously every half meter.

Radiocarbon measurements using AMS ¹⁴C method were carried out in MPI of Biogeochemistry in Jena (Germany). We separate dissolved organic carbon (DOC) from particulate organic matter (POM) of peat by centrifugation. ¹⁴C was measred of DOC (< 1,6 μm fraction) and of POM (< 35 > 1,6 μm) from the same samples. For peat sequestration chronology only calibrated ¹⁴C dates of POM-age were used.

Results

Based on macrofossils 5 main types of peat deposits were distinguished:

I – **Shallow ombrotrophic sphagnum peat deposit** representing mordern paludification of raised bogs on sandy soils. Peat profiles originate from poorly to moderately decomposed sphagnum moss. Only shallow basal layer (0.1–0.2 m) of deposit is formed often from well decomposed transitional cotton-grass-wood peat. The average peat depth is 0.8 meter; the maximal depth recorded was 1 m.

II – **Mixed type of peat deposits** in the centres of origin of well-developed raised bogs composed from three (low, transitional and ombrotrophic) peat layers reflecting the change of peatland vegetation with changing of water and nutrient condition during the Holocene. The lowest layer (0,5–1 m thick) originates from brown moss, sedge-moss or herbaceous peat. This vegetation was replaced by transitional *Scheuchzeria* or *Scheuchzeria*-sedge-sphagnum moss peat. At a later stage Sphagnum peat accumulated as raised bog. The peat thickness ranges between 2 and 5 meters. The average peat depth is about 3 m.

III – **Low and transitional (sedge-moss) peat deposits** associated with minerotrophic sedge-moss through-flow fens which changed into the transitional sedge-sphagnum bogs. The constant water and nutrient conditions during the whole period of peat accumulation caused the homogenous peat deposit composed by herbs, sedges and brown mosses. Only upper layer (0.1-0.2 m) is composed by sedge-sphagnum moss. Rarely the whole deposit is formed from moderately decomposed

transitional *Scheuchzeria*-sedge peat. The thickness of peat deposits varies between 0.5 and 2 meters. The average peat depth is 1.5 m.

IV – Herbaceous & herb-sedge-wood peat deposits developed on wetlands without trees and on wooded fens located in the old river valleys. The peat profiles consist of changing herb-sedge remains. Only upper part (0.5–0.8 m) is sometimes represented by woody peat. The average peat depth is about 4 meter; the maximal depth recovered was 5.6 m.

V – Shallow low sedge-wood peat deposits on the loamy soils, combined with the paludified forest vegetation widespread on the young left terrace of Yenisey River. These deposits are formed by dense and well decomposed tussock sedge-wood peat. The thickness varies between 0.2 and 1.5 meters. The average peat depth is about 0.5 m.

The radiocarbon ^{14}C dates measured as particulate organic matter (POM) show a maximum age of 12 000 yr BP in the old valleys (e.g. Dubches River). Upland from river valleys lake sediments of 0.5–1.0 m thickness were accumulated between 13 000 and 11 000 yr PB. The main fen peat accumulations started 10300 – 9500 yr BP.

The peat profiles show that minerotrophic fens dominated during the whole Holocene. First raised bogs appear about 1000 yrs ago. Presently 80 % of the wetlands are covered by *Sphagnum*-*Pine* communities ('ryams'). About 7 % is occupied by transitional bogs. 12.4% remain as fens.

DOC – POM ages

^{14}C dating of DOC and POM indicates that radiocarbon ages of DOC are mostly 300 to 4000 yr

younger than those of POM. The age difference increases with the depth (Fig. 1).

The maximal age differences recorded between DOC and POM was 5370–6500 years at the peat base. This can only be explained if young dissolved organic carbon transported downwards due to water movement. The results confirm studies from Western Europe and Canada, but differences were larger in this study.

Only in the upper 1 m peat layers mostly of moss dominated peat the age of DOC was 180 to 1775 years older than POM. The maximal difference in upper layers was recorded 2620 years. This fact suggests that DOC may principally move up and down.

There is a linear relation between DOC and POM (Fig. 2, $y = 593 + 0.66x$, $r^2 = 0.84$) with slope of about 0.66. Thus there is a constant loss of DOC proportional to age.

Depth – POM-age relation

Peat accumulation rate was not constant during the Holocene. The relation between peat depth and POM-age is described by three linear regressions. In the early Holocene (12 500 and 9 000 cal. BP) lake sediments and low peat deposits originate from old valleys (e.g. Dubches River) accumulated at a rate of 0.8mm yr^{-1} (Fig. 3, A).

Lake sediments and peat developed outside of old river valleys accumulated at constant rate of 0.2mm yr^{-1} since 14000 years (Fig. 3, B). The same peat accumulation rate is typical for the river valley peatlands since 9 000 cal. BP.

There is an indication of the most rapid peat accumulation rate about 2.0mm yr^{-1} over the last 1000

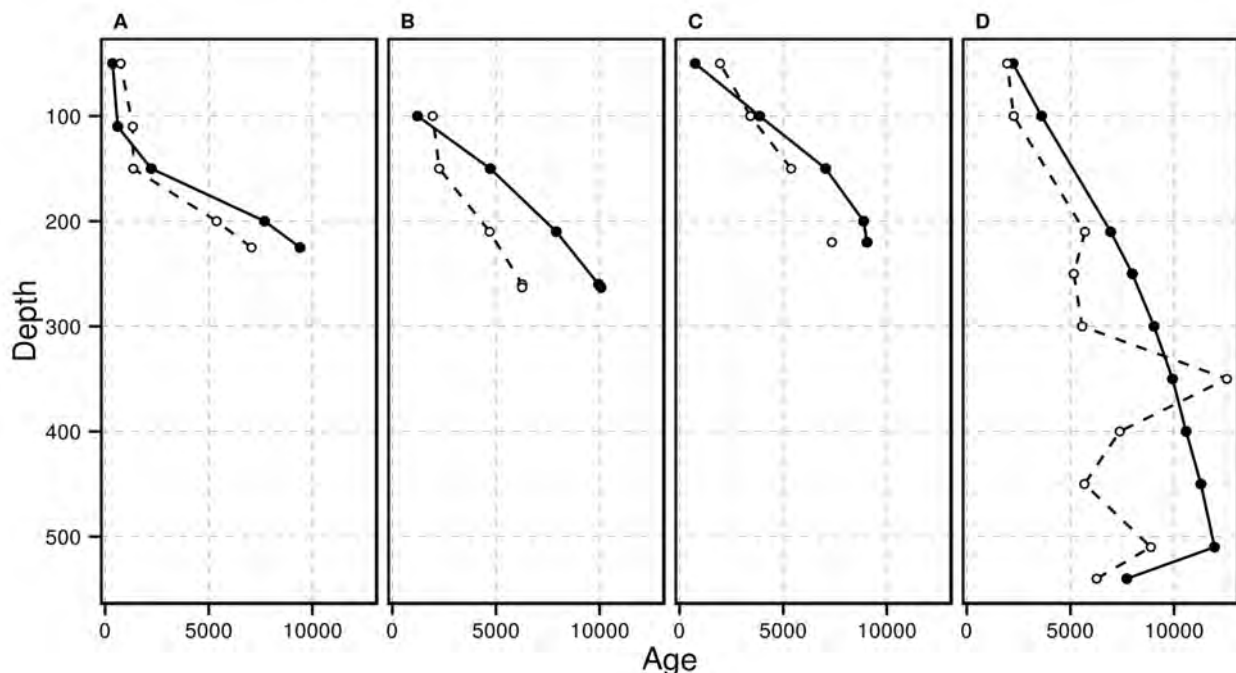


Fig. 1. Relationship between age and depth in individual peat cores: A – mixed peat deposit under raised bog; B, C – low through flow fen deposits, D – low herbaceous-wood fen deposit in old river valley. Radiocarbon dates: DOC age (black circles), POM age (light circles)

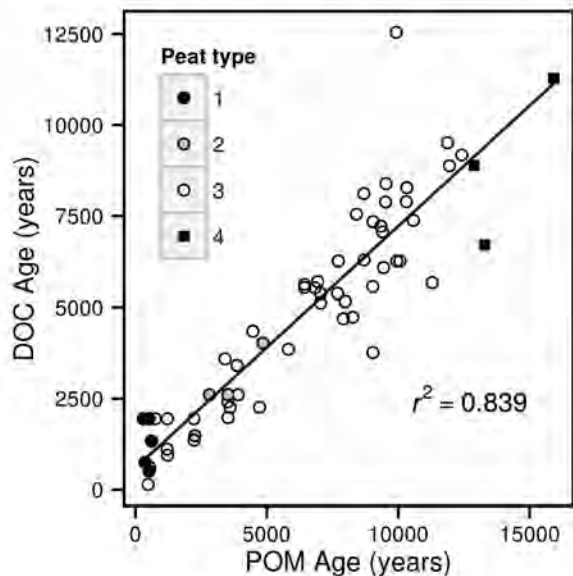


Fig. 2. Linear relationship between DOC- and POM-14C ages with RMA regression. Peat types: 1 – raised bog, 2 – transitional bog, 3 – fen; 4 – lake sediments

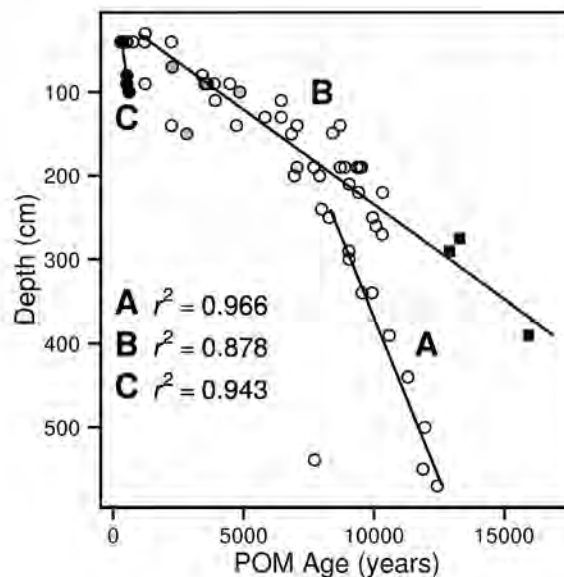


Fig. 3. Relationship between POM-14C age and peat profile depth

years, when the ombrotrophic raised bogs were appeared (Fig. 3, C).

Conclusion

This study confirms the existence of movement of dissolved organic carbon in boreal peatlands even in the continental environment of West Siberia. It has been found that DOC may transported in vertical direction throughout the peat profiles both up and

downwards, but downwards flow has been dominating during the long-term peat accumulation time.

The DOC movement in peat deposits is likely to be a significant component in the overall C budget of majority of peatland types and carbon export via discharge to ground water flow may be an important component, which underestimate in the most estimates of contributions to the carbon.

1. Aravena R., Warner B. G., Charman D. J., Belyea L. R., Mathur S. P. and Dinel H. Carbon isotopic composition of deep carbon gases in an ombrogenous peatland, northwestern Ontario, Canada // Radiocarbon. - 1993. - 35. - P. 271–276.
2. Charman D. J., Aravena R. and Warner B. G. Carbon dynamics in a forested peatland in north-eastern Ontario, Canada // J. Ecol. - 1994. - 82. - P. 55–62.
3. Charman D. J., Aravena R., Bryant C. L., Harkness D. D. Carbon isotopes in peat, DOC, CO₂, and CH₄ in a Holocene peatland on Dartmoor, southwest England // Geology. - 1999. - 27. - P. 539–542.
4. Clymo R.S., Bryant C.L. Diffusion and mass flow of dissolved carbon dioxide, methane, and dissolved organic carbon in a 7-m deep raised peat bog // Geochimica et Cosmochimica Acta. - 2008. - 72. - P. 2048–2066.
5. Nilsson M., Klarqvist M., Bohlin E., Possnert G. Variation in ¹⁴C age of macrofossils and different fractions of minute peat samples dated by AMS // The Holocene. - 2001. - 11. - P. 579–586.
6. Törnqvist T.E., de Jong A.F.M., Oosterbaan W.A., van der Borg K. Accurate dating of organic deposits by AMS ¹⁴C measurement of macrofossils // Radiocarbon. - 1992. - 34. - P. 566–77.

GREENHOUSE GASES EXCHANGE AT WETLANDS – METHODOLOGICAL CONSIDERATIONS ON THE EXPERIENCE OF ONE YEAR EDDY COVARIANCE MEASUREMENTS AT BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND

Włodzimierz Pawlak, Krzysztof Fortuniak, Joanna Wibig, Piotr Piotrowski

Department of Meteorology and Climatology, University of Łódź, Poland

Introduction

A precise measurements of greenhouse gases (water vapour, carbon dioxide, methane etc.) exchange between the surface and overlying air play a vital role in the understanding of their cycle in the environment and their influence on global warming. New measurements techniques, such as eddy covariance, allow obtaining the long-term measurements of net turbulent fluxes of these gases. The results of measurements allows analyzing of intensity and directions of greenhouse gases exchange in different time scales i.e. day, season, year or even multi-year periods. The appearance of commercially available measurement systems, that took place about 20-30 years ago, contributed to the many research campaigns, whereby the variability of water vapour and carbon dioxide turbulent fluxes has been fairly well understood. Nevertheless, the number of sites where turbulent methane flux is measured is still small. It is a result of low availability of fast-response gas analyzers that have been commercially available for a few years. Since wetlands of temperate and subpolar latitudes, except for rice fields placed in the tropics, are the largest source of methane in the world, most measurements campaigns have been conducted there. The aim of this paper is to present the results of net turbulent methane flux measurements, conducted in the largest wetland area in Poland i.e. Biebrza National Park. In spite of the fact, that eddy covariance method has many advantages (accuracy, the measured values are representative for certain space not just one point), developed methodology, data postprocessing and quality control put some doubt into it. Hence, the main purpose of this paper is to discuss the selected methodological problems connected to net turbu-

lent methane flux measurements by means of eddy covariance.

Site and instrumentation

Department of Meteorology and Climatology, University of Lodz started the measurements of net turbulent methane flux in fall of 2012. The measurement site is located in Kopytkowo (53°35'20"N, 22°53'31"E, 110 m asl) at the southern edge of Czerwone Bagno (fig. 1, left and middle), in the centre of Biebrza wetlands. Biebrza National Park was raised to protect the largest natural wetland inside the borders of Poland. The Park itself covers the area of about 592 sq km wherein 255 sq km is occupied by swamps, 182 sq km by grasslands and agriculture and 155 sq km is occupied by forests. In the surroundings of the measurement site the typical for whole Biebrza wetlands mixture of sedges and rushes (fig. 1, right) can be found. The surface is rather flat and homogeneous except for the three houses located in Kopytkowo about 500 m to the south from the site.

The measurements are conducted with typical eddy covariance system consisting of sonic anemometer RMYoung 81000 (RMYoung, USA), Li7500 (H₂O/CO₂) and Li7700 (CH₄) fast response open path gas analyzers (Li-cor, USA). The sensors are mounted at 3.7 m height and operate at 10 Hz frequency. Despite the eddy covariance, additional sensors for measurements of the radiation balance components and standard meteorological parameters have been deployed (fig. 1, right).

Results and discussion

All data covering the periods with precipitation and atmospheric sludge have been omitted in further calculations. This step was essential as open path sensors have been used. According to

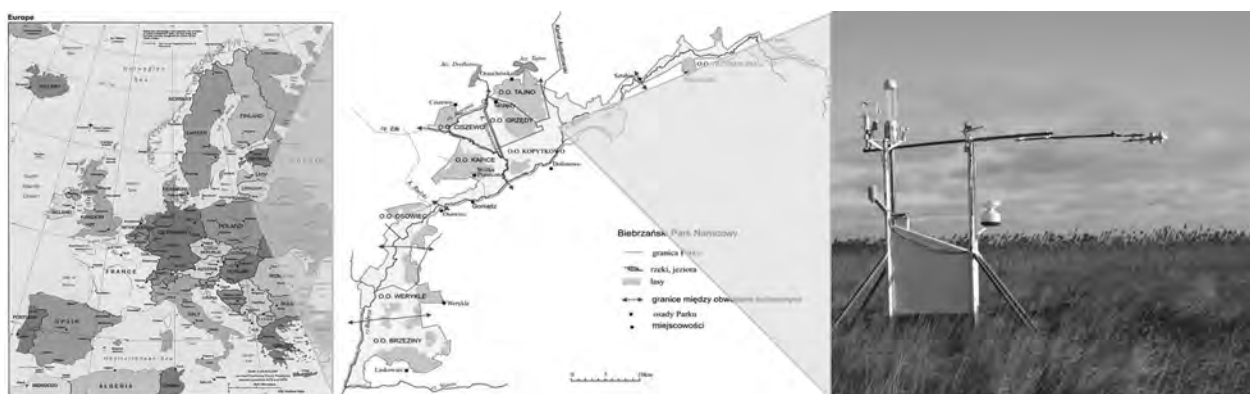


Fig. 1. Site location (left), map of The Biebrza National Park (middle) and measurement site photo (right)

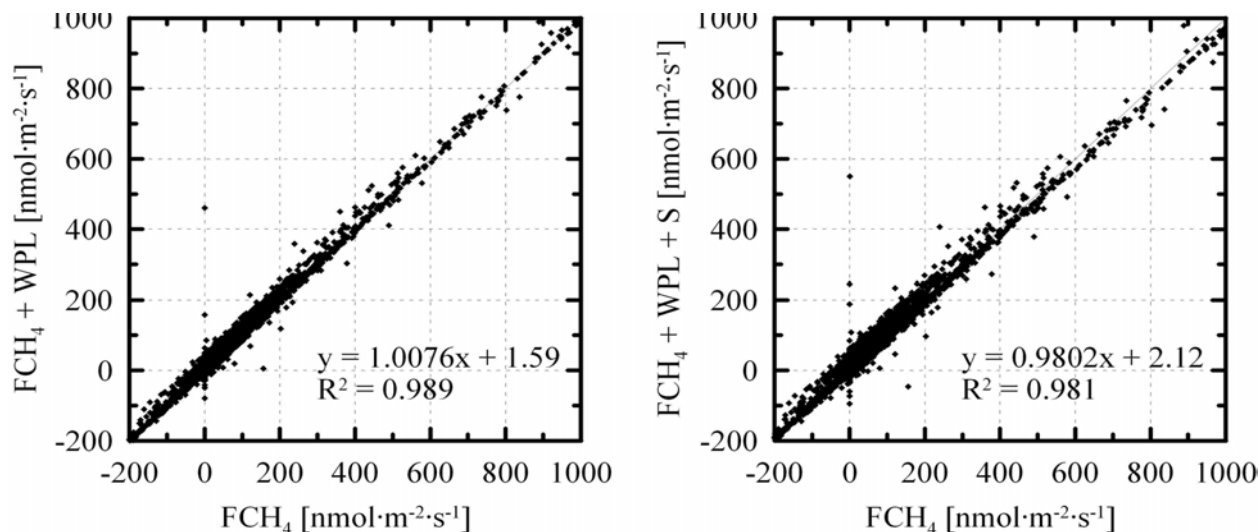


Fig. 2. Comparison of net turbulent methane flux without correction (FCH_4), with WPL correction added ($FCH_4 + WPL$) and WPL + spectroscopic correction added ($FCH_4 + WPL + S$). All good data from the period November 2012 – February 2014 has been used.

theoretical background of eddy covariance, turbulent methane flux is computed as a covariance between fluctuations of vertical wind speed component and methane concentration in the air. Despite the relative simplicity of measurements and flux calculations the expanded data postprocessing (spikes detection, covariance maximization, coordinate system rotations etc.) and data quality control is necessary. One of the most important steps in data processing is the application of correction for air density changes (so called WPL). The lack of WPL correction would result in a flux overestimation of about 1% (fig. 2, left).

In contrary to carbon dioxide and water vapour fluxes measurements, for methane flux the additional correction connected with spectroscopic influence of temperature, air pressure and water vapour (Li7700 manual) is vital. The lack of this correction results in flux overestimation of about 2% (fig. 2, right). Another important issue is the choice of averaging period. The most commonly used intervals cover the

range from 15 to 60 minutes, however, the choice is based on subjective decisions. The different averaging times applied for the same dataset may result in a great difference in the ultimate fluxes (fig. 3). The comparison of nearly 1-year time series, averaged with different periods, indicates that shortening of time interval results in the flux overestimation.

Except for the choice of the proper averaging period while processing eddy covariance data, one must answer the question what kind of average should be use. For ideally homogeneous turbulence in space and time the choice is not a matter, however, in real conditions the turbulence intensity alters simultaneously with diurnal course of thermal heating of the surface and air, the surface influence on wind speed etc. For such conditions the classical average, for instance may be replaced with running average. The cut-off of some signal frequencies and decrease of time series length is a disadvantage of such an approach. On the other hand the trend that

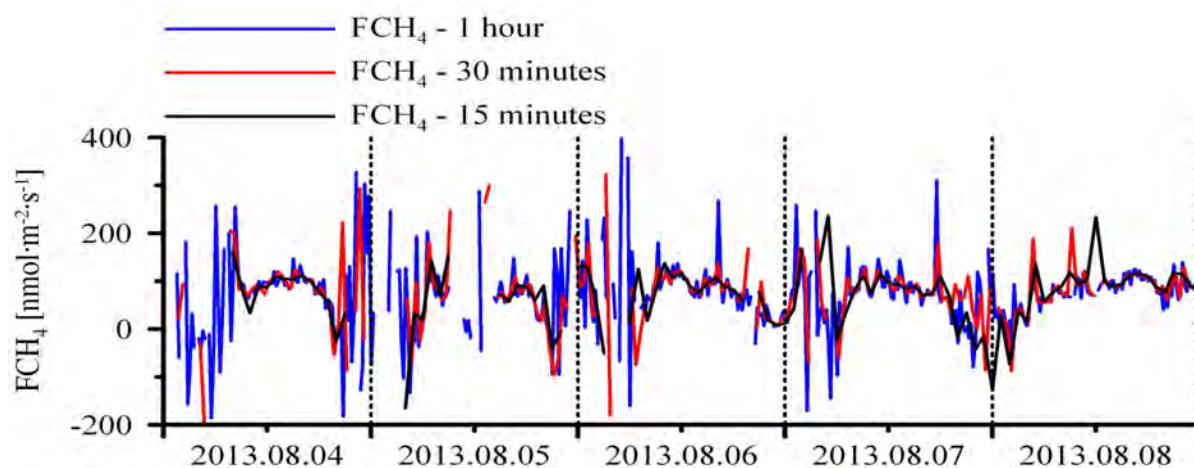


Fig. 3. FCH_4 flux measured with different averaging periods in the period 4 – 8 August 2013

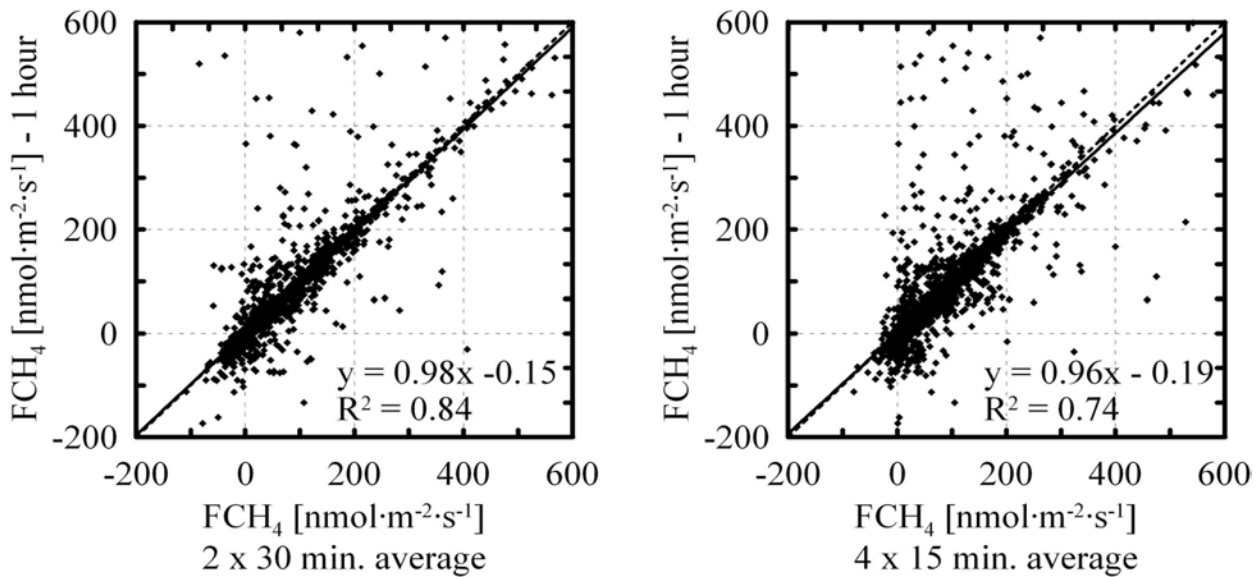


Fig. 4. Comparison of FCH_4 calculated 1 hour and 30 minutes averaging periods (left) and 15 minutes averaging period (right)

is present in fluctuations data is eliminated. In figure 4 (left) the time series of FCH_4 flux from several days derived from classical average and with application of detrending (moving average) are shown. Application of the detrending results in more regular course of FCH_4 . In figure 4 (right) the comparison between FCH_4 from the period November 2012–February 2014 computed with classical and running averages is shown. It appears that the detrending results in flux underestimation of about 25%.

Additional problems are introduced during the data quality control. The most important procedure of data quality control is raw data testing for steady-state conditions. It is performed via computation of the tests statistics that are next compared with limiting values. So data are rejected if a test statistic exceeds those values. The most frequently used is the test presented by Foken; however the tests by

Mahrt and Dutuar (modified by Affre) are applied as well. The essential issue is the choice of the test boundary value. Some researchers apply the values proposed by tests authors. On the other hand, many researchers use their own limits, as those previously published seem to be too restrictive and reject even proper data. Additional difficulty results from the fact that above mentioned tests frequently gives completely different results.

In figure 6 the course of FCH_4 in the period 4 – 8 August 2013 is shown (dotted line). Data for which at least one stationarity tests indicated steady-state conditions have been drawn with solid line and data which passed all stationarity tests was drawn with bold solid line. It can be clearly seen that too restrictive approach to the data quality control results in significant decrease of the number of data available for further analyses. In the period November

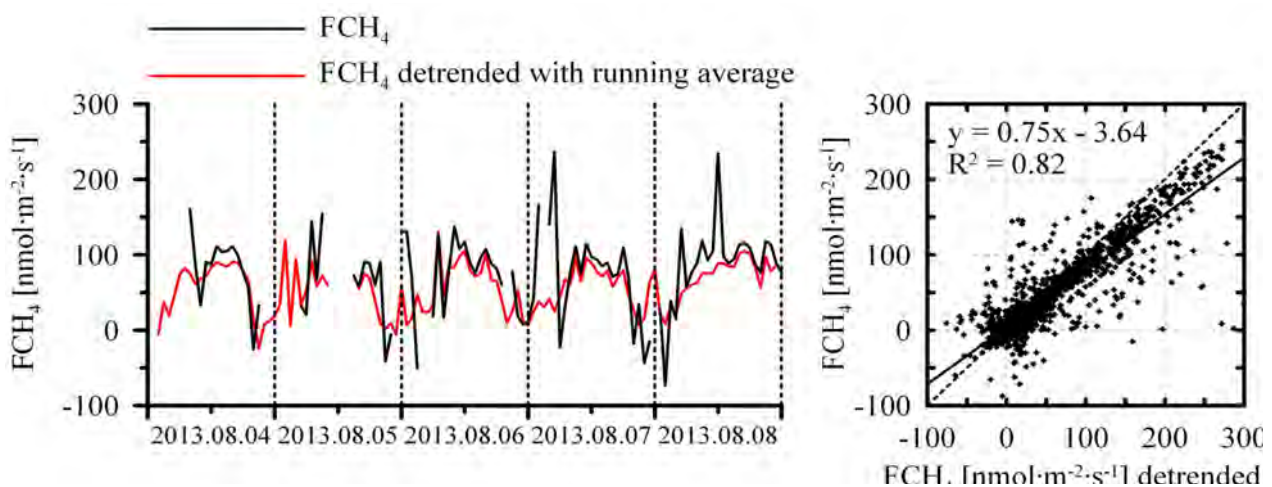


Fig. 5. Methane net flux FCH_4 calculated with block averaging (black line) and with detrending (red line) in the period 4 – 8 August 2013 (left) and comparison of FCH_4 calculated with block averaging and with detrending in the period November 2012 – February 2014

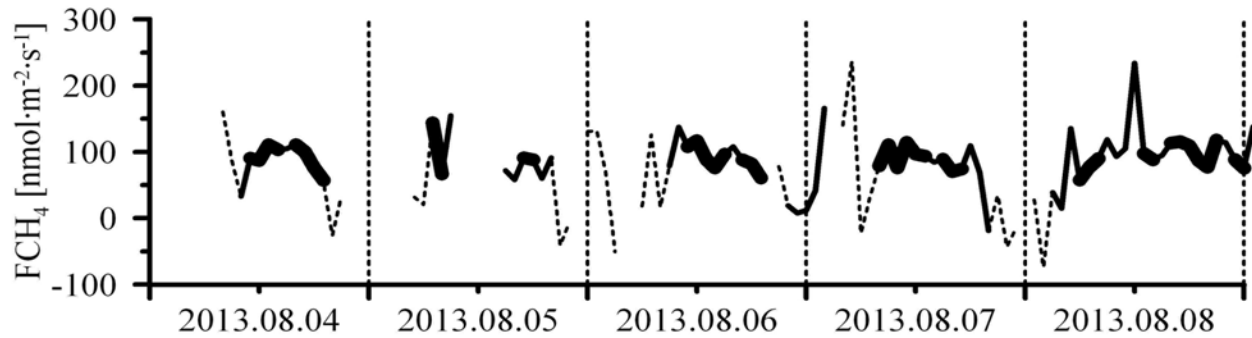


Fig. 6. Methane net flux FCH_4 measured in the period 4 – 8 August 2013. Dotted line - all data, solid black line – at least one test suggest stationary, bold black line – three different tests suggest stationary

2012-February 2014 about 85% passed at least one stationarity tests, but only about 38% passed positively all of the tests.

Summary

Despite the fact, that the methodology of eddy covariance is well developed, selected issues of the measurements described above, indicates that in case of turbulent fluxes of greenhouse gases, methane especially, still need to be systematized.

Some of the considered methodological issues are connected with relatively small (1-2 %) errors in flux computation (the lack of WPL and spectroscopic correction, averaging period), while the others can be combined with significantly larger errors (detrending, stationarity tests of 10Hz raw data). Since any of the problems discussed above cannot be avoided, the ultimate results reflect their combined impact.

Funding for this research was provided by the National Science Centre under grant no. 2011/01/B/ST10/07550 in the years 2011 – 2014.

1. Li-7700 Open Path CH_4 analyzer. Instruction Manual. Li-cor Biosciences, Lincoln, Nebraska, USA, 2011.
2. Aubinet M., Vesala T., Papale D. Eddy Covariance. A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. - Springer, 2012. - 438 p.
3. Burba G., Anderson, D. A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements, Li-cor Biosciences, 2010. - 212 p.
4. Foken T. Micrometeorology. - Springer, 2008. - 306 p.
5. Fortuniak K. Radiative and turbulent components energy balance of urban areas (Łódź case study). - University of Łódź Press, 2010. - 233 p. (in polish).
6. Lee X., Massman W., Law B. Handbook of Micrometeorology. A Guide for Surface Flux Measurement and Analysis. - Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.
7. Pawlak W., Fortuniak K., Siedlecki M. Carbon dioxide flux in the centre of Łódź, Poland – analysis of a 2-year eddy covariance measurements data set // International Journal of Climatology. - 2011. - 31. - P. 232-243.
8. Webb E. K., Pearman G. I, Leuning R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. - 1980. - 106. - P. 85-100.

SELECTED ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE GREENHOUSE GASES MEASUREMENT SITE AT WETLAND OF THE BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND

Maciej Ziulkiewicz^{1*}, Jacek Forysiak^{1}, Anna Fortuniak^{1***}, Krzysztof Fortuniak^{1****}, Marek Kloss², Daniel Okupny³**

¹ Faculty of Geographical Science, University of Łódź, Poland

*E-mail: macziul@uni.lodz.pl

**E-mail: jacekfor@interia.eu

***E-mail: afort@geo.uni.lodz.pl

****E-mail: kfortun@uni.lodz.pl

² University Kardinal Stefan Wyszyński, Warsaw, Poland

E-mail: m.kloss@wp.pl,

³ Institute of Geography, Department of Sustainability and Development of the Geographical Environment, Pedagogical University of Cracow, Poland

E-mail: danek_1985@o2.pl.

The carbon circulation between the earth and the atmosphere is one of the most important mechanisms affecting the climate changes and variability. Wet ecosystems plays an important role in this circulation as they accumulate about 30% of the whole soil carbon, even if they occupy relatively small part of the land (Gorham, 1991). Moreover, wetlands affect climate in local and global scale due to specific energy balance with high portion of the latent heat. Consequently, studying a gas exchange between wetland and the atmosphere is important in the context of the observed global environmental changes. However, the quantitative information of net ecosystem exchange of main greenhouse gases (CO₂, CH₄ and H₂O) is limited for Central European wetlands. It was a motivation for setting in November 2012 a new measurements site located within the biggest in the region wetland at the area of Biebrza National Park in north-east Poland. The Park established to protect unique environment of wetland in the biggest peatland in Eastern Poland. The main task of the site is to collect the long-term flux data measured by the open-path eddy-covariance system. The selected environmental characteristic of the site are presented below as a proxy information in further analysis of turbulent exchange of main greenhouse gases.

The Biebrza National Park is the biggest one in Poland with total area of about 592 km² wherein 255 km² is covered by swamps, 182 km² by grasslands and agriculture and 155 km² by forests. Three major morphological units can be selected in the Biebrza Valley: Upper, Middle and Lower Basin. The area of interest is located in the middle part of the Biebrza Valley close to the small village Kopytkowo. The measurement site is located at the periphery of the famous mire called "Czerwone Bagno" near to the village Kopytkowo (53°35'30,8"N, 22°53'32,4"E). Middle Basin of the Biebrza River represent post-glacial, marginal basin between Upland Goniądz in

the south and Elk Lakeland in the north. This area is drained by the Biebrza River and flowing from the north toward the Elk and Netta River. Additional elements of the hydrographic network are: Augustowski, Woźnawiejski and Rudzki channels. Between the lower section of the Elk River and connecting Augustowski channel with Biebrza River operates the small stream – Kopytkówka, at less than 8 km length. Kopytkówka river once constituted a peatland drainage network element extending between dunes complex Grzędy and the village Kopytkowo, also situated on the flat, sandy elevation. Middle Biebrza Basin is a fen complex, in groundwater flow influx zones were created patches of rush peatland (Żurek, 1991).

A period of several decades, agricultural development of mires has caused strong peat decomposition in the upper catchment of Kopytkówka, whereas in the lower part it transformed into muck (Grygoruk et al., 2011). In the past few years there has been flooding this part of the Biebrza basin and succession of peat forming vegetation.

The objective of the geological and geochemical analyses of the biogenic deposits was to reconstruct the conditions of deposition of the sediments. During the field works four biogenic sediment cores were also taken by means of an Instorf corer (Russian sampler). Other works included: plant macrofossils analyses, sampling in laboratory conditions (the cores were divided into sections with a length from 5 cm to 2.5 cm. A total of 70 biogenic sediment samples were taken from the K-1 core. Their analysis covered: identification of basic components of biogenic deposits, i.e. organic matter (loss on ignition), calcium carbonate, terrigenous and biogenic silica (sample dissolution in hydrochloric acid and potassium hydroxide), and reaction (potentiometric method – in distilled water). The K-1 sediment core is located directly next to the measurement point, about 2 m to the south. At this point the thickness

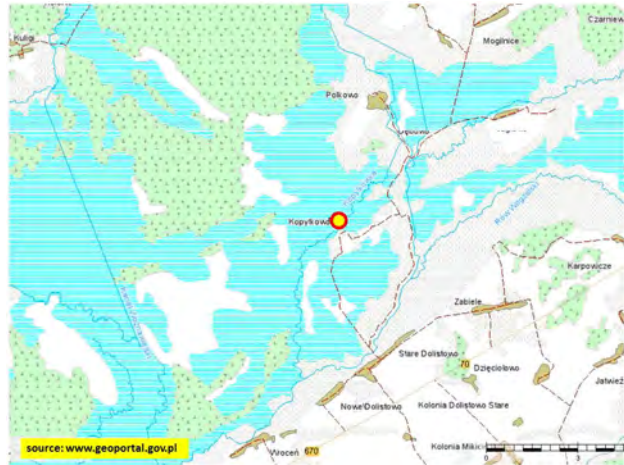


Fig. Location of the Biebrza National Park in Poland (upper left), measurement site in Kopytkowo in the middle Biebrza Basin (upper right) and a view at the site (lower plot)

of organic deposits is 170 cm. In the upper part of core was documented poorly decomposed peat with a high content of organic matter (60–80%). Below (20–80 cm) peat is highly decomposed and partly mineralized, with sand additives (organic matter content – 15–40%). From a depth of 80 cm to 140 cm was deposited peat with admixtures of sand and mud (increasing downward). Below appears mineral-organic silt from the remains of plants. The substratum of biogenic deposits is medium- and coarse-grained sand of fluvial origin.

The water feeding of the Middle Basin of the Biebrza shape: rainfall, river flooding and groundwater inflow from the north (Grygoruk et al., 2011). Biebrza Valley is a regional zone of drainage water-bearing, Cenozoic deposits bed. This structures occurred in uplands areas (surrounding Biebrza basin) as intermoraine or till-covering bodies (Falkowski and Złotoszewska-Niedziałek, 2008).

Preliminary hydrochemical studies suggest two periods of water feeding in Kopytkowo:

- the dominance of groundwater which was hydrochemically transformed by shallow filtration in organic matter – far inflow from the north;
- the dominance of flood waters from Kopytkywka river – a close inflow from the south.

The first type of inflow dominates in summer and autumn. It is characterized by increased mineralization of water. The water is deprived of nitrate and sulfate, it is enriched in carbohydrate, and contains relatively large amounts of dissolved organic carbon and aggressive carbon dioxide.

The second type of water occurs in late winter and spring, and the waters is characterized by a low mineralization, small amounts of sulfates, smaller amounts of carbohydrate and aggressive carbon dioxide. Middle inflow and location near permanent human settlements makes increasing concentrations of mineral nitrogen with nitrates.

Very preliminary measurements of Eh of water, in both the ceiling and the floor of peat layer, in the area of the Kopytkowo site indicate substantially

neutral pH reaction and low reducing conditions (above – 150 mV), far from methanogenesis.

For some years the natural area around Biebrza River suffer for partially draining due to irrigation systems. Recently there are some afford to re-cultivate

original water system. For that reason biological and chemical processes at the area can differ from other wetlands. The problem is typical for a large part of western Poland where irrigation made a few decades ago altered natural ecosystem.

Funding for this research was supported by the Polish National Centre of the Science under project UMO-2011/01/B/ST10/07550.

1. Falkowski T., Złociszewska-Niedziątek H. Rozpoznanie budowy geologicznej dla hydrogeologicznego modelu zasilania torfowiska rezerwatu Czerwone Bagno [Ascertainment of the geological structure for the Czerwone Bagno Reserve underground water feeding model]. - Biuletyn PIG, 2008. - 431. -P. 35-40 (in Polish).
2. Gorham E. Northern peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming // Ecol. Appl. - 1991. - 1. - P. 182–195.
3. Grygoruk M., Batelaan O., Okruszko T., Mirosław-Świątek D., Chormański J., Rychalski M. Groundwater Modelling and Hydrological System Analysis of Wetlands in the Middle Biebrza Basin. *In*: D. Mirosław-Świątek, T. Okruszko (Eds.) Modelling of Hydrological Processes in the Narew Catchment. - Geoplanet: Earth and Planetary Sciences, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. - P. 89–109.
4. Żurek S. Geomorfologia Pradoliny Biebrzy. - Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1991. - 372. - P. 29–62 (in Polish).

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФИТОЦЕНОЗА НА АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ
НАРУШЕННОГО ВЕРХОВОГО БОЛОТА**
**INFLUENCE OF PLANT COMPOSITION ON MICROBIAL ACTIVITY
IN A DISTURBED SWAMP**

Г.И. Булавко*, А.П. Яковлев
G.I. Bulavko*, A.P. Yakovlev

ГНУ Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
SSI Central Botanical Garden of NAS of Belarus, Minsk, Belarus
***E-mail: bulavkog@mail.ru**

На территории Беларуси проводилась добыча торфа как полезного ископаемого. В настоящее время территории, оставленные после разработки, представляют собой медленно зарастающие пустоши. Ход восстановительной сукцессии нарушенных болотных экосистем во многом определяется составом формирующегося фитоценоза. Проведение работ по фиторекультивации с использованием болотных ягодных растений позволяет ускорить темпы восстановления и одновременно использовать территории для хозяйственных целей. Подбор растительного ассортимента для проведения рекультивации целесообразно проводить с учетом влияния вида растения на активность почвенного микробоценоза. Повышение активности микробов может привести к ускоренной деструкции торфяного слоя. Большинство почвенных микроорганизмов – гетеротрофы, использующие прижизненные корневые выделения, корневой опад и опад надземной фитомассы растений, поступающей на поверхность почвы. Состав и количество корневых выделений зависят от вида растения и меняются в течение вегетационного периода. Соответственно в корнеобитаемом слое почвы в зависимости от вида растения формируется микробоценоз с определенным составом и активностью (Аристовская, 1980; Звягинцев, 1987; Самцевич, 1972).

Объектами исследований послужили участки самозарастающей остаточной торфяной залежи и рекультивированные участки, выывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения «Журавлевское» в почвенно-климатических условиях северной агроклиматической области Беларуси. В качестве контроля использован участок с остаточным слоем торфа 70-80 см без растительности, обозначенный как целина. На остаточной торфяной залежи находятся

рекультивированные участки с растениями клюквы крупноплодной и голубики, а также участок самозарастания с пушицей влагалищной в качестве доминанта.

Исследования проведены общепринятыми методами. Для определения биомассы микроорганизмов использован метод субстрат-иницированной респирации (Anderson, Domsh, 1978). Определение потока CO₂ из почвы проведено методом поглощения углекислого газа гидроокисью бария, модифицированного Т.С. Демкиной (Демкина, 1989). Величину метаболического коэффициента вычисляли как отношение скоростей выделения CO₂ из небогатой почвы (V_{basal}) и почвы, в которую внесен избыток доступного субстрата (V_{SIR}), глюкозы, (Q_R = V_{basal} / V_{SIR}) (Ананьева, 2001). Отбор проб проведен с глубины 0-20 см. Повторность определений 3 - 5 – кратная.

В начальной стадии вегетации в вариантах торфяно-болотной почвы с растениями микробная масса была меньше, чем на целине, возможно в связи с более поздним прогреванием торфа под растениями. На последующих этапах наблюдения микробоценоз в почве под растениями характеризовался более высокими показателями массы и различался по величине и ходу сезонной динамики в зависимости от вида растения (табл. 1).

На участке без растений микробная масса в течение вегетационного периода убывала, тогда как в торфяном субстрате под растениями создавались более стабильные условия и запасы микробной массы слабо варьировали весь период наблюдения. Абсолютная величина показателя была, как правило, ниже под дикорастущей пушицей и выше под интрадуцированными ягодными кустарниками относительно целины (табл. 1).

Таблица 1. Величина биомассы почвенных микроорганизмов в торфяно-болотной почве под разными растениями

Вариант	Май	Июнь	Сентябрь
Целина	419,68±14,1	312,1±39,2	281±0,1
Пушица влагалищная	386,58±0,1	283,5±33,4	341,3±14,7
Клюкva крупноплодная	334,28±0,1	366,4±0	326,59±41,5
Голубика узколистная	384,52±15,7	401,4±38,6	362,07±39,1
Голубика высокая	371,95±16,0	342,0±19,9	367,63±0,1

Таблица 2. Дыхание торфяно-болотной почвы под разными растениями, $\text{мкг CO}_2 / \text{г почвы в сутки}$

Вариант	Май	Июнь	Сентябрь
Целина	25,32±1,48	18,19±0,08	13,09±3,09
Пушица влагалищная	7,3±0,75	13,12±0,98	15,7±0,08
Клюква крупноплодная	14,7±0,75	29,62±10,63	22,38±2,42
Голубика узколистная	20,01±0,5	34,59±0,98	32,69±0,86
Голубика высокая	30,08±0,79	30,85±2,67	16,66±3,89

Интенсивность выделения CO_2 из почвы принято считать общим показателем активности почвенных организмов. Выделение углекислого газа из почвы – результат жизнедеятельности всей почвенной биоты. Определения проводятся в лабораторных условиях, вклад корней в дыхание почвы исключается, но сохраняется влияние их корневых экссудатов.

Поток углекислого газа из почвы менялся в течение вегетационного периода и зависел от вида наземной растительности. Характер сезонной динамики дыхания торфяно-болотной почвы в целом совпадал с изменениями величины биомассы, но имел более выраженный вид. В начале вегетационного периода на целине темпы респирации составляли до 25 $\text{мкг CO}_2 / \text{г почвы}$ в сутки. В зоне влияния растений выделение углекислого газа из почвы было достоверно ниже, от 7 до 20 $\text{мкг CO}_2 / \text{г почвы}$ в сутки, за исключением голубики высокой (табл. 2).

В последующие сроки определения на участке без растений (целина) выделение диоксида углерода сокращалось, тогда как на участках с растениями повышалось (в случае с пушицей влагалищной) либо варьировало без определенного тренда. Как правило, под дикорастущим видом пушицей влагалищной абсолютная величина

показателя была ниже, чем на участке без растений, а в торфяном субстрате под интрадуцированными ягодными кустарниками выше (табл. 2).

Коэффициент метаболической активности микроорганизмов отражает соотношение активности дыхания почвы и запасов биомассы физиологически активных микроорганизмов. Его величина варьировала в пределах 0,02 – 0,08, что характерно для низкой метаболической активности микроорганизмов (табл. 3). Для сравнения, метаболический коэффициент, определенный для почв Беларуси, составляет для луговой почвы 0,61, для лесных экосистем – 0,28 – 0,34 (Булавко, 2007). Слабое сокращение этого показателя активности микроорганизмов происходило в течение вегетационного периода на участке без растений. По мере развития растений в ходе вегетации повышалась и активность микроорганизмов. Кустарники создают более комфортные условия для развития микробов, т.к. под ними более стабильны гидротермические условия и более обильно поступление доступного органического вещества в виде корневых выделений, корневого опада и опада надземной части растений. Прослеживалась общая тенденция повышения величины метаболического коэффициента в течение вегетационного периода под ягодными кустарниками на торфяном субстрате, тогда как под пушицей влагалищной величина коэффициента была ниже, чем на целине (табл.3).

Таким образом, растения меняют величину и характер сезонной динамики функциональной активности микроорганизмов: дикорастущий вид пушица влагалищная снижает активность почвенных микроорганизмов, тогда как интрадуцированные кустарниковые виды обеспечивают микроорганизмам более стабильные и благоприятные условия и повышают активность их функционирования.

Таблица 3. Величина коэффициента метаболической активности почвенных микроорганизмов в торфяно-болотной почве под разными растениями

Вариант	Май	Июнь	Сентябрь
Целина	0,05	0,05	0,04
Пушица влагалищная	0,02	0,04	0,04
Клюква крупноплодная	0,04	0,07	0,06
Голубика узколистная	0,04	0,07	0,08
Голубика высокая	0,07	0,08	0,04

1. Ананьева Н.Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям. Автореф. дисс. докт.биол.наук. - Москва, 2001. - 50 с.
2. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. - Л.:Наука, Ленингр.отд, 1980. - 187 с.
3. Булавко Г.И. Редуцентное звено лесных экосистем // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сборник научных трудов Института леса НАНБ. Вып.67. Гомель, 2007. - С.341–350.
4. Демкина Т.С. Определение скорости продуцирования CO_2 почвой в полевых условиях // Агробиохимия. - 1989. - № 2. - С.112–115.
5. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. - М.Изд-во Моск. ун-та, 1987. - 256 с.
6. Самцевич С.А. Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений / Микроорганизмы почвы и растения. - Минск: Наука и техника, 1972. - С.3–67.
7. Anderson J.P.S., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. - 1978. - V.10. - P.215-221.

**ЭМИССИЯ МЕТАНА ТОРФЯНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
METHAN EMISSION FROM PEATLANDS OF TAIGA ZONE OF WEST SIBERIA**

Е.Э. Веретенникова*, Е.А. Дюкарев
E.E. Veretennikova*, E.A. Dyukarev****

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia**

*E-mail: lena2701@yandex.ru

**E-mail: egor@imces.ru

Метан является вторым по значимости парниковым газом, отвечая примерно за 20% прямого компонента радиационного воздействия всех долгоживущих парниковых газов. Одним из основных естественных источников поступления метана в атмосферу являются болота, которые по оценкам IPCC выделяют 115 Мт CH₄/год, что составляет примерно 22% глобальной природной эмиссии.

Выполнена оценка эмиссии метана с поверхности торфяной залежи разных типов болотных экосистем Бакcharского болота (сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза – низкого рьяма, осоково-сфагнуовой топи, грядово-мочажинного комплекса (гряда ГМК и мочажина ГМК).

Измерение эмиссии метана проводилось камерным методом во время полевых экспедиций в мае, июле и сентябре (2012 год), в

круглосуточном режиме – через каждые три часа. Потоки CH₄ измерялись с помощью статистического камерного метода (Glagolev et al., 2001) (объем камеры – 16,6 л., площадь основания – 590 см², время экспозиции от 15 до 30 мин). Изменение концентрации CH₄ (мг/м³/час) в камере рассчитывалось по формуле: $dc=f-10-9 \cdot P \cdot M / (R \cdot T)$, где dc – изменение концентрации CH₄, мг/м³/час; P – атмосферное давление, Па; f – скорость роста объемной концентрации CH₄ в камере, ppm/час; M – молярная масса воздуха, (28,966 г/моль); R – универсальная газовая постоянная – 8,31 Дж/моль/К; T – температура воздуха, К. Величина потока (скорость эмиссии) CH₄ с поверхности торфяной залежи рассчитывалась по формуле: $F = dc \cdot V / S$, где F – скорость эмиссии CH₄, мнCH₄/м²·час; S – площадь основания камеры, м² и V – объем камеры, м³.

Таблица 1. Эмиссия метана (мгCH₄/м²/ч) с различных экосистем ключевого участка за вегетационный период 2012 г.

Экосистемы	Медиана/среднее	Стандартное отклонение	Минимальное	Максимальное
Рям низкий	0,29 / 0,62	1,15	-0,85	2,94
Высокий рям	1,27 / 2,0	3,50	-3,20	9,42
Открытая топь	0,77 / 3,95	6,97	-2,97	27,15
ГМК гряда	0,62 / 0,79	0,80	-0,83	4,92
ГМК мочажина	1,93 / 2,84	2,85	-0,95	4,67
Евтрофное болото	1,34/4,97	9,05	-0,42	34,77

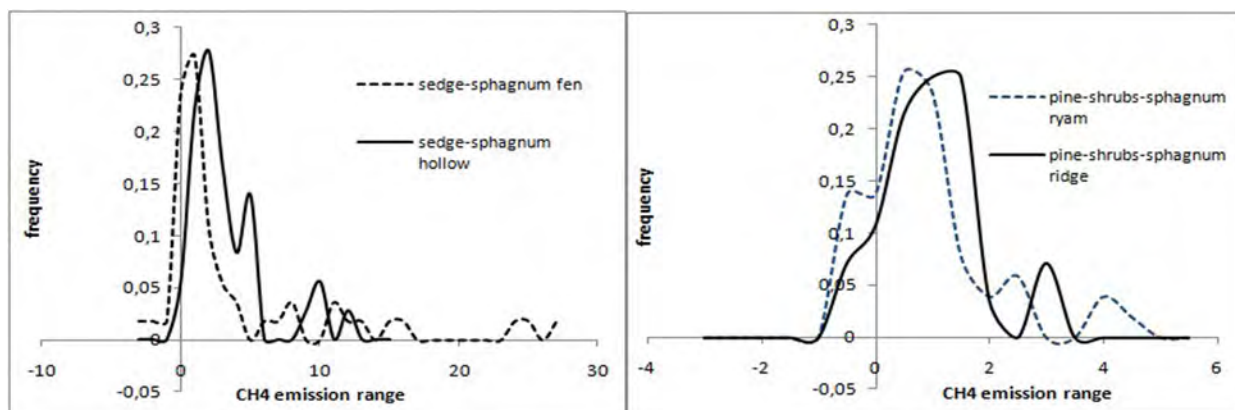


Рис. 1. Ранжированные значения эмиссии метана на различных болотных экосистемах

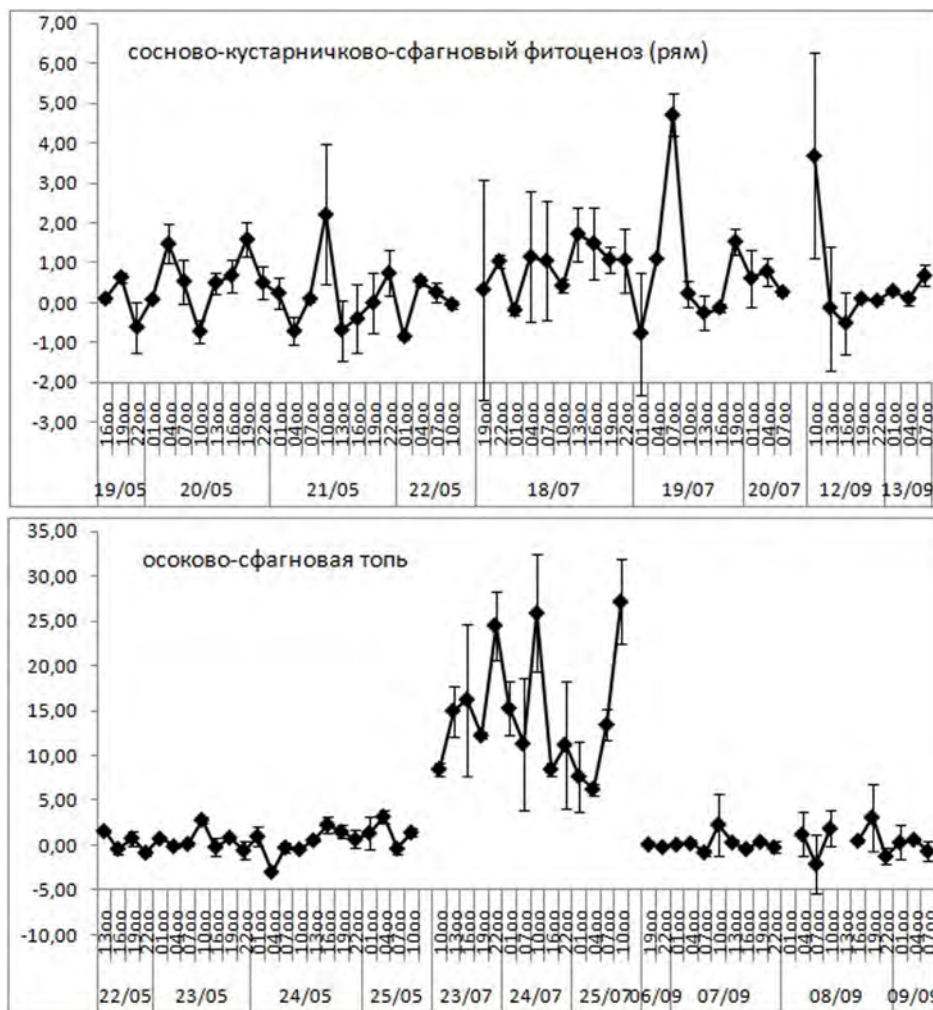


Рис. 2. Сезонный ход эмиссии метана с болотных экосистем Бакчарского болота, 2012 г.

Концентрация CH_4 определялась на газовом хроматографе «Shimadzu GC-14B» с пламенно-ионизационным детектором. Условия определения: газ-носитель – гелий, расход газа-носителя 480 мл/мин, набивная колонка диаметром 2,1 мм и длиной 15 метров заполнена наполнителем Carboxen – 1000, температура колонки – 180°C, проба вводилась шприцом объемом 1 см³.

В исследуемых болотных экосистемах Бакчарского болота скорость эмиссии метана в течение вегетационного периода 2012 г. варьировала от -2,97 до 27,15 мг CH_4 / м² ч. Пространственная

изменчивость эмиссии метана определяется видовым составом растительности. Так, большая интенсивность потока метана наблюдалась с открытых участков болотных экосистем с осоково-сфагнуной растительностью, меньше эмиссия на сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах - низком ряме и гряде ГМК. В таблице 1 приведены результаты пространственной изменчивости эмиссии метана в разных болотных экосистемах за период наблюдений 2012 г. Медианные и средние оценки эмиссии метана сильно различаются. Такой разброс значений может определяться сезонной вариативностью, вызванной сезонными трендами основных факторов эмиссии метана. Стандартные отклонения на рьямах и открытой топи превышают среднюю величину эмиссии в 1,5 раза.

Ранжированные величины эмиссий в течение вегетационного периода

позволяют говорить о том, что эмиссия метана с болотных экосистем с аналогичными фитоценозами имеет один и тот же порядок (рис. 1).

На рисунке 2 показан сезонный ход эмиссии метана на примере открытой топи и низкого рьяма. Как правило на открытых топях и мочажинах существуют статистически значимые различия в оценках величины эмиссии в летний (июль) и переходные сезоны (май и сентябрь). Такой закономерности не прослеживается в рьямах. Наименьшие значения эмиссии

Таблица 2. Оценки потока метана с территории Бакчарского болота

Экосистемы	Площадь, га	Эмиссия, мг CH_4 /м ² /ч	Суммарный поток, т CH_4 /год
Высокий рям	68155	1,32	3 714
Низкий рям	54601	0,62	1 397
Открытая топь	62633	4,64	11 997
Эвтрофные болота	10334	2,48	1 058
Грядово-мочажинные комплексы	21900	1,46	1 320
ИТОГО	217623		19 486

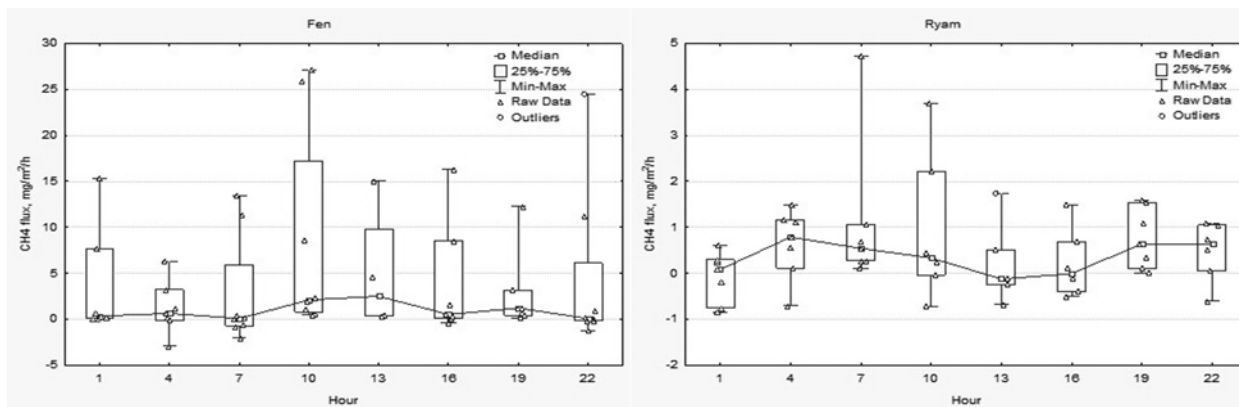


Рис. 3. Суточная динамика потоков метана с осоково-сфагнуовой топи (а) и низкого рьяма (б) в 2012 г. Линией соединены средние значения, показаны диапазон вариаций и кватртили

(отрицательная эмиссия или поглощение) характерны в основном для весеннего периода (май), и проявляется во всех фитоценозах. Средняя эмиссия метана на Бакчарском болоте в мае составляет $0,73 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $-1,07$ до $2,30$), при этом на мочажинах ($0,59 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{час}$) и топях (от $-2,97$ до $3,20$ при средней $0,53 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{час}$) преобладают отрицательные значения эмиссии метана или поглощение. В июле эмиссия значительно возрастает, особенно это явно прослеживается на топи и мочажине. Средняя величина эмиссии в июле на открытой топи составила $3,90 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $-3,22$ до $27,15$), на мочажине $-4,55 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $1,47$ до $11,64$), в рьяме $-0,87 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $0,77$ до $4,72$), на гряде $-0,82 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $-0,45$ до $2,12$). В сентябре эмиссия снижается. Минимальная эмиссия при этом наблюдалась на топи $-0,28 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $-2,09$ до $2,31$), а максимальная на мочажине $-1,25 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$ (от $-0,70$ до $4,67$), эмиссия в рьяме и гряде в среднем составила $0,54$ и $0,78 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$, соответственно.

В суточной динамике метана не выявлено каких-либо четких закономерностей. Величины эмиссии в разное время суток изменялись от отрицательных величин до положительных. Отмечается отсутствие идентичности вариабельности потоков в течение суток на разных фитоценозах. Однако в первом приближении можно отметить, что на топяных участках (осоково-сфагнуовая топь и мочажина ГМК) как правило, эмиссия метана увеличивается в утренние и дневные часы

(в среднем от $7,82$ до $10,19 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$), уменьшается - в ночные (от $0,7$ до $4,47 \text{ мгСН}_4/\text{м}^2\text{ч}$).

Если принять продолжительность активного безморозного периода эмиссии метана равной 172 дня (Головацкая, 2013), то суммарная эмиссия метана в атмосферу со всей территории ключевого участка составляет 19486 т в год с площади 217623 га. Наибольший вклад в суммарный поток вносят топяные (61,6%) и высокий рьям (19,1%), остальные экосистемы дают от 5 до 7% вклада в суммарный поток.

Таким образом, результаты исследования показали, что за вегетационный период эмиссия метана с Бакчарского болота составила $1,04/2,53$ (медиана/среднее) $\text{мгСН}_4/\text{м}^2\text{час}$. Большая интенсивность потока метана наблюдалась с открытых участков болотных экосистем с осоково-сфагнуовой растительностью, меньшая - с сосново-кустарничково-сфагнуовых фитоценозов. Эмиссия метана имеет хорошо выраженный сезонный ход на топи и мочажине ГМК с максимумом в июле. Оценка эмиссии метана с поверхности торфяных залежей разных типов болотных экосистем Бакчарского болота показала, что суммарная эмиссия метана в атмосферу со всей территории ключевого участка составляет 19486 т в год с площади 217623 га. Наибольший вклад в суммарный поток вносят топяные участки (61,6%) и высокий рьям (19,1%), остальные экосистемы дают от 5 до 7% вклада в суммарный поток.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ- 11-05-00227.

Авторы приносят благодарность к.б.н., с.н.с., Головацкой Е.А. и к.ф-м.н, с.н.с. Смирнову С.В. за помощь в проведении исследований.

РАЗЛОЖЕНИЕ СФАГНОВЫХ МХОВ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ТАЕЖНОЙ И ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

SPHAGNUM MOSSES DECOMPOSITION IN BOG ECOSYSTEMS OF WEST SIBERIA TAIGA AND FOREST-TUNDRA ZONE

Е.К. Вишнякова, Н.П. Мироничева-Токарева
E.K. Vishnyakova, N.P. Mironycheva-Tokareva

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
 Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
 zhenya1579@rambler.ru

Под влиянием современного климатического тренда и антропогенной нагрузки природные ландшафты Западной Сибири постепенно трансформируются. Этот процесс, проявляющийся в деградации многолетней мерзлоты и загрязнении продуктами нефтедобычи, распространяется также и на обширные болотные массивы. По этой причине исследования функционального состояния болотных экосистем приобретают сегодня особую актуальность. В данной публикации рассматриваются в сравнительном аспекте результаты экспериментов по разложению очеса трех видов сфагновых мхов на плоскобугристом болоте в зоне лесотундры и на верховых олиготрофных болотах в средне- и южнотаежной подзонах. *Sphagnum fuscum* является эдификатором мохового покрова повышенных элементов рельефа: бугров, рямов, гряд; *Sphagnum balticum* и *S. papillosum* доминируют в олиготрофных мочажинах грядово-мочажинного и плоскобугристого комплексов (табл.).

В качестве объектов изучения трансформации при разложении были выбраны доминирующие виды микрогруппировок болотных экосистем – бугров, рямов, гряд, мочажин и топей. В группу доминантов вошли семь видов сфагновых мхов: *Sphagnum angustifolium*, *S. balticum*, *S. fuscum*, *S. lindbergii*, *S. magellanicum* и *S. papillosum*. Для определения характера и скорости разложения отдельных видов растений применялся метод закладки растительного вещества в торф (Козловская, Медведева, Пьявченко, 1978).

На болоте собирался опад доминантных видов и свежие растения. В лабораторных условиях надземное и подземное растительное вещество высушивалось в сушильном шкафу при температуре 60 °С, затем каждая фракция раскладывалась отдельно в нейлоновые мешочки с ячейками размером 0,2 мм в количестве 2 г. Приготовленный таким образом растительный материал закладывался в верхний активный слой болотной почвы на глубины 5, 15 и 25 см в десятикратной повторности.

Скорость разложения *Sphagnum fuscum* на плоскобугристом болоте невысока, потери массы в первый год составили 6% от исходного веса. В течение двух лет наблюдалось почти равномерное разложение, с небольшим снижением скорости разложения на следующий год. Потери массы в лесотундре в первый год были в два раза меньше, чем потери на грядах в средней и южной тайге и почти равны потерям в ряме Бакчарского болота. Потери массы очеса за два года в лесотундре были наименьшие и составили не более 11% (рис.1).

Наибольшая скорость разложения *Sphagnum fuscum* отмечается для ряма среднетаежной подзоны. На второй год потери массы здесь снизились с 24 до 16%. Интенсивность деструкции в остальных экосистемах на второй год изменилась незначительно.

Интенсивность деструкции мочажинных мхов, *Sphagnum balticum* и *S. papillosum*, в мочажине плоскобугристого болотного комплекса в первый и во второй годы была одинаковой, а потери

Таблица. Характеристика изучаемых болотных систем

Название болота	Зона или подзона	Координаты	Тип болота	Экосистемы
Пангоды	Лесотундра	65°52' с.ш. 74°58' в.д.	Плоскобугристое комплексное	Бугор, мочажина
Кукушкино	Средняя тайга	60°58' с.ш. 70°10' в.д.	Выпуклое олиготрофное	Рям, гряда, мочажина, топь
Чистое	Средняя тайга	61°03' с.ш. 69°28' в.д.	Выпуклое олиготрофное	Рям, гряда, мочажина
Бакчарское	Южная тайга	56°50' с.ш. 82°51' в.д.	Выпуклое олиготрофное	Рям, гряда, мочажина

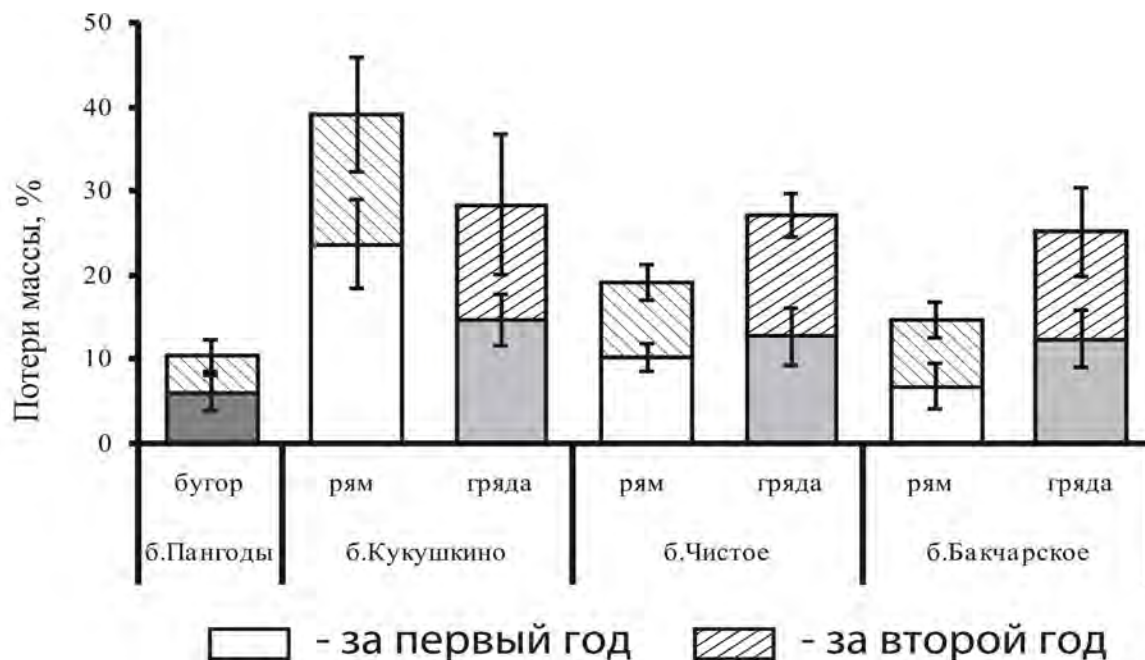


Рис. 1. Динамика потерь очеса мхов при разложении в лесотундре и таежной зоне Западной Сибири

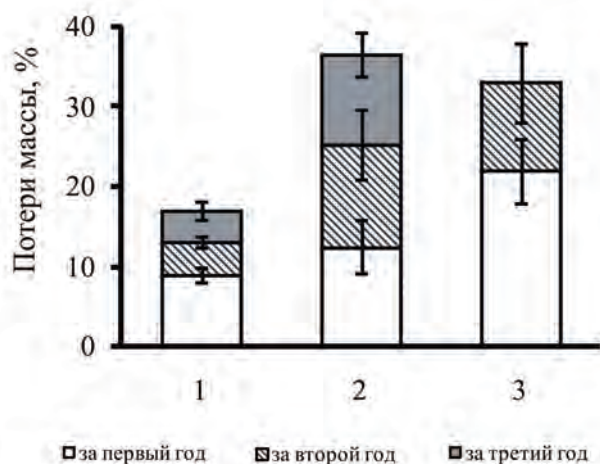


Рис. 2. Потери массы очеса *Sphagnum fuscum*: 1 – в Канаде (Waddington et al., 2003), 2 – в Западной Сибири, южная тайга (Миropyчева-Токарева, Паршина, 2008), 3 – в Чехии (Нажек, 2008).

массы низкими, не более 6% в год. Потери массы очеса *Sphagnum balticum* в первый год в мочажине в лесотундре совпадают с потерями в мочажине Кукушкиного болота и в два раза меньше, чем потери в мочажинах болот Чистое и Бакчарское. Разница между наименьшими двухлетними потерями массы в лесотундре и наибольшими в южной тайге составила 20% (рис. 1). Скорость разложения *Sphagnum papillosum* в лесотундре в мочажине в первый год была в два раза ниже, чем в мочажинах в таежной зоне, а во второй год во всех исследуемых мочажинах потери массы были почти равны; соответственно потери за два года в лесотундре оказались на 4% меньше, чем в таежной зоне.

Сравнительная характеристика скорости разложения *Sphagnum fuscum* на сфагновых болотах Сибири, Канады и Чехии показала, что наименьшая скорость деструкции отмечена для Канады, а наибольшая для горного болота Чехии (рис.2). Потери массы после двух лет экспериментов составили 13% на канадском болоте и на 10% больше на чешском болоте. По истечении трех лет потери массы *Sphagnum fuscum* на канадском болоте были в два раза меньше, чем на болотах южной тайги (рис. 2).

Sphagnum balticum в течение двух лет разлагался довольно равномерно, ежегодно теряя по 16% массы от исходного количества.

Sphagnum papillosum закладывался в грядово-мочажинном комплексе в мочажине и для сравнения на гряде, а также в топяном сообществе. Этот вид мха разлагался в осоково-сфагновой топи и на гряде в течение первого года с одинаковой интенсивностью и несколько медленнее в мочажине. На следующий год потери массы на гряде незначительно увеличились, а в мочажине и топи снизились на 4-10%. В результате после двух лет опыта потери массы на гряде составили 30%, а на пониженных элементах рельефа в два раза меньше.

Таким образом, из шести видов сфагновых мхов, наибольшие потери массы наблюдались для *Sphagnum angustifolium* на повышенных элементах рельефа. Медленнее других видов разлагался очес мочажинных мхов – *Sphagnum balticum* и *S. papillosum*.

Сравнивая разложение сфагновых мхов на болотах средней и южной тайги, можно сказать, что потери массы очеса *Sphagnum angustifolium* на грядах имели сходные величины. Примерно

третья часть исходной массы терялась в первый год и от 10 до 20% во второй год. Динамика скорости разложения в рямах различна. В ряме болота Кукушкино наблюдалось почти равномерное разложение; в ряме болота Чистое высокая скорость разложения в течение первого года резко снизилась на следующий год; в ряме болота Бакчарское наблюдалось плавное снижение скорости разложения. По мере убывания потерь *Sphagnum angustifolium* за два года разложения в рямах болота можно расположить в следующий ряд: болото Чистое, болото Кукушкино, болото Бакчарское. Изменение интенсивности деструкции очеса в топяных сообществах происходило сходным образом. В южной тайге в первый год опыта имела место потеря одной четвертой части исходного веса, в средней тайге потери были на 5% меньше. На следующий год потери в топяных сообществах обоих подзон снизились в три раза.

Потери массы *Sphagnum fuscum* в ряме и на гряде Бакчарского болота соответствуют потерям в ряме и на гряде Чистого болота и на гряде Кукушкиного болота. Разложение очеса в этих сообществах в течение двух лет шло довольно равномерно, и скорость разложения менялась незначительно. В ряме болота Кукушкино потери массы и в первый, и во второй годы были в два раза больше, чем потери в рямах болот Бакчарское и Чистое. Болота можно расположить в ряд по мере снижения потерь массы *Sphagnum fuscum* за два года в рямах: болото Кукушкино, болото Чистое, болото Бакчарское.

Скорость разложения *Sphagnum magellanicum* в первый год в ряме в южной тайге в два раза выше, чем скорость разложения в средней тайге в рямах болот Кукушкино и Чистое. Во второй год скорость разложения в рямах болот Кукушкино и Бакчарское была примерно одинакова, а в ряме на болоте Чистое в два раза меньше. В результате по убыванию потерь массы за два года в рямах болота расположены в ряду: болото Бакчарское, болото Кукушкино, болото Чистое. Скорость разложения в первый год на грядах на Бакчарском болоте в три раза выше, чем на Кукушкином болоте и на 10% больше, чем на Чистом болоте. На следующий год потери массы в южной тайге уменьшились в три раза, а в средней тайге на обоих болотах увеличились на 5%. При построении ряда по снижению двухлетних потерь массы на грядах, Бакчарское болото опять оказалось впереди, а наименьшие потери наблюдались на Чистом болоте. Потери массы очеса *Sphagnum magellanicum* за два года в болотных экосистемах в южной тайге на 5-10% выше, чем в средней тайге.

Sphagnum balticum в мочажине в южной тайге разлагался в два раза быстрее, чем в средней тайге. Скорость разложения *Sphagnum papillosum* в мочажинах и осоково-сфагновых топях в таежной зоне практически не различалась. Потери массы за два года в осоково-сфагновых топях и мочажинах составили 17 и 14% соответственно.

1. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978. – 171 с.
2. Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Элементы углеродного баланса в болотных почвах Васюганья / Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В.В. Докучаева, (18-23 авг. 2008 г.). - Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2008. – С. 416
3. Hajek T. Ecophysiological adaptations of coexisting *Sphagnum* mosses // PhD thesis. Institute of Systems Biology and Ecology Czech Academy of Sciences. – Trebonь, 2008. – 98 p.
5. Waddington J.M. et al. *Sphagnum* production and decomposition in a restored cutover peatland // Wetlands Ecology and Management. – 2003. – №11. – P. 85-95.

ОЦЕНКА ПОТОКА CH₄ ИЗ ПОЧВ РОССИИ НАБОРОМ ПРОСТЕЙШИХ МОДЕЛЕЙ CH₄ FLUX ESTIMATION FROM RUSSIAN SOILS BASED ON A SET OF SIMPLE MODELS

М.В. Глаголев^{1,2,3,4}, И.В. Филиппов³, Л.А. Кривенко¹, Ш.Ш. Максюттов^{4,5}*
M.V. Glagolev^{1,2,3,4}, I.V. Filippov³, L.A. Krivenok¹, S.S. Maksyutov^{4,5}*

¹ Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

¹ Lomonosov Moscow State University, Russia

² Институт лесоведения РАН, пос. Успенское, Московская обл., Россия

² Institute of Forest Science RAS, Uspenskoe, Moscow region. Russia

³ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

³ Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

⁴ Томский государственный университет, Россия

⁴ Tomsk State University, Russia

⁵ National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

*E-mail: m_glagolev@mail.ru

Введение

Принципы оценивания наборами моделей нашли широкое распространение на современном этапе, когда возникла потребность в обобщении разнотипных методов обработки информации с целью получения интегрированных знаний. В научной литературе настойчиво обсуждается и разрабатывается идея о совместном использовании разнотипных моделей в наборе – как средства наиболее полного учета априорной информации. Набор моделей, например, с позиций средневзвешенного преобразования либо оценивания областей их компетенции аккумулирует преимущества составляющих набор решающих правил (Лапко, 2002, с. 5).

Целью настоящей работы было: оценить эмиссию и поглощения метана почвами России при помощи совокупности простейших математических моделей.

Методы исследования

Для расчета эмиссии метана из болот в региональном масштабе годовая эмиссия метана (F, гС/год) представлялась как сумма эмиссий по отдельным географическим областям:

$$F = \sum(S_k \cdot \mu_k),$$

здесь S_k – площадь k-ой области (кв.м), μ_k – доля площади, занимаемой болотами в k-ой области, q – удельный поток метана (гС/кв.м/год). Для расчета q мы применяли несколько моделей. Пять из них («модель Taylor et al.», «модель Taylor-Miami», «модель Andronova-Karol», «модель Taylor-Пузаченко» и «модель Taylor-Наумов» или сокращенно – MoTEA, MoTaM, MAK, MoTaP и MoTaN) были описаны ранее – см. (Глаголев с соавт., 2013). Теперь опишем еще три:

1) «Модель Taylor-Кондратьев-Крапивин» (MoTaKoK): К.Я. Кондратьев и В.Ф. Крапивин (2004, с. 116) привели таблицу, по которой можно путем интерполяции вычислить значение годовой продукции (NPP, кг/кв.м/год) для

заданных значений среднегодовой температуры атмосферы (T, °C) и годовой суммы осадков (P, мм). Соответственно, для удельного потока метана будем иметь

$$q = f \cdot NPP.$$

2) «Модель Taylor-Тарко» (MoTaT): А.М. Тарко (2005, с. 101) предложил аналогичную таблицу, но содержащую несколько иные значения.

3) «Модель Taylor-Коновалов-Иванов» (MoTaKI): А.А. Коновалов и С.Н. Иванов (2007, с. 69, 101) предложили модель, имеющую простое аналитическое представление. С учетом того, что удельный поток метана пропорционален продуктивности, получим следующее аналитическое выражение:

$$q = g \cdot [0.48 \cdot B + 0.41 - J \cdot (0.15 \cdot B + 0.06)],$$

где B – радиационный баланс (ккал/кв.см/год);
J – индекс сухости, равный $B/(L \cdot P \cdot 0.1)$;
L = 0.6 ккал/куб.см.

К сожалению, авторы указывают, что эту модель можно применять только при $B > 10$ ккал/кв.см/год и $J > 0.33$. Если эти условия не выполнялись, то мы применяли формулу

$$q = g \cdot (5.1351 - 7.8558 \cdot J).$$

Кроме того, использовалось следующее правило: если по вышеприведенным формулам получалось значение $q \geq 0$, то окончательно использовали его, иначе принимали $q = 0$.

Для расчета интенсивности поглощения метана мы применяли несколько подходов. Пять простых моделей инвентаризации поглощения метана почвами (по методике Born et al., по методике Dörr et al. и по трем методикам Dutaur and Verchot) были описаны ранее – см. (Глаголев и Филиппов, 2011). Теперь опишем математическую модель Ridgwell et al. (1999) с некоторыми модификациями, взятыми из (Мезенцев и Карнацевич, 1969, с. 20; Шеин, 2005, с. 18, 92; Ungureanu and Statescu, 2010). Для каждого (i-го) месяца выполняется следующий расчет:

$\hat{\epsilon}(i) = 0.001 \cdot V(i) \cdot W_{нв}$, $\epsilon(i) = \Phi - \hat{\epsilon}(i)$,
 если $\epsilon \leq 0$ то $G_{soil}(i) = 0.0001$, иначе $G_{soil}(i) = \exp\{2 \cdot \ln[\epsilon(i)] - 2 \cdot \ln(\Phi)/3\}$,
 если $t(i) < 0$ то $Rt(i) = 0$, иначе $Rt(i) = \exp[0.0693 \cdot t(i) - 0.000000856 \cdot t(i) \cdot t(i) \cdot t(i)]$,
 если $[P(i) + SM(i)]/ETp(i) > 1$ то $Rsm(i) = 1$,
 иначе $Rsm(i) = [P(i) + SM(i)]/ETp(i)$,
 $D(i) = G_{soil}(i) \cdot [1 + 0.0055 \cdot t(i)] \cdot Do$, $Kd = (1 - 0.75 \cdot I_{cult}) \cdot Rsm(i) \cdot Rt(i) \cdot k$,
 $u(i) = Co \cdot D(i) \cdot Fd \cdot \{1 - D(i)/[D(i) + Kd \cdot Z_d]\} / Z_d$
 где $Co = 1.72$ ppmv – атмосферная концентрация метана; $Do = 0.196$ кв.см/с и $D(i)$ – коэффициенты диффузии метана, соответственно, в воздухе (при стандартных условиях) и в верхнем слое почвы; $ETp(i)$ – потенциальная эвапотранспирация за месяц (мм); $Fd = 616.9$ мг·с/кв.м/сут/ppmv – множитель для перевода получающейся величины потока в мг CH_4 , выделяющегося с 1 кв.м за сутки; $G_{soil}(i)$ – функция, с помощью которой учитывается влияние структуры почвы на диффузию газа; $h = 30$ см (или мощность корнеобитаемого слоя, если она менее 30 см); I_{cult} – доля площади земель, вовлеченных в сельскохозяйственное использование; $k = 0.00087$ см/с – эмпирический параметр; $P(i)$ – месячная сумма осадков (мм); $Rsm(i)$, $Rt(i)$ – функции, с помощью которых на скорость микробного окисления метана учитывается влияние, соответственно, влажности и температуры; $SM(i)$ – запасы почвенной влаги (мм) в слое h ; $t(i)$ – температура (по Цельсию); $u(i)$ – удельный поток поглощения метана (мг/кв.м/сут.); $V(i)$ – относительная влажность метрового слоя почвы на конец месяца (представляющая собой отношение запасов почвенной влаги в этом слое к $W_{нв}$); $W_{нв}$ – наименьшая влагоемкость метрового почвенного слоя (в первом приближении может быть принята равной 300 мм, но, вообще-то, зависит от текстуры почвы); $Z_d = 6$ см – характерное значение глубины метанотрофного слоя; Φ – порозность почвы, $\epsilon(i)$ – порозность аэрации, $\hat{\epsilon}(i)$ – объемная влажность почвы (в куб.см влаги/куб. см почвы).

Принцип использования набора моделей заключался в том, что в каждой ячейке географической сетки проводились вычисления по всем моделям и в качестве эмиссии в этой ячейке бралось значение медианы.

Картографические материалы и ГИС-технологии, использованные для региональных расчетов были описаны нами ранее – см. (Глаголев и Филиппов, 2011; Глаголев с соавт., 2012; Глаголев с соавт., 2013). Точность карт болот для

территории России определялась, во-первых, общепринятым методом по 1000 проверочных площадок (ПроП) при помощи алгоритма «simple random sampling» (Stehman, 1999) и характеризовалась величиной “conditional producer’s kappa” (Næsset, 1996). Во-вторых, определялась точность карт специально для вычисления эмиссии метана; эта точность характеризовалась величиной относительной погрешности эмиссии

$$S = [(E - Em)/E] \cdot 100\%,$$

где E – эмиссия со всех ПроП, действительно относящихся к болотам; Em – эмиссия со всех ПроП, которые отнесены к болотным по проверяемой карте.

Результаты и обсуждение

В (Глаголев с соавт., 2013) нами было показано, что различия в эмиссии (50-90%), рассчитанной для болот РФ по разным картам существенно больше, чем на одной и той же карте по разным моделям (20-30%). Поскольку и по “conditional producer’s kappa”, и по величине S наилучшими оказались карты PeatMap1 (Глаголев с соавт., 2013) и “Peatland ecosystems of Russia” (Vompersky et al., 2011), то в дальнейшем мы работали только с ними. В нижеследующей таблице представлены результаты расчетов по этим картам.

Полученные нами оценки эмиссии метана из почв России, в принципе, близки к таковым, полученным другими исследователями. Шесть таких региональных оценок проанализировано в (Глаголев с соавт., 2013), где показано, что первоначальные оценки (начала-середины 90-х гг. XX в.) очень сильно колебались, по-видимому, из-за недостатка экспериментальных данных. Однако в дальнейшем они стабилизировались на уровне 10.5-17.6 МтС/год. Кроме того, И.Л. Кароль и А.А. Киселев (2013, с. 102) оценили эмиссию метана от российских переувлажненных территорий, расположенных в поясе 30-60 °с.ш., величиной 15.8 МтС/год. Н. Dolman and A. Shvidenko (2013) оценили поток метана с территории бывшего СССР на уровне 41.4 МтС/год. Если, следуя (Andronova and Karol, 1993), принять, что эмиссия из болот России составляет 63.5% от эмиссии из болот на всей этой территории и, кроме того, согласно (Кондратьев и Крапивин, 2004: с. 275, 278), постулировать, что на болота Российской Федерации приходится 35-50% метана, выделяемого с ее территории, то получим для эмиссии из болотных почв 9.2–13.1 МтС/год, что опять находится в хорошем соответствии с нашими оценками.

Карта	producer’s kappa	Эмиссия (МтС/год)		Поглощение (МтС/год)
		Средняя	Погрешность	
PeatMap1	0.41	10.6	1.4	2.0
Peatland ecosystems of Russia	0.40	12.3	6.0	1.8

1. Глаголев М.В., Филиппов И.В. Инвентаризации поглощения метана почвами // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2011. - Т. 2. № 2(4). EDCCrev0002.
2. Глаголев М.В., Филиппов И.В., Клепцова И.Е. Эмиссия и поглощение метана почвами России // Болота и биосфера: материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы (10–15 сентября 2012 г., Томск). - Томск: Изд-во ТГПУ, 2012. - С. 32–41.
3. Глаголев М.В., Филиппов И.В., Клепцова И.Е., Максюттов Ш.Ш. Оценка потока метана из почв России на основе простейших математических моделей // Математическое моделирование в экологии / Материалы Третьей Национальной научной конференции с международным участием, 21–25 октября 2013 г. Пущино, ИФХиБПП РАН, 2013. - С. 75-76. URL: http://ecomodelling.ru/images/conferences/proceedings_ecomatmod_2013.pdf (дата обращения: 15.11.2013).
4. Кароль И.Л., Киселев А.А. Парадоксы климата. Ледниковый период или обжигающий зной? – М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2013. - 288 с.
5. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. Моделирование глобального круговорота углерода. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 336 с.
6. Коновалов А.А., Иванов С.Н. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение, и методика палеорекоstructions (на примере Западной Сибири). - Новосибирск: Академ. издат. «Гео», 2007. - 130 с.
7. Лапко В.А. Непараметрические коллективы решающих правил. - Новосибирск: Наука, 2002. - 168 с.
8. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. - Л.: Гидрометеиздат, 1969.
9. Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 232 с.
10. Шеин Е.В. Курс физики почв. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 432 с.
11. Andronova N.G., Karol I.L. The contribution of USSR sources to global methane emission // *Chemosphere*. - 1993. - V. 26. - P. 111–126.
12. Dolman H., Shvidenko A. The carbon balance of Russia // *Geophys. Res. Abstracts*. - 2013. - V. 15. EGU2013-1888. URL: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2013EGUGA..15.1888D>
- 13 Næsset E. Conditional tau coefficient for assessment of producer's accuracy of classified remotely sensed data // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. - 1996. - V. 51. - P. 91–98.
14. Ridgwell A.J., Marshall S.J., Gregson K. Consumption of atmospheric methane by soils: A process-based model // *Global Biogeochemical Cycles*. - 1999. - V. 13. No. 1. - P. 59–70.
15. Stehman S.V. Basic probability sampling designs for thematic map accuracy assessment // *International Journal of Remote Sensing*. - 1999. - V. 20. - P. 2423–2441.
16. Ungureanu A., Statescu F. Models for predicting the gas diffusion coefficient in undisturbed soil // *Buletinul Științific al Universității «POLITEHNICA» din Timișoara. Seria HIDROTEHNICA*. - 2010. - Tom 55(69). Fascicola 1. - P. 168–172.
17. Vompersky S.E., Sirin A.A., Sal'nikov A.A., Tsyganova O.P., Valyaeva N.A. Estimation of Forest Cover Extent over Peatlands and Paludified Shallow-Peat Lands in Russia // *Contemporary Problems of Ecology*. - 2011. - V. 4. No. 7. - P. 734–741.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

ESTIMATION OF THE NET PRIMARY PRODUCTION OF WETLAND ECOSYSTEMS BY REMOTE SENSING DATA AND SURFACE OBSERVATIONS

Е.А. Головацкая^{1}, М.Н. Алексеева², Е.А. Дюкарев¹*

E.A. Golovatskaya^{1}, M.N. Alekseeva², E.A. Dyukarev¹*

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

¹ Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

*Email: golovatskaya@imces.ru

² Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

² Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia

Болотные экосистемы играют важную экологическую роль в биосфере. Западная Сибирь является самым крупным регионом мира по количеству торфяных болот, в которых сосредоточено 36 % от депонированного углерода России. Болота играют особую роль в глобальном круговороте углерода в биосфере, являясь накопителем углерода в виде торфяных залежей. Биологическая продуктивность является неотъемлемой частью биологического круговорота углерода. Несмотря на значительно возросший в последнее время интерес к изучению болотных экосистем во всем мире, до сих пор возникают сложности с точными оценками площадей занимаемых болотами, оценками углеродного баланса болотных экосистем разного типа, степени развития болотообразовательных процессов, функционирования болот при изменении внешних факторов и т.д. Изучение биологической продуктивности растительных сообществ является одной из важных задач в исследовании круговорота углерода в болотных экосистемах (Титлянова, 2001, 2007; Базилевич, 1993; Головацкая, Порохина, 2005; Головацкая, 2009), так как именно биологическая продуктивность отражает количество углерода, накопленное в виде органического вещества растений и не затраченное на процессы дыхания и разложения. Следует отметить, что данных по биологической продуктивности болот сравнительно немного. В связи с чем представляется актуальным применение дистанционных методов, в частности данных космической съемки для оценки биологической продуктивности олиготрофных болот, как составляющей их углеродного баланса.

Одним из основных показателей биологической продуктивности является запас фитомассы. Натурные исследования запасов фитомассы (без учета корней) и чистой первичной продукции (NPP), как общие для фитоценоза, так и отдельно для травяного, кустарничкового, мохового ярусов на олиготрофном болоте проводились в пределах водосборной площади р. Ключ (рис. 1), в сосново-кустарничково-сфагновых

фитоценозах (высоком (ВР) и низком ярье (НР)) и открытой осоково-сфагновой топи (ОТ) (станция «Васюганье» ИМКЭС СО РАН) укосным методом ежемесячно с мая по сентябрь в течение 2000-2011 гг. (Головацкая, Порохина, 2005).

В данной работе оценивается возможность применения вегетационных индексов для оценки продуктивности олиготрофных болотных массивов. Вегетационные индексы - показатель, рассчитываемый в результате операций с разными спектральными диапазонами (каналами) данных космической съемки, и имеющий отношение к параметрам растительности в данном пикселе снимка. Для того чтобы оценить возможность применения данных космической съемки для оценки продуктивности олиготрофных болот были выбраны индексы NDVI и EVI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - наиболее популярный и часто используемый вегетационный индекс, который для растительности принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем он выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью.

Расчет вегетационного индекса NDVI основан на особенностях поглощения солнечной радиации в красной области электромагнитного спектра хлорофиллом и отражения ее в инфракрасной области спектра клеточными структурами листа. NDVI рассчитывается по формуле (Черепанов, Дружинина, 2009):

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}},$$

где P_{NIR} - значения яркости пикселя в ближнем инфракрасном диапазоне, P_{RED} - в красном диапазоне. Высокая фотосинтетическая активность, связанная с большой фитомассой ненарушенного растительного покрова имеет низкие значения яркости пикселей в красном диапазоне и большие значения в ближнем инфракрасном диапазоне. Как правило, для густой

растительности он составляет 0,7, для разреженной растительности - 0,5, для открытой почвы - 0,025 и искусственных материалов - -0,5 (Медведева и др., 2011).

Усовершенствованный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index) рассчитывается по следующей формуле (Черепанов, Дружинина, 2009):

$$EVI = 2,5 \left(\frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + 6 * P_{RED} - 7,5 * P_{BLUE} + 1} \right),$$

Индекс может принимать значения от -1 до 1. Для зеленой растительности обычны значения от 0,2 до 0,8. NDVI и EVI представлены в сети интернет в виде продуктов MOD13Q1, рассчитанных зарубежными специалистами и осредненными за 16-дневный период и MOD09Q1G_EVI - вегетационный индекс EVI, осредненный за 8-дневный период. Эти продукты имеют пространственное разрешение 250 м и визуализируются в ArcGIS в виде карт и массивов цифровых данных. NDVI и EVI были выбраны в соответствии с датами и точками на местности, где проводились наземные измерения запасов фитомассы. В результате сформирован массив данных. Кроме того оценивались средние для вегетационного периода NDVI и EVI индексы для сравнения с чистой первичной продукцией и запасами фитомассы, полученной в результате наземных измерений.

Запасы фитомассы определяются как характером растительности, так и погодными условиями (Головацкая, 2009). В среднем запасы надземной фитомассы незначительно отличаются на исследуемых олиготрофных фитоценозах: максимальными запасами надземной фитомассы кустарничково-травяно-сфагнового яруса характеризуется высокий рям (637±140 г/м²), затем следуют низкий рям (607±147 г/м²) и открытая топь (444±96 г/м²). Известно, что в высоком и низком рямах максимальный вклад в фотосинтезирующую фитомассу вносят зеленые части мхов (от 77,3 до 81,6 %), а также достаточно велико и содержание листьев кустарничков (в среднем 19,5%). На открытой топи большой процент в запасах фитомассы имеют зеленые части трав (до 17%). Чистая первичная продукция исследуемых

фитоценозов изменяется от 532±93 г/м² на открытой топи до 647±137 г/м² на высоком ряме. Основной вклад в продукцию на исследуемых фитоценозах вносят корни трав и кустарничков (44–60%) и сфагновые мхи (20–35%). На высоком и низком ряме также велика доля кустарничков (26–33%), а для открытой топи более значимый вклад имеет травянистая растительность (15%). В период вегетации наименьшие значения NDVI в высоких и низких рямах (0,61–0,69) отмечены в начале и конце вегетационного периода (май, сентябрь). Наибольшие значения NDVI высоких и низких рямов (0,69–0,80) наблюдаются в середине вегетационного периода. Для осоково-сфагнуовой топи значения NDVI, в целом ниже, в весенний и осенний период они составляют от 0,49 до 0,63, в середине вегетационного периода - от 0,64 до 0,77. Значения EVI для разных фитоценозов мало отличаются и изменяются в течение периода исследования от 0,24 до 0,50. Максимальные значения характерны для середины вегетационного периода.

Сопоставление значений NDVI и EVI с запасами фитомассы на болотных фитоценозах по датам не выявило зависимости между вегетационными индексами и запасами фитомассы в течение всего периода. Корреляционный анализ для средних за вегетационный период NDVI и EVI индексов показал, что для запасов фитомассы высокого ряма и открытой топи наблюдается отрицательная связь с EVI, а для открытой топи - положительная связь с NDVI. При этом наличие связи объясняется запасами фитомассы сфагновых мхов на высоком ряме и открытой топи (табл.). Сравнение продукции болотных фитоценозов с вегетационными индексами показало следующее: практически для всех фитоценозов, за исключением высокого ряма, выявлена связь между NPP и ANP и индексами NDVI и EVI, причем для открытой топи наличие связи обусловлено продукцией трав и сфагновых мхов, а для низкого ряма кустарничками (табл. 1).

Таким образом, значения EVI слабо отличаются для разных исследуемых болотных фитоценозов, что затрудняет его использование для оценки запасов и продукции. Тогда как значения NDVI можно использовать для расчета запасов

Таблица. Коэффициенты корреляции между запасами фитомассы, продукцией болотных фитоценозов и вегетационными индексами, при уровне значимости $p=0,05$.

Вегетационные индексы	Надземная фитомасса	Фитомасса сфагнового мха	NPP		ANP		NPP трав	NPP кустарничков	NPP сфагновых мхов
			HP	OT	HP	OT			
EVI	-0,53	0,42	-0,31	0,51	0,45	0,53	-0,35	0,36	-0,60
NDVI	0,48	0,46	0,52	-0,54	0,75	-0,38	-0,58	0,57	-0,30

OT осоково-сфагнуовая топь, HP – низкий рям, NPP – чистая первичная продукция, ANP – надземная продукция

фитомассы и продукции для рямов и открытых топей. Наиболее достоверная связь между вегетационными индексами и запасами фитомассы и продукцией болотных фитоценозов получена для открытой топи. Так как для низкого, и особенно высокого ряма, значения этих индексов в основном характеризуют запасы фитомассы и продукцию древесного яруса, который экранирует травяно-кустарничкового-сфагновый покров –

значения запасов фитомассы и продукция которого измеряются при наземных исследованиях. Для низкого ряма, однако, получены достаточно высокие коэффициенты корреляции, по-видимому, разреженный (сомкнутость крон 0,3) древесный ярус позволяет оценить NDVI не древесного яруса, как на высоком ряме (где сомкнутость крон 0,9), а кустарничкового яруса.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 13-05-98048 р_сибирь_а.

1. Титлянова А.А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сибирский экологический журнал. - 2007. - № 5. - С. 763–770.
2. Титлянова А.А. Что мы знаем о продукции болот? / Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. - Новосибирск: ООО «Агентство Сибпринт», 2001. - С. 136–139.
3. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. - М.: Наука, 1993. - 295 с.
4. Головацкая Е.А., Порохина Е.В. Ботаника с основами фитоценологии. Биологическая продуктивность болотных биогеоценозов: Учебно-методическое пособие / под ред. В.А. Дырина. - Томск: Изд-во Томского педагогического ун-та, 2005. - 64 с.
5. Головацкая Е. А. Биологическая продуктивность олиготрофных и эвтрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Журнал СФУ Биология. - 2009. - Т.2. № 3. - С. 38–53.
6. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. - 2009. - № 3. - С. 28–32.
7. Медведева М.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Лулян Е.А. Использование данных NOAA-AVHRR для выявления многолетней динамики растительности северной Евразии // Исследование Земли из космоса. - 2011. - №4. - С.55–62.

ТУНДРОВЫЕ ОЗЁРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИСТОЧНИКИ МЕТАНА TUNDRA LAKES OF WESTERN SIBERIA AS METHANE SOURCES

*Л.Л. Голубятников**, *В.С. Казанцев*
*L.L. Golubyatnikov**, *V.S. Kazantsev*

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia
*E-mail: golub@ifaran.ru

Озёра являются одним из природных источников метана. Площадь мировой сети озёр составляет около $4,2 \times 10^6$ км² или около 3% поверхности площади континентов. Исследования показали, что эмиссия метана из озёр происходит непрерывно на протяжении всего теплого периода, когда поверхность озера не покрыта льдом. Интенсивность потока метана из озёр в атмосферу существенно зависит от запаса органического вещества на их дне – эмиссия метана более интенсивна из озёр, донные отложения которых насыщены органикой.

Глобальная эмиссия метана из озёр оценивается в 8–50 Мт CH₄/год (Anderson et al., 2010), что составляет 4–24% глобальной эмиссии метана из природных источников. Следует отметить, что эмиссия метана из озёр превосходит эмиссию этого газа с поверхности мирового океана, которая составляет 5–7 Мт CH₄/год.

Биогеохимические процессы образования и окисления метана в озёрах тундровой зоны на данный момент еще недостаточно экспериментально изучены. В опубликованных работах приведены оценки потоков метана в атмосферу из ряда тундровых озёр Аляски, севера Европейской России и северо-востока России. Данные об интенсивности потоков метана из озёрной сети тундровых экосистем Западной Сибири немногочисленны. Целью настоящей работы был анализ экспериментальных данных о потоках метана из озёр тундровой зоны Западной Сибири и оценка годового потока метана в атмосферу с поверхности озёр рассматриваемой территории.

Данная работа выполнена на основе полевых исследований проведенных в июне-августе 2013 года на двух участках тундровой зоны Ямало-Ненецкого автономного округа: в южной тундре – участок Ярнето (67°22' с.ш., 78°37' в.д.), и типичной тундре – участок Яраяха (69°31' с.ш., 77°06' в.д.). Рассматриваемые участки расположены в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. На каждом участке были исследованы по 5 озёр. Исследованные водоемы представляли собой типичные для северной части Западной Сибири мелкие (1,5–3,5 м глубиной) пойменные и термокарстовые озера с пологими, местами заболоченными берегами.

Это небольшие по площади озера от 2 тыс. м² до 1 км² с песчано-илистым или торфянистым дном.

Измерения потоков метана на озёрах проводились методом статических камер. Использовались пластиковые камеры размером 30×40×40 см, которые удерживались на поверхности воды с помощью поплавков. Время экспозиции (время от установки камеры до отбора последней пробы газа) составляло 24–30 минут, в течение которого отбиралось четыре пробы камерного воздуха с промежутком в 8–10 минут. При этом первая проба отбиралась в момент установки камеры на воду. В качестве пробоотборников использовались трёхкомпонентные одноразовые пластиковые шприцы. После отбора камерного воздуха шприцы герметично закупоривались и доставлялись в лабораторию, где проводился количественный анализ газа. Анализ концентрации метана в каждом шприце проводился на хроматографе "Кристалл-5000", оснащённом пламенно-ионизационным детектором. Удельный поток метана рассчитывался методом линейной регрессии с весами.

Анализ экспериментальных данных показал, что для исследованных тундровых озёр, донные отложения которых содержат незначительное количество органического вещества, средние значения потока метана в атмосферу изменяются от 0,2 до 0,6 мгCH₄/(м²·ч). Для тундровых озёр с насыщенным органическим веществом торфянистым дном характерны более высокие средние значения потока метана в атмосферу – от 0,7 до 3,5 мгCH₄/(м²·ч). На основе экспериментальных значений эмиссий метана и метода гистограмм с интервалами равной вероятности были построены плотности вероятностей удельных потоков метана с озёр рассматриваемых площадок.

Следует отметить, что плавающими статическими камерами фиксируется в основном диффузионный поток метана. Вероятность того, что камера зафиксирует пузырьковый поток из так называемых точечных источников (сильных и узких струй пузырьков со дна озера) достаточно мала поскольку эти источники занимают очень небольшую долю площади зеркала водоема. Однако обусловленная пузырьковым переносом эмиссия метана с поверхности озёр может

превосходить его эмиссию в результате диффузионного потока в несколько раз. Например, сравнение измерений пузырькового и диффузионного потоков метана на тундровых озерах Аляски и северо-востока России показали, что эмиссия метана, обусловленная пузырьковым потоком, может от 1,5 до 27 раз превосходить его эмиссию в результате молекулярной диффузии (Голубятников, Казанцев, 2013).

Годовая эмиссия метана с поверхности озер вычисляется на основе экспериментально измеренного удельного потока метана, площади озер и продолжительности периода эмиссии. В качестве оценки удельного потока метана из озер в каждой тундровой подзоне было выбрано значение медианы соответствующего распределения. На основе гидрологической карты программного комплекса ArcGIS были определены доли площадей озер для каждой тундровой подзоны Западной Сибири. На гидрологической карте не отражены так называемые внутриболотные озера – небольшие по площади озера входящие в состав микроландшафтов болотных массивов. С целью учета внутриболотных озерков были использованы данные (Peregon et al., 2009) об относительных площадях этих водоемов в различных типах болот рассматриваемой территории. Площади разных типов болот рассматриваемой

территории были определены по электронной типологической карте болот Западной Сибири, составленной на основе карты Романовой и др. (1977). На основе данных метеорологических станций, расположенных в тундровой зоне Западной Сибири, были определены периоды эмиссии метана для разных типов тундр региона. Используя имеющиеся данные, эмиссии метана из озёр тундровой зоны Западной Сибири за теплый период года оценена приблизительно в 14 KtCH_4 .

Данная оценка получена на основе измерений в основном диффузионных потоков метана с поверхности озер. По этой причине, полученное значение интенсивности выделения метана из озер в атмосферу для тундровой зоны Западной Сибири следует рассматривать как нижнюю границу эмиссии метана из водоемов этого региона. Учитывая тенденции к изменению скоростей продукционно-деструкционных процессов в северных экосистемах (Голубятников, Денисенко, 2007) и к увеличению количества небольших по размерам термокарстовых озер в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири (Кирпотин и др., 2008), следует ожидать повышения интенсивности поступления метана в атмосферу с территории рассматриваемого региона.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00193а), Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений окружающей среды».

1. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России // Известия РАН. Серия биологическая. - 2007. - Т. 34. № 2. - С. 212–228.
2. Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. Вклад тундровых озёр Западной Сибири в метановый бюджет атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2013. - Т. 49. № 4. - С. 324–333.
3. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник ТГУ. - 2008. - № 311. - С. 185–189.
4. Романова Е.А., Быбина Р.Т., Голицына Е.Ф., Иванова Г.М., Усова Л.И., Трушников Л.Г. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000. Ленинград: ГУГК, 1977.
5. Anderson B., Bartlett K., Frolking S., Hayhoe K., Jenkins J., Salas W. Methane and nitrous oxide emissions from natural sources. Washington: EPA, 2010. - 194 p.
6. Peregon A., Maksyutov S., Yamagata Y. An image-based inventory of the spatial structure of West Siberian wetlands // Environ. Res. Lett. - 2009. - V. 4. 045014.

ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ СФАГНОВЫХ МХОВ НА БОЛОТАХ КАРЕЛИИ (РОССИЯ) ANNUAL GROWTH OF SPHAGNUM MOSSES IN KARELIAN MIRES (RUSSIA)

С.И. Грабовик
S.I. Grabovik

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia
E-mail grabovik@bio.krc.karelia.ru

Сфагновые мхи являются эдификаторами растительного покрова верховых и переходных болот. Они имеют неограниченный верхушечный рост, всасывают воду с питательными элементами всей своей поверхностью, их годичный прирост зависит от вида мха, уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ), погодных условий и трофности среды.

Многолетние стационарные исследования функционирования ценопопуляций сфагновых мхов с учетом погодных и фитоценологических условий ведутся нами в южной Карелии на протяжении 35 лет (Грабовик, 1994, 2002; Grabovik, Nazarova, 2013). Данная статья посвящена особенностям годичного прироста сфагновых мхов, относящихся к различным экологическим группам, в условиях естественных болотных биотопов. Она базируется на результатах многолетних исследований (2001–2010), направленных на выявление связи годичного прироста сфагновых мхов с погодными условиями вегетационных периодов.

Исследования проводились в подзоне средней тайги на территории болотного заказника Койву-Ламбасу (61°48' с.ш. и 33°35' в.д.).

Метеорологические условия за период исследований отличались от средних многолетних данных. По многолетним наблюдениям, длительность вегетационного периода на территории стационара составляет в среднем 170 дней при климатической норме 155 дней, при этом весна с устойчивой температурой воздуха выше 5°С начинается в конце апреля–начале мая, лето наступает в среднем 15 июня с устойчивым переходом среднесуточной температуры выше 15°С. Устойчивый переход температуры воздуха через 15°С в сторону понижения происходит примерно 15 августа и означает наступление осени. Вегетационный период на территории стационара завершается обычно в середине октября. Среднее многолетнее количество осадков за вегетационный период составляет 316 мм.

Вегетационные периоды 2001–2010 гг. характеризовались повышенным, а в отдельные годы экстремально высоким температурным фоном и избыточным увлажнением. Вегетационные периоды 2002 и 2005 гг. были очень теплыми и засушливыми, острый дефицит осадков

наблюдался в июне–июле. Отличительной особенностью вегетационного периода 2010 года было экстремально жаркое лето, температура воздуха доходила до +30–+35°С. Распределение осадков было крайне неравномерное, большую часть вегетационного периода осадков было недостаточно. Больше нормы выпало осадков в мае–июне, с дефицитом осадков в июле и первой половине августа. В остальные вегетационные периоды среднемесячная температура воздуха и количество осадков были близки средним многолетним значениям.

Изучение годичного прироста сфагновых мхов проводили на естественном болотном массиве Неназванное (540 га), относящемся к евтрофно-мезотрофному типу (Елина и др., 1984), на четырех болотных участках, в которых мхи являются эдификаторами растительного покрова, но произрастают в несколько различающихся по режиму минерального питания и увлажнения экологических условиях (табл.1). В пределах каждой пробной площади были выполнены геоботанические описания растительного покрова. Изучалась зависимость линейного прироста сфагновых мхов: *Sphagnum majus* (Russow) С.Е.О. Jensen, *S. fallax* (H.Klinggr.) H.Klinggr., *S. balticum* (Russow) С.Е.О. Jensen, *S. obtusum* Warnst., *S. subsecundum* Nees от экологоценологических и погодных условий в течение 2001–2010 гг. По отношению к режиму влажности все сфагновые мхи являются гидрофильными, но одни виды выдерживают значительное и продолжительное пересыхание, неизбежное при произрастании на более или менее значительных повышениях микрорельефа, где устанавливается резко переменный режим влажности, другие выдерживают лишь кратковременное и не очень сильное высушивание (умеренно переменный режим влажности). Так, по данным В.Д. Лопатина (1973), *S. fallax* относится к ковровой субпсихрофильной группе и выдерживает кратковременное и не очень сильное высушивание, *S. balticum*, *S. majus*, *S. obtusum*, *S. subsecundum* – к мочажинной гипергигрофильной группе и не выносят высушивания.

Линейный прирост определяли методом перевязок (Грабовик, 2002).

Анализ динамики годичного прироста сфагновых мхов показал большие колебания как в

пределах одного микроценоза в разные годы, а также различия в течение одного вегетационного периода в различных по трофности и увлажнению ценозах (табл. 1, 2).

Максимальный прирост *Sphagnum fallax* отмечен в 2001 г, когда осадки и температура воздуха в этот вегетационный период не превышали средние многолетние данные. В 2002, 2005 и 2010 г.г. отмечен минимальный прирост. По-видимому, на рост *S. fallax* влияют не только избыточное количество осадков июня (в 2 раза больше нормы), выпавшее в 2002 г, что привело к резкому повышению УГВ, но и жаркое сухое лето 2010 г, когда УГВ резко понизился, что отрицательно сказалось на росте *S. fallax* (табл.2). Вероятно, в эти вегетационные периоды для роста отсутствовали оптимальные условия. В остальные годы погодные условия вегетационных периодов благоприятствовали росту и развитию мхов.

У *S. balticum* наибольший прирост отмечен в 2001, 2003 и 2008 г., погодные условия вегетационных периодов благоприятствовали росту и развитию мхов. УГВ не превышал оптимальные значения. Вегетационные периоды 2010 и 2002, 2005 г. были очень теплыми и засушливыми, острый дефицит осадков наблюдался в июне–июле, что, вероятно, и привело к снижению прироста. В остальные годы прирост *S. balticum* был близок к средним значениям (табл.2).

Наибольший прирост *S. obtusum* был отмечен в самые дождливые 2004, 2009 г., минимальный – в 2002 и 2003 г., в самые сухие и жаркие вегетационные периоды, когда УПГВ даже в топи был значительно ниже поверхности сфагнового

покрова. В остальные годы прирост был близок к средним значениям (табл. 2).

За исследуемый период значения годичного прироста топяного вида *S. subsecundum* незначительно отличаются друг от друга и близки к среднему значению. Вероятно, величина прироста обусловлена стабильными условиями увлажнения, не наблюдается резкого понижения УПГВ (табл.2). Это же можно сказать и о приросте *S. majus*, произрастающего в топи, где отмечены стабильные условия увлажнения.

На основании колебания средних данных линейного прироста в разные годы, нами было выделено 3 группы сфагновых сообществ: 1 – самый высокий прирост имел *S. obtusum*, произрастающий на топяных участках с хорошей проточностью; 2 – средние приросты были отмечены у *S. majus*, *S. subsecundum*, *S. fallax*, произрастают в слабопроточных обводненных топях; 3 – самый низкий линейный прирост у *S. balticum*, произрастающего в неглубоких мочажинах и коврах в условиях застойного увлажнения (табл.1, 2).

Исходя из полученных результатов, весной сфагновые мхи обеспечены водой в достаточном количестве и в благоприятные вегетационные периоды с теплой весной и теплым влажным летом у них отмечен максимальный прирост (табл. 2). В 2010 г. у сфагновых мхов отмечен минимальный прирост. Уровень болотной воды из-за аномально-жаркого летнего периода (июль-август) снизился ниже поверхности сфагнового покрова. По-видимому, снижение прироста в вегетационный период произошло в результате обезвоживания головок мха. Значительное снижение прироста

Таблица 1. Характеристика болотных участков на болотном массиве Неназванное

Тип болотного участка	Вид мха	Микро-рельеф	УГВ (см)	Проективное покрытие, %	Режим увлажнения
MO Sphagneta majusi + Sphagneta papillosoi	<i>Sphagnum majus</i>	мочажина	-1 – -5 см	80	обводненность, застойный
EM Sphagneta obtusi + Sphagneta subsecundi	<i>S. obtusum</i> <i>S. subsecundum</i>	топи топи	-5 – -13 см -1 – -5 см	60 30	обильный, слабопроточный
M Sphagneta fallaxi + Sphagneta riparii	<i>S. fallax</i>	ковёр топи	-10 – -15 см -1 – -2 см	90 50	слабопроточный проточный
O Sphagneta fusci + Sphagneta baltici	<i>S. balticum</i>	ковёр	-7 – -10 см	70	застойный

Таблица 2. Годичный прирост (мм) сфагновых мхов на болотных участках болота Неназванное

Вид мха	Годы исследований										Средний прирост
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
<i>S. fallax</i>	95	40	84	60	36	76	65	63	89	28	64
<i>S. balticum</i>	30	8	32	15	8	17	16	25	19	17	19
<i>S. obtusum</i>	116	69	69	140	77	73	118	116	126	96	100
<i>S. subsecundum</i>	59	48	55	67	57	71	75	52	61	71	62
<i>S. majus</i>	51	21	31	31	55	62	42	50	56	43	44

мхов вплоть до полного прекращения отмечается также в работах Педерсена (Pedersen, 1975), А.И. Максимова (1982). В остальные годы исследований линейный прирост сфагновых мхов был больше, чем в 2010 г. (табл. 2).

Полученные данные по линейному приросту отражают видовые различия сфагновых мхов по отношению к температуре и влажности.

Величина прироста сфагновых мхов зависит от погодных условий вегетационного периода. В большей степени влияние оказывает температура приземного слоя воздуха за летние месяцы, влияние атмосферных осадков выражено меньше.

1. Елина Г.А., Кузнецов О.Л., Максимов А.И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. - Л., 1984. - 128 с.
2. Грабовик С.И. Влияние климатических условий на линейный прирост сфагновых мхов южной Карелии. // Ботанический журнал. - 1994. - Т.79, №4. - С. 81–86.
3. Грабовик С.И. Динамика годичного пророста у некоторых видов SPHAGNUM L. в различных комплексах болот южной Карелии // Растительные ресурсы. - 2002. - Т. 38. Вып. 4. - С.62–68.
4. Лопатин В.Д. О принципах классификации торфа болот Северо-Запада на экологической основе // Вопросы комплексного изучения болот. - Петрозаводск, 1973. - С. 51–62.
5. Максимов А.И. К вопросу о приросте сфагновых мхов // Комплексные исследования растительности болот Карелии. - Петрозаводск, 1982. - С. 170–179.
6. Grabovirk S.I. Linear increment of shoots of some of the Sphagnum species on mires in south Karelia, Russia // International Bryological conference dedicated to 100 year anniversary of R.N. Schljakov. - Apatity, 2012. - P. 34–35.
7. Grabovik S.I. & Nazarova L.E. Linear increment of Sphanum mosses on Karelian mires (Russia) // Arctoa. - 2013. - Vol. 22. N 1–4. - P. 23–26.
8. Pedersen A. Growth measurement of five Sphagnum species in South Norway // Norw. J. Bot. - 1975. - Vol. 22. № 4. - P. 277–284.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ БИОТИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА И ЭМИССИИ УГЛЕРОДА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА

MODELLING DYNAMICS OF THE BIOLOGICAL TURNOVER AND CARBON EMISSION IN PEATLAND ECOSYSTEMS OF WESTERN-SIBERIA UNDER CLIMATE CHANGE

Н.Н. Завалишин

N.N. Zavalishin

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Moscow, Russia

E-mail: nickolos@ifaran.ru, <http://ifaran.ru/old/lme/Person/NNZ.htm>

Вследствие глобальных изменений климата и антропогенной деятельности наземные экосистемы претерпевают собственные изменения, которые отражаются в функционировании их биогеохимических циклов. Особый интерес представляет эволюция интразональных экосистем болот в связи с их вкладом в глобальный круговорот углерода и обеспечение гидрологического режима территорий. Характеристики биотического круговорота – запасы и потоки углерода и азота – измеряются на среднегодовом масштабе времени и в совокупности образуют статические схемы, которые служат источниками для построения динамических моделей круговорота. В среднегодовом масштабе усредненный отклик экосистем на вероятные изменения климата можно оценить через моделирование эволюции их биотического круговорота. Для этого построены двух- и трехкомпонентные динамические блоковые модели отдельного круговорота углерода или совместного биотического круговорота углерода и азота в нескольких основных типах болот бореальной (средняя и южная тайга) (Golovatskaya, Dyukarev, 2009; Головацкая, 2013; Косых и др., 2010) и лесотундровой зон Западной Сибири (Наумов и др., 2007; Наумов, 2009). Эти минимальные модели отражают основные биогеохимические процессы в болотных экосистемах: фотосинтез и дыхание растительности, опад, разложение и абиотическое окисление мертвого органического вещества, дыхание деструкторов и потребителей фитомассы, торфообразование, межэкосистемный обмен веществом. Взаимодействие между углеродным и азотным циклами обеспечивается двумя основными биохимическими механизмами, на которых была построена одна из первых моделей круговорота в экосистеме переходного болота в работе (Логофет и Александров, 1985): 1) интенсивность опада пропорциональна отношению $C:N$ в фитомассе, и при недостатке азота повышается (азотное голодание растений); 2) интенсивность разложения мертвого органического вещества уменьшается при увеличении

отношения $C:N$ в нем. Поскольку первичная продуктивность растительности является одним из определяющих потоков, аппроксимация ее зависимости от фитомассы существенно влияет на количество возможных равновесий и их устойчивость в динамических моделях. Формирование зависимости осуществляется по статистическим данным о фитомассе и продукции растительного покрова болотных экосистем бореальной и лесотундровой зон Северной Евразии, собранным в работах (Базилевич, 1993; Базилевич и Титлянова, 2008).

При создании динамических моделей круговорота возможно использовать два метода – «экспертный» и «асимптотический». В первом потоковые функции задаются исходя из экспертного знания о внутри- и межэкосистемных взаимодействиях, что позволяет находить все возможные равновесия модели и анализировать их устойчивость. Недостаток этого подхода состоит в том, что модельные равновесия нуждаются в экологической интерпретации, которая не для каждого из них существует, а в ряде случаев даже измеренное состояние не описывается модельной системой. Второй, «асимптотический», подход основан на идее асимптотического представления заранее неизвестных потоковых функций степенными рядами в окрестности измеренной равновесной статической схемы. Коэффициенты рядов определяются исходя из объема доступной информации с помощью статического анализа экологических сетей. Правые части системы балансовых дифференциальных уравнений круговорота представляют собой суммы степенных функций запасов вещества в резервуарах и являются некоторым приближением модели в окрестности заданного равновесия. Этот подход применяется для одиночного углеродного цикла верховых болот Западной Сибири, схемы которых можно считать близкими в сукцессионном смысле состояниями биотического круговорота.

Стационарные точки конкретной модели отражают климаксные состояния сукцессии,

а потеря устойчивости равновесий соответствует переходам между состояниями. Методы теории бифуркаций позволяют определить границы устойчивости стационарных состояний модели в пространстве параметров: интенсивности ассимиляции углерода растительностью из атмосферы, стока и разложения мертвого органического вещества. Перемещение через границы устойчивости равновесий соответствует переходу экосистемы в другое стационарное состояние или к колебательным режимам в зависимости от типа границы. Такое перемещение порождается изменением коэффициентов модели, зависящих от климатических величин – средней температуры и годовой суммы осадков, сценарий изменения которых задается фактическими данными или какой-либо климатической моделью. Биотический круговорот в наземных экосистемах зоны многолетней мерзлоты имеет особенности, обусловленные процессами протаивания и замораживания многолетнемерзлых грунтов. В ходе этих процессов углерод, скванный в мерзлых слоях

почвы, может при оттаивании давать существенную добавку к количеству мертвого органического вещества, подвергающегося разложению, что может увеличивать эмиссию углеродсодержащих газов в атмосферу.

В данной работе используются два сценария RCP-2.6 и RCP-8.5 модели IPSL с умеренным и экстремальным потеплением климата. На локальном уровне в средней тайге Западной Сибири часть олиготрофных болот может перейти в категорию лесных экосистем, а болота переходного и низинного типов на этой территории имеют тенденцию переходить в топяное (безлесное) состояние. Однако рямы (верховые болота, облесенные сосной) могут переходить как в сосняки, так и в категорию травяных топей. Рассмотрены последствия одновременного действия климатических изменений и хозяйственного освоения лесов и некоторых типов болот, а также пожаров, интенсивность которых в среднем увеличивается при изменениях по сценариям.

Работа поддержана Программой № 12 Отделения наук о Земле РАН «Процессы в атмосфере и криосфере как факторы изменений окружающей среды» и проектом 12-05-01092а РФФИ.

1. Alexandrov G.A., Bazilevich N.I., Logofet D.O., Tishkov A.A., Shytikova T.E. Conceptual and mathematical modelling of matter cycling in Tajozhny Log bog ecosystem. *In: B.C.Patten et al. (Eds.), Wetlands and Shallow Continental Water Bodies, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, 1994. - Vol. 2. - P. 45-93.*
2. Golovatskaya E.A., Dyukarev E.A., Carbon budget of oligotrophic mire sites in the southern taiga of Western Siberia. // *Plant and Soil. - 2009. - V. 315, #1-2. - P. 19-34.*
3. Александров Г.А., Логофет Д.О., Динамическая модель совместного круговорота органического вещества и азота в биогеоценозе переходного болота. *В сб.: «Математическое моделирование биогеоценотических процессов».* - М.: Наука, 1985. - С. 80-97.
4. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М., Наука, 1993.
5. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические особенности структуры и функционирования экосистем. – М., Наука, 1986.
6. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в наземных экосистемах. - Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008.
7. Наумов А.В., Косых Н.П., Мироничева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // *Сибирский Экологический Журнал. - 2007. - т. 5. - С. 771-779.*

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА МЕЗО-ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ

VARIABILITY OF CARBON DIOXIDE FLUXES IN BOREAL MESO-OLIGOTROPIC PEATLAND

С.В. Загурова, О.А. Михайлов
S.V. Zagirova, O.A. Mikhailov

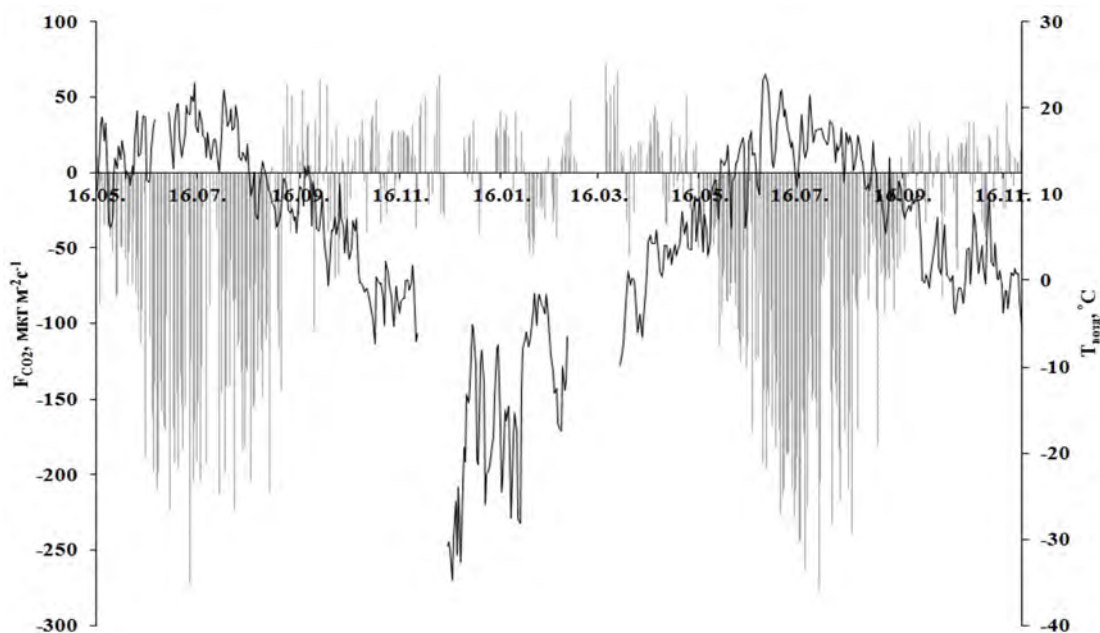
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
 Institute of Biology, Komi Research Center, Syktyvkar, Russia
 E-mail: zagirova@ib.komisc.ru

Потепление климата сокращает биологическую продуктивность сфагновых болот, усиливает эмиссию парниковых газов в результате ускорения деструкции органического вещества, накопленного в болотах в течение предыдущих тысячелетий (Aerts, 1997; Dorrepaal et al., 2003). Поэтому экосистемы северных болот могут превратиться в мощный источник диоксида углерода за относительно короткий период времени (Bubier et al., 1999). Изучению CO_2 – газообмена в болотных системах посвящены исследования многих авторов в России и за рубежом. На Европейском Севере России такие исследования проведены единично (Замолодчиков, 1997), поэтому пока не представляется возможным оценить роль болот бореальной зоны в связывании углерода в указанном регионе без количественных данных об интенсивности CO_2 – газообмена для всего разнообразия типов болотных экосистем.

Для проведения исследований было выбрано мезо-олиготрофное болото Медла-Пэв-Нюр, расположенное в среднетаежной подзоне на территории Республики Коми (61° 56' с.ш., 56° 13' в.д.). Площадь болота составляет 2790 га, средняя мощность торфа – 1.4 м, максимальная – 3.4 м. На участке болота, где располагается

измерительная система, растительный покров относится к трем основным типам сообществ: олиготрофное сосново-кустарничково-пушицево-сфагновое, мезотрофное кустарничково-травяно-сфагновое, мезоевтрофное травяно-моховое. Запасы органического вещества растений, включая подземные органы на глубине торфа до 25 см, составили 1.6-3.8 кг м⁻², из них масса фотосинтезирующих органов – 37-44 %. Пространственная вариабельность вертикальных потоков диоксида углерода в растительных сообществах на данном болоте была изучена ранее (Михайлов и др., 2011). Цель данной работы – выявить суточную и сезонную динамику вертикальных потоков CO_2 в болотной экосистеме с использованием метода микровихревых пульсаций.

Метод микровихревых пульсаций позволяет проводить непрерывные исследования без нарушения естественного состояния экосистемы. Измерения проводили в 2012-2013 гг. системой открытого типа, которая включала ультразвуковой анемометр для измерения скорости ветра в трех проекциях и акустической температуры воздуха (CSAT3, Campbell Scientific, США), и инфракрасный газоанализатор открытого типа (Li-7500A, Li-Cor Inc., США), установленные на



высоте 3.93 м. Данные регистрировали с частотой 10 Гц, их обработку производили в программном обеспечении EddyPro (Li-Cor Inc., США). Статистическая обработка первичных данных проводилась согласно методике (Vickers, Mahrt, 1997). Параметры микроклимата (температуру и влажность воздуха, интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР), падающей и отраженной солнечной радиации) регистрировали автоматической метеостанцией (Campbell Scientific, США). Результирующий поток диоксида углерода между болотом и атмосферой (NEE) разделяли на дыхание экосистемы (R_{eco}) и гросс-фотосинтез (P_{gross}) по общепринятой методике (Lloyd, Taylor, 1994; Lasslop et al., 2010).

Во все годы наблюдений в апреле, после таяния снега и оттаивания верхних горизонтов почвы, отмечали слабую эмиссию или слабый сток CO_2 , в целом за сутки выделение CO_2 с поверхности болота преобладало (рисунок). Выделение диоксида углерода в атмосферу возрастало ночью, несмотря на низкую температуру воздуха. В апреле величина NEE за сутки достигала 1.08 г м^{-2} .

Переключение эмиссии CO_2 на сток в болотной экосистеме весной происходит за очень короткий период, в течение нескольких дней, который совпадает с достижением суммы эффективных температур выше $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ и началом вегетации травянистых растений и кустарничков. Переход от эмиссии к стабильному стоку диоксида углерода в 2013 г. отмечен 15 мая. Скорость поглощения диоксида углерода постепенно возрастала с мая по июль. В середине июля, в период наиболее благоприятных условий для развития растительного покрова величина NEE достигала

в 2012 г. -220 , а в 2013 г. – $-240 \text{ мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$ (рисунок). Ночная эмиссия CO_2 также усиливалась в течение лета.

Переход от стока к эмиссии в болотных экосистемах осенью наблюдали в 2012 г. в начале сентября, а в 2013 г. – на 14 дней позже. С появлением снежного покрова потоки CO_2 снижались, но не прекращались, что согласуется с данными исследований других авторов (Arneeth et al., 2002). В течение суток преобладала эмиссия CO_2 , однако в некоторые дни наблюдали его сток, когда среднесуточная температура воздуха повышалась до $+5-7 \text{ }^\circ\text{C}$.

В зимний период, несмотря на значительную толщину снежного покрова (до 0.5 м), эмиссионный поток CO_2 с поверхности болота продолжался. Величина NEE за сутки достигла 0.04 г м^{-2} . Тенденцию к усилению эмиссии CO_2 с поверхности болота в зимний период наблюдали с повышением среднесуточной температуры воздуха до $-1.0 \text{ }^\circ\text{C}$

Таким образом, в разные по погодным условиям годы на мезо-олиготрофном болоте сохранялся относительно стабильный сток диоксида углерода в период вегетации. Наиболее неустойчивым периодом для суммарного стока углерода из атмосферы в болотную экосистему являются весна и осень, когда происходит переход температуры к положительным или отрицательным значениям. В зимний период на болоте кратковременное повышение температуры воздуха до -1°C усиливает поглощение диоксида углерода, что на сегодняшний день остается мало изученным явлением.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ПРООН/ГЭФ ООПТ Республики Коми № 00059042.

1. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углеродный баланс биогеоценозов тундровой зоны России // Углерод в биогеоценозах: Чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV. - М.: РАН, 1997. - С. 99-121.
2. Михайлов О.А., Загирова С.В., Мигловец М.Н., Шнайдер Ю., Гажович М., Кутцбах Л. Оценка потоков диоксида углерода в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. - 2011. - №2. - С. 44-51.
3. Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship // Oikos. - 1997. - № 79. - P. 439-449.
4. Arneeth A., Kurbatova J., Kolle O., Shibistova O.B., Lloyd J., Vygodskaya N.N., Schulze E.-D. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability of CO_2 fluxes // Tellus. - 2002. - № 54B. - P. 514-530.
5. Bubier J.L., Frolking S., Crill P.M., Linder E. Net ecosystem productivity and its uncertainty in a diverse boreal peatland // Journal of geophysical research. - 1999. - Vol. 104. № 22. - P. 27683-27692.
6. Dorrepaal E., Aerts R., Cornelissen J.H.C., Callaghan T. V., van Logtestijn R.S.P. Summer warming and increased winter snow cover affect Sphagnum fuscum growth, structure and production in a sub-arctic bog // Global change biology. - 2003. - № 10. - P. 93-104.
7. Lasslop G., Reichstein M., Papale D., Richardson A. D., Arneeth A., Barr A., Stoy P. Wohlfahrt G. Separation of net ecosystem exchange into assimilation and respiration using a light response curve approach: critical issues and global evaluation // Global change biology. - 2010. - № 16. - P. 187-208.
8. Lloyd J., Taylor J.A. On the temperature dependence of soil respiration // Functional ecology. - 1994. - Vol. 8. №3. - P. 315 - 323.
9. Vickers D., Mahrt L. Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data // Journal of atmospheric and oceanic technology. - 1997. - Vol. 14. - P. 512-526.

ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ТУНДРОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ METHANE EMISSION FROM TUNDRA WETLANDS OF WESTERN SIBERIA

В.С. Казанцев
V.S. Kazantsev

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Moscow, Russia
E-mail: kazantsev@ifaran.ru

Основным из природных источников метана являются болотные экосистемы. Суммарная площадь болот составляет от 5.2 до 5.9×10^6 км² или около 5% поверхности площади континентов. Глобальная эмиссия метана из болот оценивается в среднем 170 МтСН₄/год, что составляет около 82% глобальной эмиссии метана из природных источников. При этом 24-72 МтСН₄/год (25%) приходится на болотные экосистемы северных широт и 81-206 МтСН₄/год (75%) составляет эмиссия из тропических болот (Anderson et al., 2010).

Площадь тундровых экосистем Западной Сибири составляет около 344 тыс. км², 23% которой занимают болота. Эта территория, как источник атмосферного метана, еще недостаточно экспериментально изучена. Предварительные оценки годовой эмиссии метана с поверхности тундровых озер и болотных экосистем Западной Сибири приведены в статьях (Голубятников, Казанцев, 2013; Глаголев и др., 2010). В этой работе на основе экспериментальных данных о потоках метана в атмосферу из болотных экосистем тундровой зоны Западной Сибири оценена годовая эмиссия метана для этого региона.

Полевые исследования проводились в 2009-2010 гг. и в 2013 г. на ключевых участках тундровой зоны Ямало-Ненецкого автономного округа. Данные участки расположены в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Глубина протаивания на участках в период наблюдений составляла в среднем около 30 см. На каждом участке были исследованы разнообразные болотные микроландшафты (мёрзлые бугры, приозёрные сплавины, внутриболотные озёрки, олиготрофные мочажины, мезотрофные топи, эвтрофные болота).

Измерения удельного потока метана проводились методом статических камер. Использовались пластиковые камеры размером 30×40×40 см. Камеры устанавливали на основания из нержавеющей стали с водяным замком.

Основание заглубляли в торф на глубину 15 см. На озёрках использовали плавающие камеры, которые удерживались на поверхности воды с помощью поплавков. Время экспозиции (время от установки камеры до отбора последней пробы газа) составляло от 30 минут до 1 часа, в течение которого отбиралось четыре пробы камерного воздуха через равные промежутки времени. В качестве пробоотборников использовались трёхкомпонентные одноразовые пластиковые шприцы. После отбора камерного воздуха шприцы герметично закупоривались и доставлялись в лабораторию, где проводился количественный анализ газа. Анализ концентрации метана в каждом шприце проводился на хроматографе "Кристалл-5000.1", оснащённом пламенно-ионизационным детектором.

Величина эмиссии метана с поверхности болотных экосистем вычисляется на основе удельных потоков метана характерных для каждого микроландшафта, площадей, занимаемых каждым микроландшафтом, и продолжительности периода эмиссии. В качестве оценок удельных потоков метана из болотных микроландшафтов были выбраны значения медиан этих потоков. Для мёрзлых бугров это значение равно 0.05 мгСН₄/(м²·ч), для приозёрных сплавин – 3.17 мгСН₄/(м²·ч), для внутриболотных озер – 0.34 мгСН₄/(м²·ч), для олиготрофных мочажин – 1.95 мгСН₄/(м²·ч), для мезотрофных топей – 1.26 мгСН₄/(м²·ч), для эвтрофных болот – 0.48 мгСН₄/(м²·ч). Площади, занимаемые каждым микроландшафтом, определялись по литературным источникам. Продолжительность периода эмиссии принималась равной вегетационному периоду, т.е. количеству дней со средне-суточной температурой воздуха не менее +5°C.

На основе проведенных расчетов годовой поток метана в атмосферу с заболоченных территорий тундровой зоны Западной Сибири оценен в 0.1 ГтСН₄, что составляет около 3% региональной эмиссии метана Западной Сибири.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00193а), Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений окружающей среды».

1. Глаголев М.В., Клепцова И.Е., Казанцев В.С., Филиппов И.В., Максютлов Ш.Ш. Эмиссия метана из болотных ландшафтов тундры Западной Сибири // Вестник ТГПУ. - 2010. - Вып. 3(93). - С. 78–86.
2. Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. Вклад тундровых озёр Западной Сибири в метановый бюджет атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2013. - Т. 49. № 4. - С. 324–333.
3. Anderson B., Bartlett K., Frohling S., Hayhoe K., Jenkins J., Salas W. Methane and nitrous oxide emissions from natural sources. Washington: EPA, 2010. - 194 p.

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ INFLUENCE OF FIRE ON PEATLAND PRODUCTIVITY IN THE MIDDLE AMUR LOWLANDS

Т.А. Копотева, В.А. Купцова
Т.А. Kopoteva, V.A. Kupctsova

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия
Institute for Aquatic and Ecological Problems FAB RAS, Khabarovsk, Russia
E-mail: kopoteva@ivep.as.khb.ru

Одним из способов изучения динамики функционирования фитоценозов в ответ на стрессовые воздействия, например пожары, является мониторинг параметров продуктивности. Уничтожение растительности в результате пирогенного воздействия приводит к изменению структуры фитомассы и мортмассы, меняется продукция фитоценоза. Мезотрофные кустарничково-сфагновые болота с угнетенной лиственницей (мари), занимающие террасы среднего и верхнего течения рек преимущественно на окраинах Среднеамурской низменности, самой большой по площади в Приамурье, часто горят, что неоднократно отмечалось нами (Копотева, Косых, 2011). По некоторым оценкам эмиссия углерода от «низинных» пожаров с территории лесного фонда России (в том числе из-за палов на болотах) составляет 29,1 Мт/год (Минаева, Сиринов, 2002). Исследования по оценке ущерба от пожаров и восстановлению растительности на торфяных болотах проводятся в Западной Канаде (Turetsky, 2001, 2002). Территорию же Приамурья, имеющую значительные пространства торфяных болот на равнинах, можно назвать «белым пятном» в области этих исследований.

Нами проводятся мониторинговые наблюдения за восстановлением растительного покрова после пожара 2008 года на болотном массиве в юго-западной части Среднеамурской низменности (47°48'N, 135°39'E). На пройденных палом участках (около 80% площади массива) полностью были уничтожены надземные фитомасса и мортмасса кустарничково-травяного яруса. Выгорели также живая фитомасса и значительная часть мортмассы (очеса) мохового яруса, а также возобновление и подрост лиственницы. Остались отдельные редкие невыгоревшие пятна вытянутой формы с полностью сохранившейся растительностью, самые крупные размерами до 60 x 150 м. Растительный покров ненарушенных участков представлен моховым ярусом в основном из *Sphagnum fuscum*; кустарничково-травяным, доминантами которого являются *Ledum palustre* и *Chamaedaphne calyculata*; сильно разреженным кустарничковым из березы овалнолистной *Betula ovalifolia*, и древесным из

угнетенной лиственницы даурской *Larix cajanderi*, сомкнутость 0,1, бонитет V-Va. Торфяная залежь мощностью 1,5-2,5 м низинно-переходного типа имеет типичное для мезотрофных болот Среднеамурской низменности строение.

Надземная фитомасса кустарничково-травяного яруса отбиралась с поверхности головок мха в конце вегетационных сезонов 2009-13 гг. с площадок 0,5 м² в 10-кратной повторности на выгоревшем участке и участке с сохранившейся растительностью, т.е. ненарушенном. Подземная фитомасса отбиралась в конце сезона 2012 г. методом монолитов 1 дм² в 10-кратной повторности на глубину 25 см. Корни сосудистых выбирались вручную, визуально. Количество тонких живых и мертвых корней во фракциях «очес хорошо разложившийся» и «торф» дополнительно оценивали методом определения процентного соотношения в навеске, различая их по цвету и фактуре, с последующим перерасчетом, исходя из веса образца.

Границу между надземной и подземной частью растительного вещества устанавливали для сосудистых на уровне головок мха, при этом отнесли живые мхи к надземной части, хотя некоторые зарубежные исследователи проводят разделение надземной и подземной фитомасс на нижней границе фотосинтезирующей части сфагнового мха, определяя ее визуально (Murphy et al, 2009). Фитомасса мхов горизонта 0-10 см вся была отнесена к живой, поскольку были использованы материалы оценки запасов фитомассы и продукции с применением гистохимического метода. Продуктивность древесного яруса здесь нами не учитывалась, в общем запасе растительного вещества он имеет вместе с кустарником (*Betula ovalifolia*) небольшую долю: около 3-5%.

Для пересчета величин фитомассы и продукции в углерод (С) использовался общий усредненный конверсионный коэффициент 0,45 (Титлянова, 2005).

Камеральная обработка монолитов с разделением подземного растительного вещества на фракции (рис.) позволила дать оценку мозаичности прогорания и, благодаря этому, оценить потери от выгорания мортмассы мхов. Запас

фитомассы на негоревшем участке составил 34,2 т/га, на горевшем 63 т/га: произошло выгорание (неравномерное по интенсивности) значительной части сфагнового рыхлого слабо разложившегося очеса, что привело к увеличению плотности материала в акротельме в 2 раза. В фитомассе негоревшего участка доминируют мхи, в основном их мортмасса, сосудистых 33%. На горевшем доля сосудистых, особенно корней кустарничков, увеличена до 44% (рис.).

Расчет потери фитомассы от пожара показал величину 1590 г/м² (7,15 т С /га). Потери С от пожаров на болотах Западной Канады, рассчитанные другими методами, составляют 2,2±0,5 кгС/ м² – 22 тС/га (Turetsky, 2001) и даже больше: 3,2±0,4 кгС/ м² (Turetsky, 2002).

Очень большую сложность представляет определение подземной продукции сосудистых (BNP) на торфяных болотах. Учитывая, что залежи мезотрофных болот Среднеамериканской низменности сложены переходными и низинными травяно-древесно-кустарничковыми и травяно-кустарничковыми

торфами (Копотева, 2011), оценка их BNP очень важна. Подземные органы в общей живой фитомассе северных болот имеют долю до 77% (Титлянова, 2010). Весьма немногочисленные данные оценивают ее варьирующей с 40 до 90 % от подземной фитомассы (Aerts et al, 1992; Kosykh et al, 2008). Между надземной (ANP) и подземной продукцией психрофильных кустарничков гряд и подушек мезотрофных болот южной тайги нами подмечено соотношение: 0,26-0,31, то есть BNP кустарничков составляет 77-80% от их общей чистой первичной продукции (NPP) (Копотева, Косых, 2011). Поэтому мы оценили BNP кустарничков на ненарушенном участке нашего болота 285 г/м² год (77% от их NPP), что составляет 49% от их подземной фитомассы и сопоставимо с литературными данными для болот с такими же доминантами (ridge) (Kosykh et al 2008; Косых, Махатков, 2008), BNP кустарничков горевшего участка соответственно больше (табл.). Подземная фитомасса травянистых – узлы кущения многолетников и корни, представлена на ненарушенном участке величинами гораздо меньшими, чем у кустарничков, соответственно меньше продукция. На горевшем их масса увеличилась в 2,5 раза по сравнению с негоревшим (рис). Корни вейника незамечаемого и пушицы проникают здесь на глубину до 50 см, так что учтенные нами величины фитомассы этой фракции занижены. Литературные данные BNP трав сильно варьируют. Для мезотрофного травяного болота (mesotrophic fen), например, ее оценивают 66% от NPP (Kosykh et al, 2008; Титлянова, 2010). Для мезотрофной топи средней тайги (в основном корни трав и осок) дают оценку BNP 60-70% от NPP (Косых и др, 2009). Aerts et al определяют долю продукции корней и корневищ 37-66% от NPP (Aerts et al 1992). Мы приняли BNP травянистых 66% от их NPP. Рассчитанные нами данные

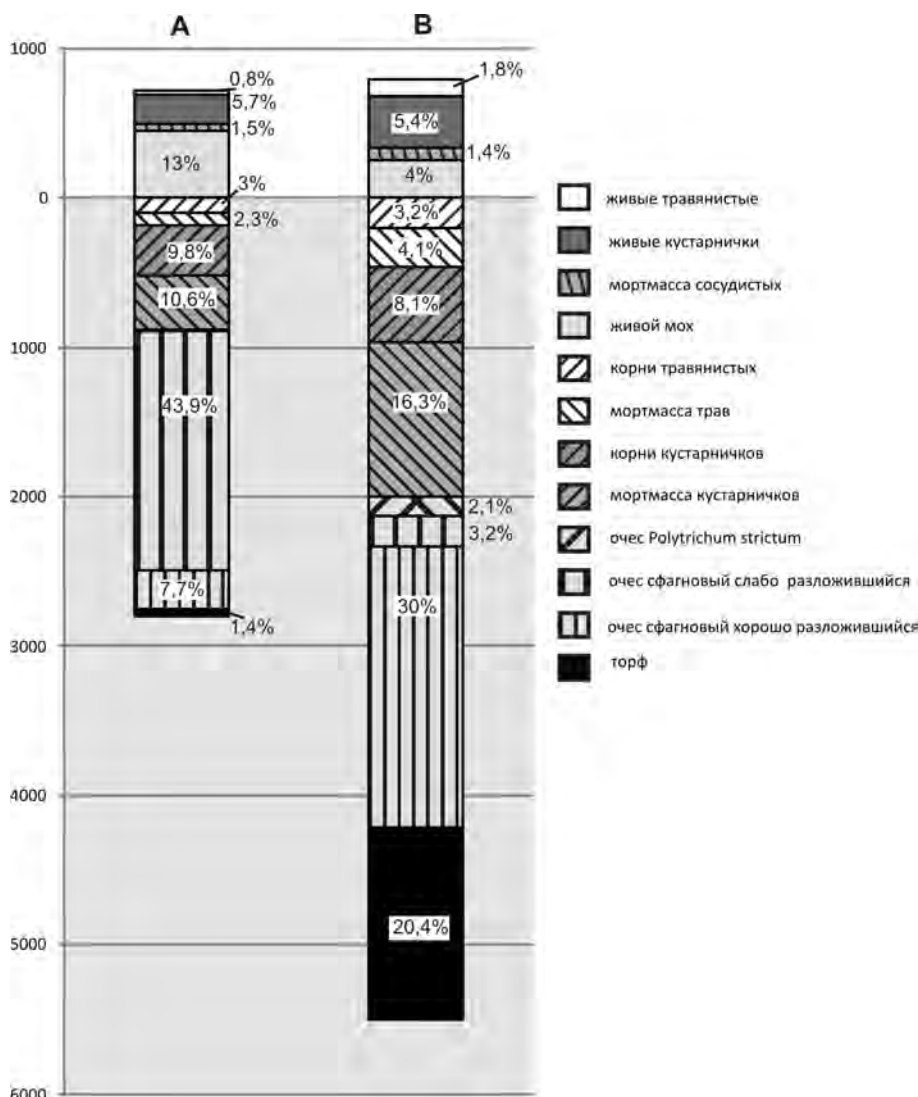


Рис. Структура запасов фитомассы негоревшего (А) и горевшего (Б) участков (4-й год восстановления)

Таблица. Динамика продукции ненарушенного участка болота (А) и выгоревшего (Б) в постпирогенный период, абс.-сух. вес, г/м² год

Годы исследований	А			Б		
	ANP	BNP	NPP	ANP	BNP	NPP
2009	95,5+107*	288,5	491	131	404	535
2010	92,2+170*	275	537	199	531	730
2011	97+277*	286	661	207	573	780
2012	112,5+131*	339	582,5	251,6+254**	680	1186

* - данные продукции мохового яруса (данные 2012 г. – среднемноголетняя за период 2005-2011 гг.),

** - продукция *Polytrichum strictum*

продукции фитоценозов обоих участков приведены в таблице.

К концу 4-го года NPP выгоревшей части фитоценоза превышает NPP негоревшего участка почти в 1,5 раза в основном за счет усиленного роста растений кустарничково-травяного яруса: благодаря омоложению кустарничков, а также из-за увеличившейся трофности биотопа и отсутствия конкуренции со стороны мохового яруса. Кроме того в 2012 г. ANP восстанавливающегося фитоценоза увеличивают разрастающиеся бриевые мхи, все это компенсирует потери растительного вещества от выгорания на 60%.

Несмотря на то, что NPP в период восстановления перекрывает по массе NPP ненарушенного фитоценоза, нельзя считать эти

восстанавливающиеся болота в постпирогенный период таким же стоком углерода как до пожара, поскольку согласно результатам экспериментальных оценок потери вещества при разложении сосудистых растений значительно превышают таковые у сфагновых мхов, и чем выше NPP, тем больше эти потери (Косых и др., 2009). В условиях отсутствия сфагнового покрова и наличия голого торфа должны быть снижены темпы торфонакопления, что доказывается сравнением времени оборота живой фитомассы (Ph/NPP): на горевшем оно составляет 1,2, приближаясь к индексу травяных болот, т. е. ее обновление происходит примерно за год. На ненарушенном процесс обновления фитомассы более заторможен и составляет 3 года.

1. Копотева Т.А., Косых Н.П. Сравнительная оценка структуры фитомассы и продуктивности мезотрофных кустарничково-сфагновых болот зоны тайги // Сибирский экологический журнал. - 2011. - № 2. - С. 307–310.
2. Копотева Т.А. Роль пожаров в формировании торфяной залежи и динамика надземных фитомассы и продукции в постпирогенный период на мезотрофных кустарничково-сфагновых болотах Среднеамурской низменности // Резервуары и потоки углерода. Мат-лы межд. конф. - Сыктывкар, 2011. - С. 81–86.
3. Косых Н.П., Махатков И.А. Структура растительного вещества в лесо-болотных экосистемах ср. тайги Зап. Сибири // Вестник Томского гос. пед. ун-та. - 2008. - № 4. - С. 77–80.
4. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Фитомасса, продукция и разложение растительных остатков в олиготрофных болотах средней тайги Западной Сибири // Вестник Томского гос. пед. ун-та. - 2009. - Вып.3(81). - С. 63–69.
5. Минаева Т.Ю., Сиринов А.А. Торфяные пожары – причины и пути предотвращения. // Наука и промышленность России. - 2002. - №9 (65). - С. 3–8.
6. Титлянова А.А., Кудряшова С.Я., Косых Н.П., Шибарева С.В. Биологический круговорот углерода и его изменение под влиянием деятельности человека на территории Южной Сибири // Почвоведение. - 2005. - № 10. - С. 1240–1250.
7. Титлянова А.А. Роль подземных органов в круговороте С в болотных экосистемах // Болота и биосфера. Мат-лы VII Всерос. конф. с междунар. участием науч. школы. - Томск, 2010. - С. 109–112.
8. Aerts R., De Caluwe H., Konings H. Seasonal allocation of biomass and in four *Carex species* from mesotrophic and eutrophic fens as affected by nitrogen supply // Journal of Ecology. - 1992. - Vol.80. №4. - P. 653–664.
9. Murphy M.T., McKinley A., Moore T.R. Variation in above- and below-ground vascular plant biomass and water table on a temperate ombrotrophic peatland // Botany. - 2009. - Vol. 87. - P. 845–853.
10. Kosykh N. P., Koronotova N. G., Natalia B. Naumova, Argenta A. Titlyanova. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // Wetlands Ecol. Manage. - 2008. - Vol. 16. - P. 139–153.
11. Turetsky M. R., Wieder R. K. A direct approach to quantifying organic matter lost as a result of peatland wildfire // Can. J. For. Res. - 2001. - Vol. 31. - P. 363–366.
12. Turetsky M.R., Wieder K., Halsey L., Vitt D. Current disturbance and the diminishing peatland carbon sink // Geophys. Res. Letters. - 2002. - Vol. 29. - P. 211–214.

СООТНОШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНОГО И МОХОВО-ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСОВ НА СРЕДНЕТАЁЖНЫХ ВЫПУКЛЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТАХ

RATIO BETWEEN PRODUCTIVITY OF TREE AND MOSS - GRASS - DWARF SHRUB STOREYS IN OMBROTROPIC RAISED BOGS IN THE MIDDLE TAIGA

Н.Г. Коронатова*, Н.П. Косых
N.G. Koronatova*, N.P. Kosykh

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
*E-mail: coronat@mail.ru

В подзоне средней тайги Западной Сибири выпуклые олиготрофные (сфагновые) болота занимают до 56 % площади [Глебов, Ускова, 1984]. В микрорельефе верховых олиготрофных болот выделяют пониженные наиболее обводнённые участки (мочажины, топи) и повышенные более дренированные элементы (гряды, ямы). В Западной Сибири в фитоценозах пониженных микроландшафтов этих болот доминируют разные виды трав и сфагновые мхи, а на повышенных микроландшафтах – сфагны, кустанички и деревья. Прежде при оценке продуктивности болотных экосистем древесный ярус не всегда учитывался. Поэтому цель работы – представить данные по параметрам продуктивности отдельно для мохово-травяно-кустарничкового и древесного ярусов повышенных микроландшафтов олиготрофных болот в пределах средней тайги Западной Сибири.

Основная порода, которая формирует болотные древостои в Западной Сибири, – это болотная форма сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. f. *litwinowii* Sukacz., высотой 2–4 м [Сукачев, 1973]. Часто к сосне обыкновенной примешивается сосна сибирская (кедровая) *Pinus sibirica* Du Tour.

Исследование проводили на грядах и рядах четырёх болотных массивов возле городов Ханты-Мансийска и Сургута (табл.). На болотах численность древостоев значительно изменялась, а средняя высота деревьев колебалась от 1 до 1,8 м. Подрост возрастом до 7–8 лет не учитывался.

Болотный массив Мухрино включает различные болотные экосистемы, здесь работа выполнялась на базе полевой станции Югорского университета. На грядах и рядах этого болота сосна сибирская (кедровая) была представлена молодыми деревьями, их средняя высота была 44 см и средний диаметр 11 мм; единично встречались особи высотой до 7 м. Болото Чистое расположено возле пос. Шапша, где находится стационар Югорского университета. На этом болоте возраст сосны сибирской был 4–18 лет, средняя высота 63 см, средний диаметр у поверхности мохового покрова 17 мм. Болота Фёдоровское и Тор располагались в Сургутском полесье, болото Тор характеризовалось антропогенной нарушенностью. Фёдоровское болото представляло собой переходный вариант между рямом и грядово-мочажинным комплексом,

Таблица. Характеристика древостоев на ключевых участках

Название болота	Эко-система	Координаты	Численность сосны обыкновенной, тыс.шт/га	Численность сосны сибирской, тыс.шт/га	Численность сухостоя, тыс.шт/га	Средняя высота сосен, см	Средний диаметр сосен, мм
Мухрино	рям	60°53' с.ш., 68°41' в.д.	28,7	2,0	1,5	100	14
	гряды	60°53' с.ш., 68°40' в.д.	13,0	2,0	1,7	110	25
Чистое	рям	61°03' с.ш., 69°27' в.д.	1,9	2,4	0,4	180	33
Тор	гряды	61°25' с.ш., 73°04' в.д.	7,6	0	0,3	130	30
Фёдоровское	рям	61°26' с.ш., 73°20' в.д.	8,5	0,8	0,6	110	27

где площадь мочажин не превышала 5%. Здесь сосна сибирская имела максимальный возраст 40 лет, и среднюю высоту и диаметр – 50 см и 17 мм, соответственно.

Основной вклад в продуктивность древесного яруса болот вносит сосна обыкновенная. Для оценки продуктивности деревьев на ключевых участках закладывались 1-2 пробные площади 10x10 м на рядах и 5-7 пробных площадей 10x1,5 м на грядах, поскольку размер гряд и их вытянутая форма ограничивали возможность закладки пробных площадей большей величины. На пробных площадях измеряли высоту деревьев с точностью до сантиметра, диаметр ствола на уровне мохового покрова с точностью до миллиметра и возраст. На каждом ключевом участке отбирали по 5-8 модельных деревьев. Общее число отобранных сосен составило 39 от самых маленьких с диаметром ствола 3 мм и высотой 15 см до наиболее крупных с диаметром 70 мм и высотой 300 см. Надземная фитомасса модельных деревьев с диаметром ствола более 48 мм определялась методом модельных веток [Молчанов, Смирнов, 1967]. Камеральная обработка заключалась в разделении модельных экземпляров на фракции хвои, побегов и ствола. Хвоя и побеги в свою очередь делились на прирост текущего года, прирост предыдущего года и т.д. Также из мохового оцёса извлекались погружённая в него часть ствола с корнями. Фракции высушивались и взвешивались. Надземная первичная продукция определялась как сумма запасов фотосинтезирующей фитомассы (хвои) и побегов текущего года. Радиальный прирост не определялся.

Оценка продуктивности мохово-травяно-кустарничкового яруса проводилась по общепринятой методике с выделением площадок размером 50x50 см и отбором монолитов размером 1 дм³ [Титлянова, 1988; Kosykh et al., 2008]. При этом запас корней деревьев определялся методом монолитов так же, как и запас подземных органов трав и кустарничков. В монолитах чаще всего находились проводящие корни, диаметром не более 3 мм, и мелкие сосущие корни деревьев, которые быстро обновляются. Крупные долгоживущие проводящие корни, которые концентрируются вокруг стволов, не учитывались.

Для возрастной структуры болотных сосняков характерно преобладание молодняка в возрасте от 10 до 20 лет (около 40%). Доля поколений 20-40, 40-60 и 60-80 лет составила в среднем по 20%, деревья в возрасте более 80 лет встречались единично. Соотношение диаметра ствола и возраста деревьев приведено на рис. 1. Из рисунка следует, что диаметр ствола у деревьев одной возрастной группы может различаться в несколько раз. Так, две 30-летние сосны имели диаметр ствола 8 и 22 мм. И напротив, сходный

диаметр может быть у деревьев разного возраста: диаметр ствола 7-8 мм был отмечен у сосен в возрасте 10, 21 и 30 лет. Это связано с тем, что рост сосен на болотах зависит от конкретных экологических условий, которые определяются нанорельефом поверхности: на кочках и в межкочьях разные уровни стояния болотных вод, скорость роста сфагнов, условия освещённости и прочее. В связи с этим в нашем исследовании для оценки фитомассы не производилось деления на возрастные группы.

Фитомасса разных фракций модельных деревьев аппроксимировалась степенными уравнениями в зависимости от диаметра ствола на уровне мохового покрова (рис. 2). Величина достоверности аппроксимации R^2 была 0,94 и выше для фракций хвои и побегов текущего года, хвои прошлого года, трёхлетних хвои и побегов, побегов четырёх и более лет, а также ствола над моховым покровом, 0,89 – для прошлогодних побегов и 0,64 – для хвои четырёх и более лет.

Соотношение вкладов древесного яруса и мохово-травяно-кустарничкового яруса в общую продуктивность болот приведено на рис. 3. На деревья приходится значительная часть нефотосинтезирующей надземной фитомассы (от 32 до 84%), где углерод депонируется и выводится из круговорота на срок, равный времени жизни деревьев. Деревья обеспечивают также большой вклад в надземную мёртмассу за счёт сухостоя: от 30 до 78%. Фракции, которые у деревьев быстро обновляются – хвоя и мелкие корни, – вносят небольшой и почти одинаковый вклад: в общий запас фотосинтезирующей (зелёной) фитомассы от 5 до 18%, в запас корней и корневищ сосудистых растений от 3,5 до 18%. Наименьшим является вклад деревьев в первичную продукцию: от 2 до 9,5% в надземную и от 9 до 23% в подземную.

В заключение отметим, что древостой выпуклых олиготрофных болот характеризуется карликовостью и неравномерностью роста. Несмотря на значительную разницу в численности древостоев на разных болотах (см. табл.), вклад

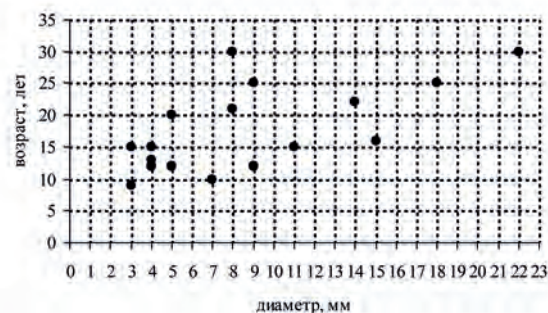


Рис. 1. Соотношение возраста сосен и диаметра ствола у поверхности мохового покрова

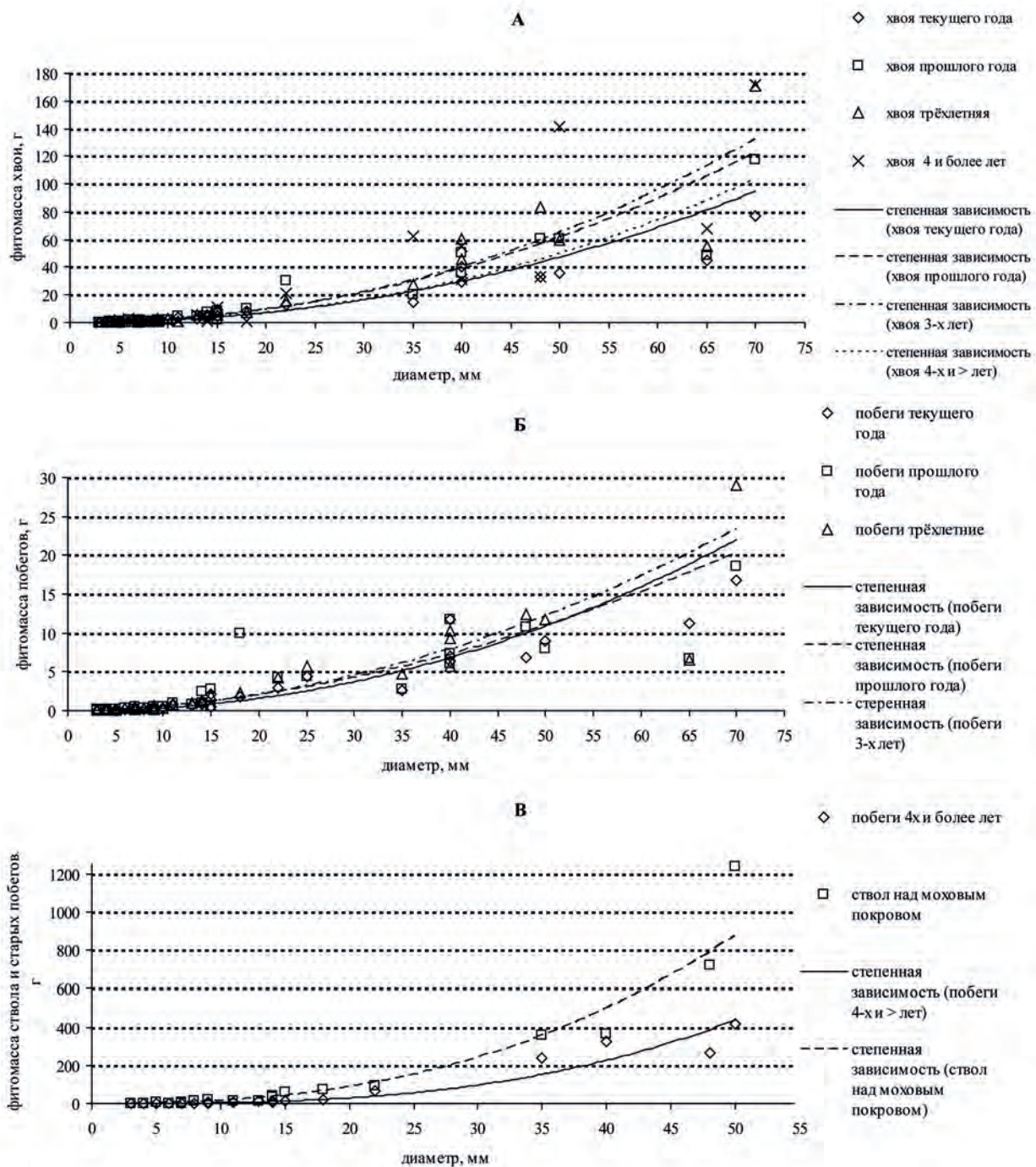


Рис. 2. Степенная зависимость фитомассы разных фракций от диаметра ствола на уровне мохового покрова: А – фракция 1, 2, 3 и 4-х летней хвои, Б – фракция 1, 2, 3-х летних нефотосинтезирующих побегов, В – фракция одревесневших побегов без хвои возрастом от 4-х и более лет и надземной части ствола

древостоев в общую продуктивность этих болот различался не так сильно, как численность. Например, на болотах Мухрино (ряд с численностью деревьев 28,7 тыс.шт/га) и Фёдоровское (8,5 тыс.шт/га) вклад в зелёную фитомассу составил 14 и 16%, в нефотосинтезирующую фитомассу – 74 и 81%, подземную фитомассу – 16 и 18%, надземную продукцию – 9,5 и 8,5%,

подземную продукцию – 19 и 15,5%, соответственно. Значительное расхождение в оценках было отмечено только для фракции надземной мортмассы (78 и 52%). Исключением было болото Чистое с наименьшей численностью деревьев, где наблюдалось снижение вклада древостоев в общую продуктивность для всех фракций фитомассы и продукции.

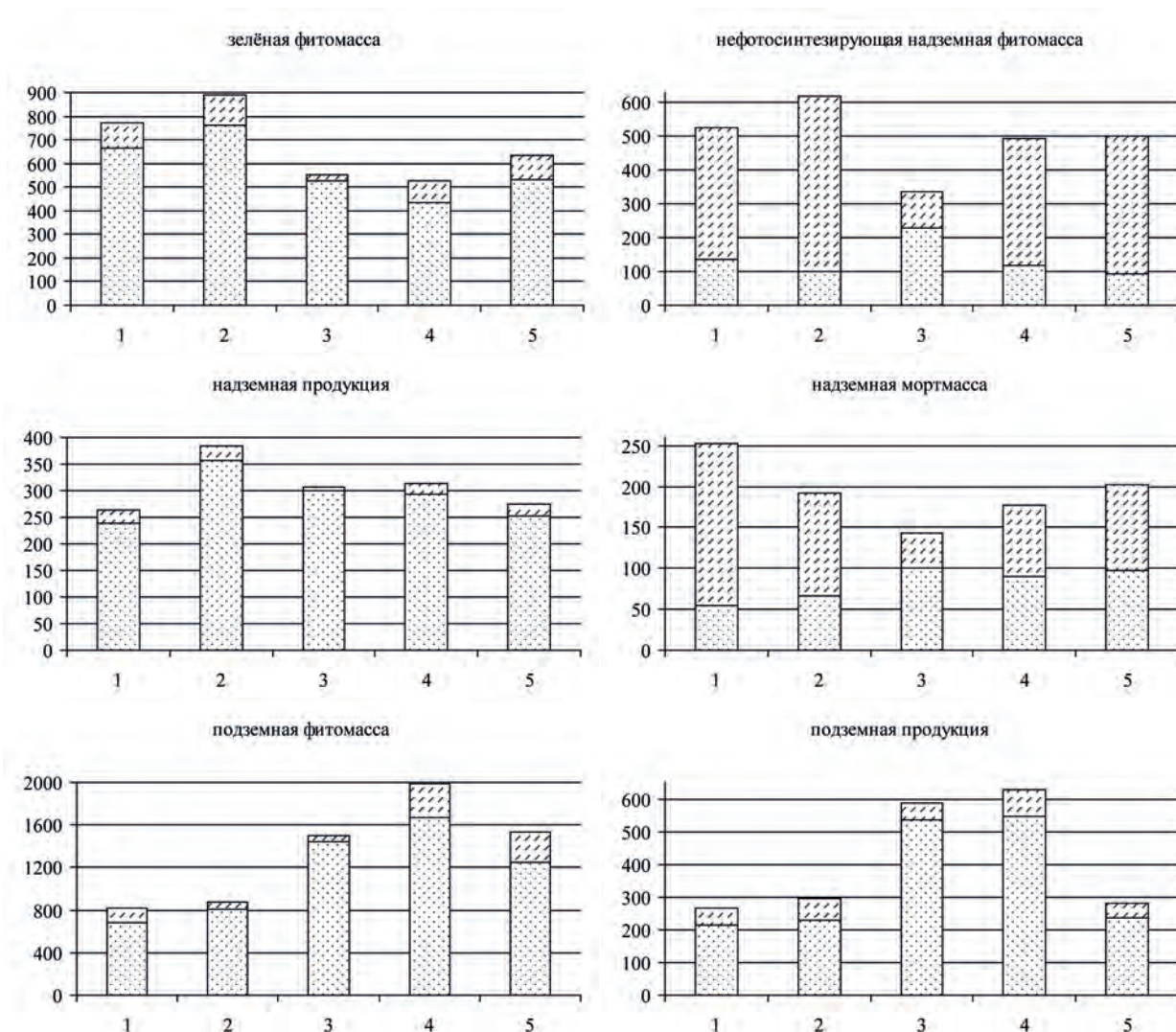


Рис. 3. Вклад древесного яруса в общие запасы фракций фитомассы ($г/м^2$), мортмассу ($г/м^2$) и чистую первичную продукцию ($г/м^2$ в год) в болотных экосистемах средней тайги. Заштрихованная часть гистограмм отображает вклад древесного яруса, светлая часть – вклад мхов, трав и кустарничков: 1 – Мухрино, рям, 2 – Мухрино, гряды, 3 – Чистое, 4 – Тор, 5 – Фёдоровское.

Деревья повышенных микроландшафтов способствует замедлению скорости круговорота углерода, поскольку происходит его депонирование в долгоживущих одревесневших частях, а также в сухостое, вклад которых в общий запас

фитомассы и мортмассы значителен – до 84 и 78 %, соответственно. Видимо, отсутствие деревьев в экосистемах пониженных микроландшафтов способствует увеличению скорости круговорота углерода.

1. Глебов Ф.З., Ускова Л.М. Пространственные взаимоотношения леса и болота в таежной зоне Западно-Сибирской равнины // Ботан. журн. - 1984. – Т.69. № 12. – С. 1634-1640.
2. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. – М., 1967. – 95 с.
3. Титлянова А.А. Методология и методы изучения продукционно-деструкционных процессов в травяных экосистемах. В кн.: Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Под ред. В.Б. Ильина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1988. – С. 3-10.
4. Kosykh N.P., Koronotova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // Wetlands Ecology and Management. - 2008. - V.16. - P.139-153.

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО ПРИРОСТА И ПРОДУКЦИИ ДВУХ ВИДОВ СФАГНОВЫХ МХОВ ПО ШИРОТНОМУ ГРАДИЕНТУ

CHANGES OF LINEAR INCREASE AND PRODUCTIVITY OF TWO SPHAGNUM SPECIES ALONG THE LATITUDINAL GRADIENT

Н.П. Косых*, Н.Г. Коронатова

N.P. Kosykh*, N.G. Koronatova

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

*E-mail: kosykh@issa.nsc.ru

О продукции сфагновых мхов в Западной Сибири известно мало, хотя здесь складываются удобные условия для изучения прироста одних и тех же видов мхов вдоль широтного градиента. Западно-Сибирская низменность характеризуется равнинным рельефом с небольшим уклоном к океану с высотами до 150 м над уровнем моря, что создаёт идеальные условия для развития болотных сфагновых массивов на всей её протяжённости, и позволяет проследить рост сфагновых мхов по всем климатическим зонам на расстоянии 2500 км. Небольшое повышение в рельефе в виде Сибирских Увалов (150 м н.у.м.) приводит к повороту реки Оби в широтном направлении и развитию огромных болотных массивов, таких как Сургутское поле-сье и Большое Васюганское Болото. Развитие болотных массивов в настоящее время зависит от продуктивности растительного покрова и вклада сфагновых мхов, основных эдификаторов и доминантов торфяных болот, которые имеют большое влияние на этот процесс. Рост мхов зависит от многих факторов: от уровня болотной воды (Luken, 1985), климата (Грабовик, 2002), от микрорельефа болот (Moore, 1989) и от видовой принадлежности (Gunnarsson, 2005). Коэффициент эффективности прироста (КЭП) или отношение продукции к запасам зелёной фитомассы сфагновых мхов максимален в южной тайге Западной Сибири, с продвижением на север и на юг от таежной зоны КЭП снижается и минимума достигает при недостатке влаги в лесостепи или тепла в лесотундре (Косых, 2008). Цель настоящего исследования заключается в том, чтобы выявить закономерности

распределения продукции и линейного прироста двух видов сфагновых мхов в лесостепной, таежной и лесотундровой зонах Западной Сибири. Наша задача состояла в сравнении этих двух параметров роста для видов *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. (сфагнум бурый) и *S. magellanicum* Brid. (сфагнум магелланский), для оценки был использован один метод в один и тот же год.

Для определения линейного прироста и продукции на олиготрофных болотах Западно-Сибирской равнины были заложены 8 ключевых участков вдоль широтного градиента с расстоянием между ними в 2 - 3 градуса, которые расположены во всех геоботанических зонах (табл. 1). В лесостепной зоне с недостаточным переменным увлажнением среди низинных травяных болот верховые сфагновые болота встречаются небольшими островками диаметром 4-6 и менее км – это рямы. На ряме «Николаевский» развиты сосново-кустарничково-сфагновые или березово-кустарничково-сфагновые фитоценозы. В их моховом ярусе господствуют *S. fuscum* и *S. capillifolium* (Ehrh.) Hedw. Наибольшего распространения олиготрофные болота достигают в средней и южной тайге. Климатические условия таежной зоны способствуют развитию болотной растительности и распространению болотных массивов, которые в современных ландшафтах занимают до 46 % общей площади (Болота..., 1976). Здесь безраздельно доминирует *S. fuscum*, а в межкочьях на рямах, грядах и на кочках в топях встречается *S. magellanicum*. В южной тайге на юго-восточных отрогах большого Васюганского болота в междуречье Иксы и

Таблица 1. Расположение ключевых участков

№	Подзона	Координаты		Ключевой участок	Высота, м н.ур.м.	Экосистема
		°N	°E			
1	Лесостепь	55,13	79,03	Николаевка	125	Рям
2	Южная тайга	56,85	82,83	Плотниково	100	Рям, гряда
3	Средняя тайга	60,92	76,81	Нижневартовск	50	Рям, гряда
4		62,23	74,13	Когалым	90	Гряда
5	Северная тайга	62,97	75,18	Пограничное	120	Гряда
6		63,22	75,71	Тету-Мамонтотяй	125	Бугор
7	Лесотундра	64,55	76,95	Губкинское	35	Бугор
8		65,87	74,95	Пангоды	75	Бугор

Бакчар располагается Бакчарский олиготрофный выпуклый болотный массив, где заложен второй ключевой участок «Плотниково». В средней тайге заложены 2 ключевых участка, один из них в районе Нижневартовска в междуречья Ваха и Оби на типичном олиготрофном выпуклом грядово-мочажинном болоте (ключевой участок «Савкино»). Второй участок в средней тайге располагается в Сургутском полесье на болотах озерно-грядово-мочажинных комплексов в районе г. Когалыма. В северной тайге наблюдается наибольшее разнообразие болотных экосистем от олиготрофных гряд и рямов до мерзлотных бугров. В северной тайге выбраны 2 точки на совершенно разных типах болот. Одно из них – водораздельное плоскобугристое болото «Тету-Мамонтотяй», где сфагны доминируют наравне с лишайниками. На расстоянии 40 км от него в юго-западном направлении на южном макросклоне Сибирских Увалов, где начинаются отроги Сургутского полесья, в междуречьях рек Линуингухта и Айкауган, текущих на юг, располагается ещё один ключевой участок. Он представлен богатым аапа-болотом «Пограничное». На грядах аапа болота доминирует *S.fuscum*. В понижении гряд и в межкочьях, часто встречается *S.magellanicum*. В лесотундровой зоне также было выбрано 2 участка. Один из них располагается на северном макросклоне Сибирских Увалов и представлен плоскобугристым мёрзлым болотом «Губкинское» с доминированием лишайников. Здесь всего 1-3% площади приходится на сфагновые мхи, которые в основном представлены *S.fuscum*, очень редко встречается *S.magellanicum*. Самый северный вариант плоскобугристых болот располагается в районе пос. Пангоды, где *S.fuscum* встречается редко по краю бугров или в микропонижениях между лишайниковыми кочками, а *S.magellanicum* на буграх вообще не был найден.

На каждом ключевом участке были заложены по 4 площадки, размером 50x50 см, на которых было сделано описание сосудистой растительности и измерен уровень болотной воды. Средний линейный прирост оценивался по образцам 3-4 «ёршиков». Метод «ёршиков» был предложен шведскими учеными в рамках проекта «The Global Sphagnum Production (GSP)» и представляет собой модификацию метода колышков Климо (1970). Из керна размером

1 дм³ отбирались мхи, которые разделялись на фракции: апикальные верхушки и стебли, выбирались сосудистые растения. Затем фракции высушивались до воздушно-сухого состояния при 60°C. Продукция высчитывалась как произведение линейного прироста на удельный вес 1 мм с площади 1 дм².

В связи с тем, что мхи вносят значительный вклад в продукцию болот, особый интерес вызывает их распределение в пространстве и связь продукции с другими параметрами их роста, которые определяются легко и не требуют особых затрат времени и сил. На первый взгляд линейный прирост тесно связан с продукцией и мы особенно тщательно исследовали этот параметр по широтному градиенту (рис. 1).

Линейный прирост сфагнов может меняться в несколько раз в зависимости от природной зоны и типа болота. Максимальный линейный прирост наблюдался у *S.fuscum* (20 мм) и *S.magellanicum* (32 мм) в южной тайге. Южнее, в лесостепи, прирост уменьшился до 17 мм у *S.fuscum*, и был 31 мм у *S.magellanicum*. К северу, в зоне лесотундры, из-за недостатка тепла линейный прирост снизился до 7 мм у *S.fuscum* и до 4 мм у *S.magellanicum*. Здесь прирост более адаптированного к неблагоприятным условиям бурого мха был меньше в 3 раза, а *S.magellanicum* – в 8 раз по сравнению с южной тайгой. Явное отличие наблюдалось в линейном приросте *S.fuscum* на двух разных болотах, расположенных близко друг от друга. Так на мёрзлом плоскобугристом болоте Тету-Мамонтотяй прирост составил 7 мм, а на аапа-болоте Пограничное, расположенном на расстоянии 40 км в юго-западном направлении от него, прирост был почти в 2 раза больше. В то же время, линейный прирост мхов на плоскобугристых болотах (Тету-Мамонтотяй, Губкинское, Пангоды), расположенных далеко друг от друга, имел сходное значение. Часто на одном болоте у разных видов мхов был одинаковый прирост, например, на болоте Тету-Мамонтотяй. Таким образом, на линейный прирост оказывает влияние не только климат, но и тип болота.

Продукция сфагнов тесно связана с линейным приростом, плотностью их стеблей и зависит от удельного веса самого растения. Продукция сфагнов по широтному градиенту менялась сильнее, чем линейный прирост. Максимум продукции

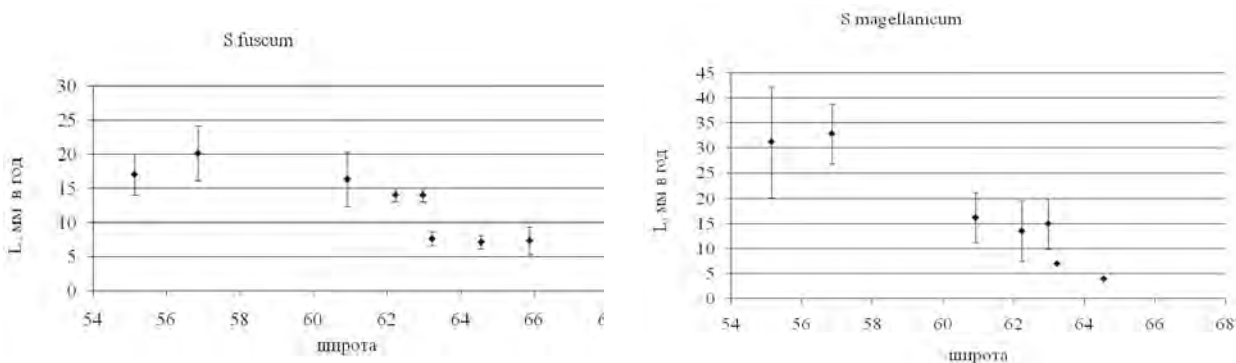


Рис. 1. Линейный прирост сфагнума по широтному градиенту

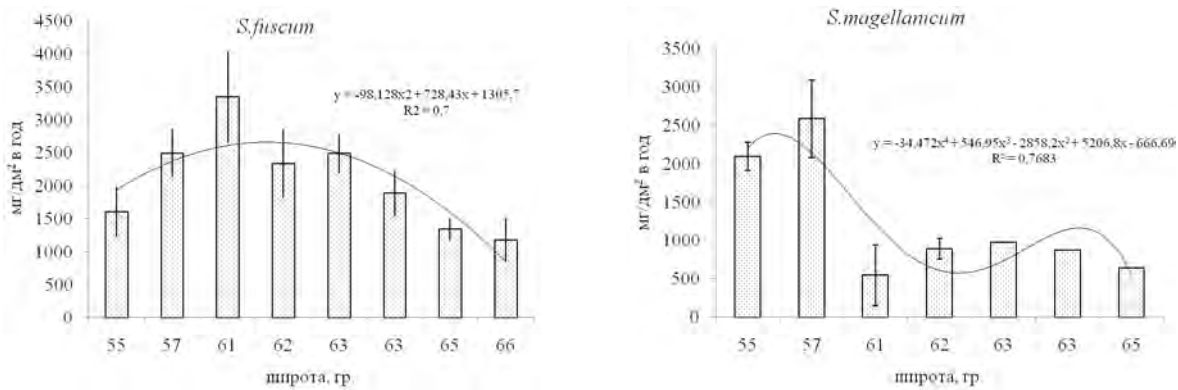


Рис. 2. Изменение чистой первичной продукции мхов по широтному градиенту

S.fuscum сместился из южной тайги в среднюю тайгу, в район Нижневартовска, тогда как у другого вида (*S.magellanicum*) максимум остался в южной тайге. Продукция изменялась от 1100 до 3200 мг/дм² за сезон, минимальная продукция наблюдалась в лесотундре в районе Пангоды, максимальная – в районе Нижневартовска в средней тайге у *S.fuscum*. Мох *S.magellanicum* также снизил свою продукцию с продвижением на север. Линейный прирост разных видов на одном и том же болоте (Тету-Мамонтотяй) мог быть близок, но при этом продукция могла отличаться существенно.

Линейная функциональная зависимость прироста и продукции хорошо выражена у *S.magellanicum* (рис. 3). Высокая величина линейного прироста этого вида приводит к равномерному распределению веточек и листьев. Из-за маленького линейного прироста *S.fuscum*,

взаимосвязь продукции и линейного прироста имеет более сложную функциональную зависимость.

Таким образом, продукция и линейный прирост зависят от подзоны и типа болота. В пределах одной подзоны линейный прирост одного и того же вида может сильно варьироваться в зависимости от типа болота. Линейный прирост разных видов сфагнов может быть довольно близок на одном типе болот, тогда как продукция отличается. В целом, чем выше линейный прирост сфагновых мхов, тем больше величина чистой первичной продукции. Оптимум тепла и влаги для максимального развития сфагновых мхов находится в средней или южной тайге. Недостаток тепла на севере и влаги в лесостепи приводит к снижению линейного прироста и продукции. Хорошо выражена функциональная связь чистой первичной продукции от величины линейного прироста у *S.magellanicum*, у *S.fuscum* эта связь не столь очевидна.

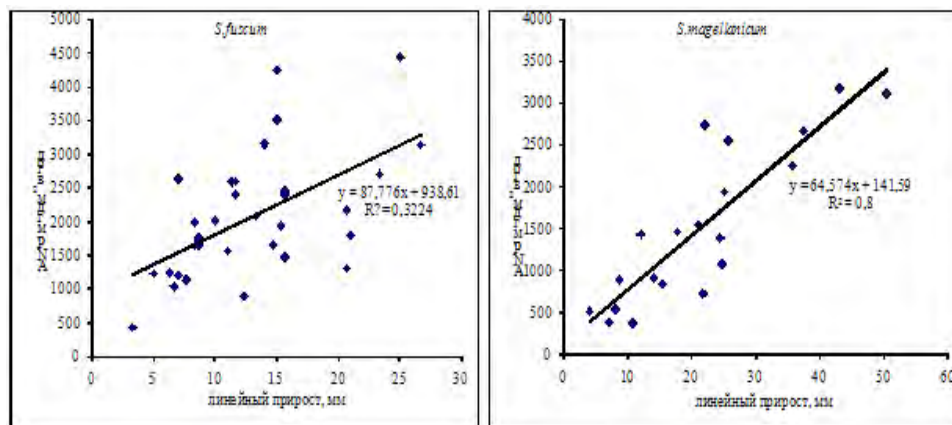


Рис. 3. Функциональная связь линейного прироста и продукции сфагновых мхов

Работа выполнена в рамках международного проекта «The Global Sphagnum Production (GSP)» и при поддержке грантом РФФИ 14-05-00775.

1. Luken J.O. Zonation of *Sphagnum* mosses: interactions among shoot, growth, growth form, and water balance // The Bryologist. - 1985. - V. 88. - P. 374-379.
2. Loisel J., Gallego-Sala A.V., Ju Z. Global-scale pattern of peatland *Sphagnum* growth driven by photosynthetically active radiation and growing season length // Biogeosciences. - 2012. - V.9. - P. 2737-2746.
3. Грабовик С. И. Динамика годовичного прироста у некоторых видов *Sphagnum* L. в различных комплексах болот Южной Карелии // Растительные ресурсы. - 2000. - Вып. 2. - С. 62-68.
4. Moore T.R. Growth and net production of *Sphagnum* at five fen sites, subarctic eastern Canada // Can.J.Botany. - 1989. - V.67. - P. 1203-1207.
5. Gunnarsson U. Global patterns of *Sphagnum* productivity // The Bryologist. - 2005. - V.27. - P.269-279.
6. Косых Н.П. Сфагновые мхи Западной Сибири: фитомасса и продукция. В кн: Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века. Матер-лы Всеросс. конф. - Петрозаводск, 2008. - Часть 5. - С.155-157.

УДЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ CH₄ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ CH₄ FLUXES FROM SOUTH TUNDRA'S ECOSYSTEMS OF WEST SIBERIA

Л.А. Кривенок^{1*}, М.В. Глаголев^{1,2,3,5**}, Ш.Ш. Максютов^{4,5***}

L.A. Krivenok^{1*}, M.V. Glagolev^{1,2,3,5**}, S.S. Maksyutov^{4,5***}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² Институт лесоведения РАН, Москва, Россия

² Institute of Forest Science RAS, Moscow, Russia

³ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

³ Ugra State University, Khanty-Mansiisk, Russia

⁴ National Institute for Environmental Studies, Tsikuba, Japan

⁵ Томский государственный университет, Томск, Россия

⁵ Tomsk National University, Tomsk, Russia

*E-mail: krivenok_lyudmila@mail.ru

**E-mail: m_glagolev@mail.ru

***E-mail: shamil@nies.go.jp

Важность метана как парникового газа хорошо известна (Ciais et al., 2013) и мы не будем на ней останавливаться. Основным естественным источником CH₄ являются болота и заболоченные земли (Ciais et al., 2013). К настоящему времени наиболее полно изученным в этом отношении регионом России является Западная Сибирь (Глаголев, 2010). С 1993 г. до настоящего времени в большинстве природных зон Западной Сибири было выполнено несколько тысяч измерений удельных потоков (УП) CH₄ – см., например, (Паников и др., 1993; Глаголев и Смагин, 2006; Глаголев и Клепцова, 2009; Repo et al., 2007). Но величины УП CH₄ из почв тундры Западной Сибири до недавнего времени оставались гораздо менее изученными – результаты эпизодических измерений см., например, в (Глаголев и др., 2010; Сабреков и др., 2011; Голубятников и Казанцев, 2013).

Целью нашего исследования являлось изучение удельных потоков метана с различных экосистем болот и суходольных участков в южной тундре, а также их систематизация вместе с УП, измеренными в этой подзоне ранее, для последующей оценки вклада в общую эмиссию метана.

Отбор проб проводили в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (подзона южной тундры) в конце июля – начале августа 2013 года в 12 км к ЮЮЗ от пос. Тазовский. Были выделены следующие объекты: сухая тундра (незаболоченная тундра, суходольные участки); плоскобугристые комплексы (с различным соотношением бугров и мочажин); мезотрофное болото (сфагново-осоково-пушициевое); олиготрофное болото (преимущественно сфагново-осоковое); полигональный комплекс (рассматривались валики и полигоны в совокупности); хасырей (открытое болото в спущенном озере).

УП CH₄ определяли при помощи статического камерного метода, как описано ранее в (Глаголев и Смагин, 2006). На каждой точке фиксировали глубину залегания мерзлого слоя, уровень болотных вод (УБВ), температурный профиль. Концентрацию газа в пробах измеряли на хроматографе «Кристалл 5000-2». Для калибровки использовали смеси газов метан/воздух с концентрацией CH₄ 0.49 ± 0.07, 5.30 ± 0.5 и 10.30 ± 0.6 ppm.

УП вычисляли методом регрессии (в координатах время – концентрация): линейной в случае

Таблица. Статистические параметры распределений УП CH₄ с болотных экосистем

Экосистема	Удельный поток метана, мгCH ₄ ·м ⁻² ·ч ⁻¹		
	Нижний квартиль	Медиана	Верхний квартиль
Плоскобугристый комплекс, мочажины	0.37	0.79	1.28
Плоскобугристый комплекс, бугры	0.05	0.11	0.33
Мезотрофное болото	0.12	2.75	4.78
Олиготрофное болото	-0.01	0.06	0.33
Полигональный комплекс	0.09	0.14	0.15
Хасырей	0.14	0.22	0.52
Сухая тундра	-0.05	-0.01	0.11

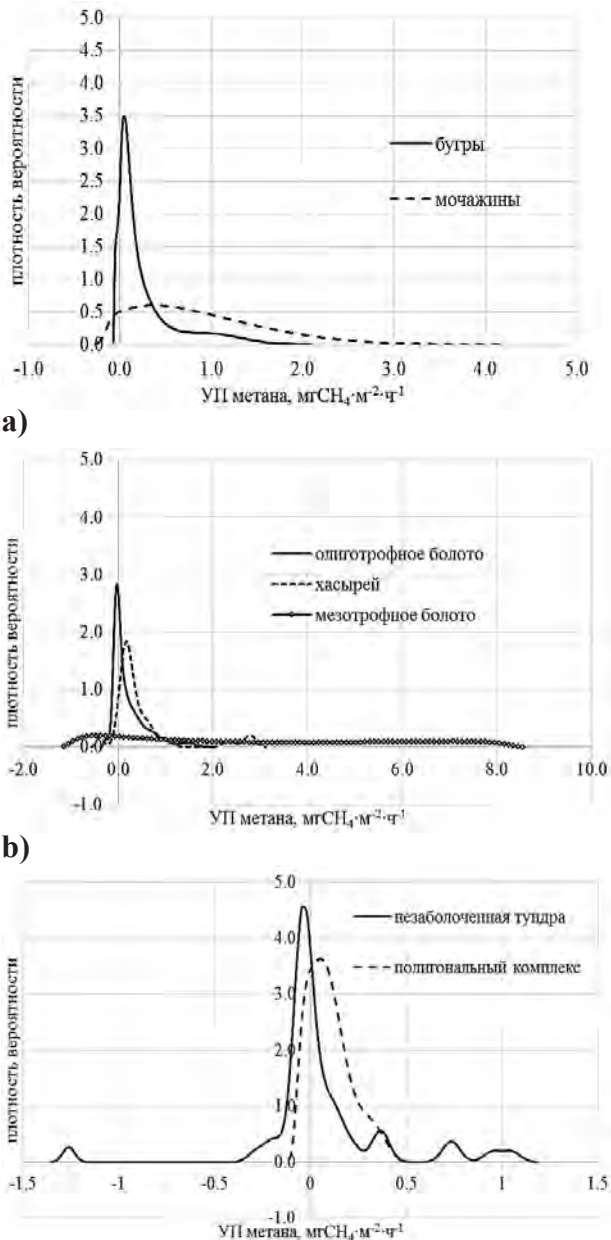


Рис. 1. Плотности вероятностей УП CH_4 в болотных экосистемах

Авторы выражают признательность к.ф.-м.н. Л.Л. Голубятникову (лаб. математической экологии ИФА им. А.М. Обухова РАН), любезно предоставившему возможность работы на хроматографе и А.П. Гармаш (МГУ имени М.В. Ломоносова), осуществившей отбор половины полевых образцов и хроматографический анализ части из них. Особую благодарность авторы выражают В.С. Казанцеву (лаб. математической экологии ИФА им. А.М. Обухова РАН), любезно предоставившему возможность участия в организованной им экспедиции, и И.Е. Клепцовой (Институт песоведения РАН), определившей типы экосистем по снимкам Landsat.

выделения CH_4 и нелинейной – при его поглощении. В табл. приведены некоторые статистические параметры распределений для всего массива УП, объединяющего результаты, полученные нами в данной работе с опубликованными для аналогичных экосистем ранее в (Глаголев и др., 2010; Сабреков и др., 2011; 2011a). Наибольшие УП наблюдаются с мезотрофных болот, а также с мочажин плоскобугристых комплексов.

Отрицательные УП (т.е. поглощение метана) обнаружены в точках с минеральными почвами (сухая тундра). Вероятно, это связано с аэробными условиями среды, не подходящими для активной деятельности метаногенов. Низкая влажность почвы на данных участках может способствовать потреблению CH_4 метанооксиляющими бактериями, как показано, например, в (Whalen et al., 1990). Полученные нами данные, в общем-то, соответствуют ранее опубликованным в литературе. Так, Adamsen and King (1993) для возвышенных участков в тундре продемонстрировали, что поглощение CH_4 находится на уровне $0.125 \text{ mgCH}_4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Похожие значения поглощения ($0.113 \text{ mgCH}_4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$) наблюдались также в тундре Аляски (Whalen and Reeburgh, 1990), что примерно соответствует нашим максимальным значениям. Сравнимые с нашими значения сообщались в (King et al., 1989) для тундры северного склона Аляски (поглощение CH_4 здесь 0.05 и $0.025 \text{ mgCH}_4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$).

Для общей выборки данных по УП CH_4 подзоны южной тундры была проведена множественная регрессия с весами в программе STATISTICA 8.0.550. Выявлена статистически значимая (для $p < 0.05$) зависимость УП метана ($\text{mgCH}_4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$) от УБВ (см):

$$\text{УП} = 0.267 - 0.002 \cdot \text{УБВ}.$$

На рис. 1а-с представлены распределения плотностей вероятностей УП CH_4 . Для построения использовали функцию ksdensity из Statistics Toolbox (Matlab 7.12.0).

1. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков CH_4 и CO_2 из болот России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2010. - Т. 1. № 2. - С. 5-57. Также доступна по URL: http://www.ugrasu.ru/uploads/files/EDCC_1_2_Glagolev.pdf (дата обращения: 23.12.2012).
2. Глаголев М.В., Клепцова И.Е. Эмиссия метана в лесотундре: к созданию «стандартной модели» (Аa2) для Западной Сибири // Вестник ТГПУ. - 2009. - Вып. 3(81). - С. 77-81. Также доступна по URL (дата обращения: 29.07.2010): http://vestnik.tspu.ru/files/PDF/articles/Glagolev_M._V.,_Kleptcova_I._E._77_81_3_81_2009.pdf

3. Глаголев М.В., Клепцова И.Е., Казанцев В.С., Филиппов И.В., Максюттов Ш.Ш. Эмиссия метана из болотных ландшафтов тундры Западной Сибири // Вестник ТГПУ. - 2010. - Вып. 3(93). - С. 78-86. Также доступна по URL (дата обращения: 29.07.2010): http://vestnik.tspu.ru/files/PDF/articles/batuev_v_i_78_86_3_93_2010.pdf
4. Глаголев М.В., Смагин А.В. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Доклады по экологическому почвоведению. - 2006. - Вып. 3. №3. - С. 75-114. Также доступна по URL: http://jess.msu.ru/index.php?option=com_scibibliography&func=view&id=34&Itemid=121&catid=62 (дата обращения 08.10.2012).
5. Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. Вклад тундровых озер Западной Сибири в метановый бюджет атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. - 2013. - Т. 49. № 4. - С. 430-438.
6. Паников Н.С., Титлянова А.А., Палеева М.В., Семенов А.М., Миронычева-Токарева Н.П., Макаров В.И., Дубинин Е.В., Ефремов С.П. Эмиссия метана из болот юга Западной Сибири // Доклады АН СССР. - 1993. - Т. 330. №3. - С. 388-390.
7. Сабреков А.Ф., Глаголев М.В., Клепцова И.Е., Башкин В.Н., Барсуков П.А., Максюттов Ш.Ш. Вклад мерзлотных бугров в эмиссию метана из болот тундры Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2011. - Т. 2. № 2(4). EDCCrар0002. Статья также доступна по URL (дата обращения: 17.11.13): http://www.ugrasu.ru/uploads/files/EDCC_2_2_Sabrekov.pdf
8. Сабреков А.Ф., Глаголев М.В., Клепцова И.Е., Максюттов Ш.Ш. Эмиссия метана из болот тундры: Результаты наблюдений 2010 г. // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2011а. - Т. 2. № 1(3). EDCCrар0001. Статья также доступна по адресу: http://www.ugrasu.ru/uploads/files/EDCC_2_1_Sabrekov.pdf (дата обращения: 16.11.13).
9. Adamsen A.P.S., King G.M. Methane Consumption in Temperate and Subarctic Forest Soils: Rates, Vertical Zonation, and Responses to Water and Nitrogen // Applied and Environmental Microbiology. - 1993. - V. 59. No. 2. - P. 485-490.
10. Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Quéré C. Le, Myneni R.B., Piao S. and Thornton P. Carbon and Other Biogeochemical Cycles // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. - 570 pp.
11. King S.L., Quay P.D., Lansdown J.M. The $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ kinetic isotope effect for soil oxidation of methane at ambient atmospheric concentrations // Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012). - 1989. - V. 94. №. D15. - P. 18273-18277.
12. Repo M.E., Huttunen J.T., Naumov A.V., Chichulin A.V., Lapshina E.D., Bleuten W., Martikainen P.J. Release of CO_2 and CH_4 from small wetland lakes in western Siberia // Tellus. - 2007. - V. 59B. - P. 788-796.
13. Whalen S.C., Reeburgh W.S. Consumption of atmospheric methane by tundra soils // Nature. - 1990. - V. 346. - P. 160-162.
14. Whalen S.C., Reeburgh W.S., Sandbeck K.A. Rapid methane oxidation in a landfill cover soil // Applied and environmental microbiology. - 1990. - V. 56. №. 11. - P. 3405-3411.

**КАРТИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС****MAPPING OF SOIL CARBON STOCKS OF WESTERN SIBERIAN BOREAL ZONE
USING GIS****С.Я. Кудряшова, Л.Ю. Дитц****S. Ya. Kudryashova, L.U. Ditz****Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
E-mail: sya@issa.nsc.ru**

Одной из основных проблем, приводящих к значительной неопределенности в оценке запасов почвенного органического углерода (Сорг) является неточность в установлении границ и информационного содержания контуров почвенного и растительного покрова (Tarnocai C. et al, 2009; Baritz R. et al, 2010; Soil Carbon..., 2011). Поэтому специальной задачей исследований по созданию распределенной ГИС для оценки запасов углерода в почвах бореальной зоны, разработанной совместно с ИВТ СО РАН и ЦСБС СО РАН, являлась коррекция границ и информационного содержания почвенных контуров на основе космических снимков на локальном уровне, а также в пределах ландшафтных зон, подзон и провинций (Kudryashova S. et al, 2011).

В исследованиях по оценке запасов Сорг большое значение имеют материалы детального дешифрирования, выполненные в рамках экосистем, типичных ландшафтов и природных комплексов с учетом пространственных характеристик территории и свойств почв. Отработка использования дистанционной информации для оценки запасов Сорг была проведена на ключевых участках, расположенных в пределах ландшафтных провинций бореальной зоны. Выделение типологических регионов проводилось с учетом принципов ландшафтного районирования. Сущность метода заключается в сопряженном анализе региональных структур, объективно отражающихся на космических снимках и фиксируемых на ландшафтно-типологических картах. Индивидуальные единицы почвенного картирования были выделены на космических снимках, как обособленные по закономерной композиции структурных элементов и отчетливо дешифрирующихся природных и антропогенных факторах дифференциации почвенного покрова. Среднемасштабные почвенные карты ключевых участков были созданы по материалам дешифрирования космических снимков Landsat с последующей векторизацией в ArcGis. Изменение площадного соотношения по типам почв в результате цифровой обработки космического снимка рассмотрено на примере почвенного покрова ключевых участков ландшафтных провинций средней

тайги (рис.). В процессе цифровой обработки космических снимков ландшафтных провинций основное внимание уделялось соотношению контуров почв, формирующих основной запас Сорг.

В пределах Северо-Сосьвинской провинции более 50% общей площади занимают зональные иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые подзолы и глеево-подзолистые почвы, под листовично-сосновыми лесами и рямовыми редколесьями. Площадь торфяных болотных верховых почв, формирующихся в зоне распространения верховых сфагновых болот, составляет около 40% от ее общей площади.

В Кондинской провинции более 70% общей площади занимают безлесные торфяники с сосновыми рядами, грядово-мочажинными и низинными болотами, к которым пространственно тяготеют комплексы почв грядово-мочажинных и грядово-озерковых торфяных верховых и переходных болот. Значительно меньше (17% от общей площади) занимают иллювиально-железистые подзолы с низким и средним содержанием гумуса, формирующиеся под сухими сосновыми борами. В целом, площади почв и почвенных комплексов, полученных методом оцифровки и данные, представленные в сводке к Почвенной карте РФ (1988) довольно близко согласуются (табл.). Однако было выявлено, в структуре почвенного комплекса площади почвенных контуров, в зависимости от принципов их объединения или разделения могут существенно различаться, соответственно корректируется доля их вклада в формирование общего запаса Сорг.

Было установлено, что в группе высокоорганических почв, формирующих основной запас Сорг бореальной зоны, площадь торфяных болотных переходных почв практически в два раза больше по сравнению с данными, представленными в сводке площадей Почвенной карты. По данным оценки в подзоне средней тайги торфяные болотные переходные почвы, характеризующиеся высоким содержанием Сорг и занимающие наибольшую по сравнению с другими типами торфяных болотных почв площадь вносят более 70% в бюджет Сорг региона. В группе зональных почв наиболее значимые различия были

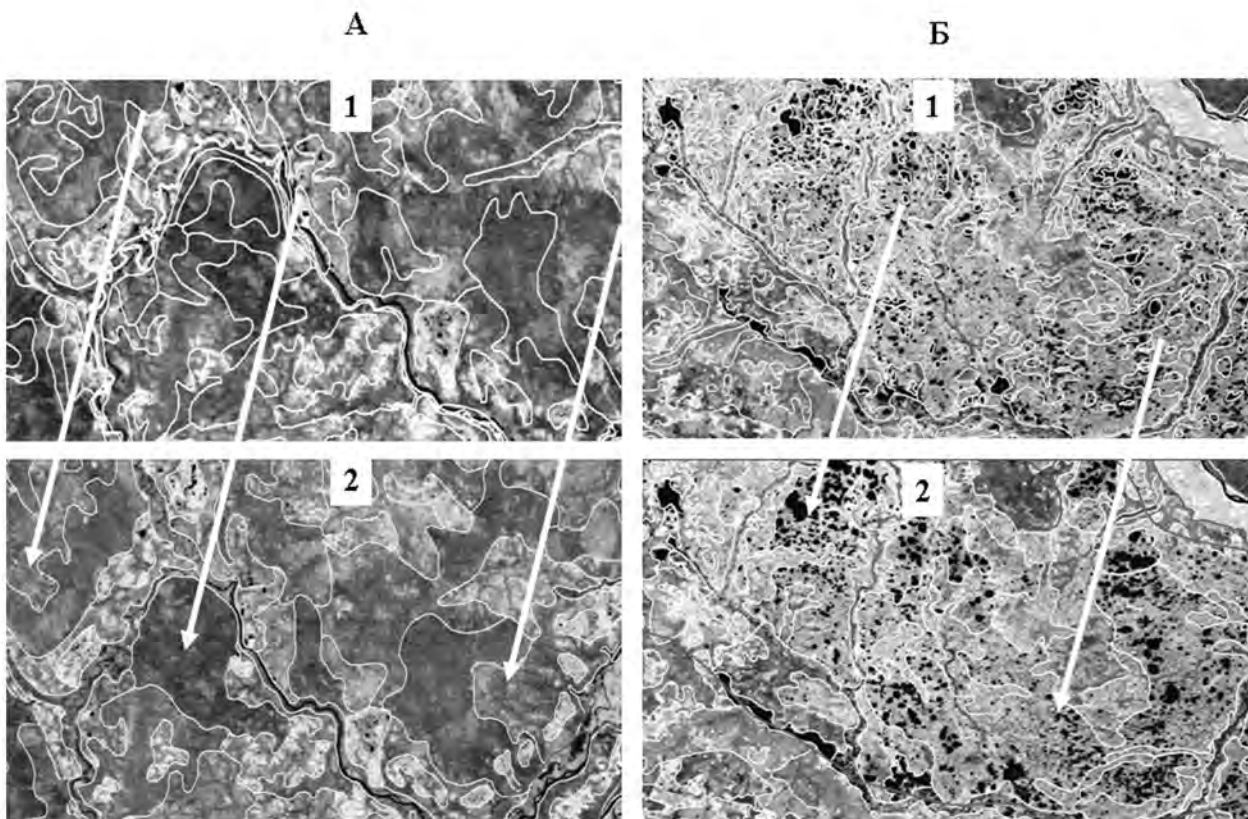


Рис. Фрагменты цифровых среднемасштабных почвенных карт: А - Северо-Сосьвинской и Б – Кондинской ландшафтных провинций. 1 – наложение контуров почвенной карты на космический снимок; 2- цифровая обработка контуров почвенной карты по данным космического снимка

получены для глееземов перегнойных и оподзоленных, площадь которых по данным оцифровки также значительно выше, чем в сводке площадей почв. Поэтому, несмотря на то, что они отличаются низким содержанием Сорг их

значение в углеродном бюджете региона весьма велико. По оценкам запасов Сорг в подзоне средней тайги, было показано, что более 10% запасов Сорг региона формируется за счет минеральных почв.

Таблица. Площади типов почв, вносящих основной вклад в общий запас Сорг boreальной зоны

Почвы, отображенные на Почвенной карте РФ, М 1:2,5 млн. (1988)	Площадь, тыс. га	
	сводка к Почвенной карте РФ, 1988	данные оцифровки
Торфяные болотные верховые	10725,8	6709,6
Торфяные болотные переходные	9481,2	14809,5
Торфяные болотные низинные	2516,5	2333,5
Подзолы иллювиально-гумусовые (подзолы иллювиально-многогумусовые)	6535,6	5524,4
Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения	4008,6	5370,3
Глееземы перегнойные и оподзоленные	6116,1	11676,8
Глееземы торфянистые и торфяные	4366,1	2492

1. Tarnocai C., Canadell J.G., Schuur E.A.G., Kuhry P., Mazhitova G., Zimov S. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region // Global Biogeochemical Cycles. - 2009. - Vol. 23. - P. 2033–2043.
 2. Baritz R., Seufert G., Montanarella L., van Rants E. Carbon Concentration in forest soil of Europe // Forest Ecology and Management. - 2010. - Vol.260. - P.262–277.
 3. Soil Carbon in Sensitive European Ecosystems. WILEY-BLACKWELL, 2011. - 284 p.
 4. Kudryashova S.Ya., Baikov K.S., Titlyanova A. A, Ditz L. Yu., Kosykh N. P., Makhatkov I. D, Shibareva S. V. Distributed GIS for estimation of soil carbon stock of West Siberia boreal zone // Contemporary Problems of Ecology. - 2011. - Vol. 4. № 5. - P. 475–486.

СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ПРОДУКЦИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ PHYTOMASS STRUCTURE AND PRODUCTION OF PEATLANDS IN THE MIDDLE AMUR LOWLANDS IN DIFFERENT WETTING CONDITION

В.А. Купцова*, Т.А. Копотева
V.A. Kuptsova*, T.A. Kopoteva

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия
Institute for Aquatic and Ecological Problems FAB RAS, Khabarovsk, Russia
*E-mail: victoria@ivep.as.khb.ru

Благодаря значительному вкладу болотных экосистем в биологический круговорот и баланс углерода, оценка их биологической продуктивности представляет большой научный и практический интерес. На территории самой большой в Хабаровском крае Среднеамурской низменности болота занимают около 36 тыс. км². Наиболее широко распространенная здесь группа биоценозов – это мезотрофная кустарничково-сфагновая группа биогеоценозов смешанного питания (Прозоров, 1985). Целью данной работы являлось выявление современного состояния продуктивности болот, особенностей распределения запасов растительного вещества и продукции в болотных экосистемах в разных условиях увлажнения на примере частично осушенного Бичевского болотного массива. Болотный массив находится междуречье рек Кия и Хор, в окрестности с. Кия и Бичевая (47°48'N 135°39'E). Общая площадь кустарничково-сфагнового фитоценоза на массиве изначально составляла около 8 км². В конце 80-х годов северо-западная часть массива была подвергнута мелиорации.

Растительный покров неосушенной части болотного массива представлен мозаичным комплексом ассоциаций с трехярусным распределением компонентов растительного покрова: древесным из угнетенной лиственницы даурской *Larix davurica* – *sajanderi* Mayr, сомкнутость 0,1; бонитет Va; сильно разреженным кустарничковым из березы овальнолистной *Betula ovalifolia* Rupr. со средней высотой яруса 0,9–1,2 м; кустарничково-травяным с доминированием *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench (44–56% в общей живой фитомассе яруса) и *Ledum palustre* L. (29–39% соответственно) и мохового, доминантом которого является *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. Проективное покрытие (ПП) кустарничково-травяного яруса 30–40% на подушках, 70–80% в понижениях. В сложении кустарничково-травяного яруса участвуют кроме доминантов кустарнички: клюква мелкоплодная *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. (2–3% от фитомассы яруса) с покрытием около 5%, местами в пятнах до 20–30%; пятнами голубика *Vaccinium uliginosum* L. и на фускумных подушках редко подбел *Andromeda polifolia* L.; из травянистых: осока круглая *Carex*

globularis L., пушица влагилищная *Eriophorum vaginatum* L., вейник незамечаемый *Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) Gaertn. Mey. & Scherb. Доля участия живых травянистых в общей фитомассе яруса составляет 12–14%.

Покрывание мохового яруса составляет 80–90%. Микрорельеф кочковато-бугристый. Амплитуда микрорельефа 40–50 см. На подушках господствует *S. fuscum*, пятнами и в дернинах с ним встречается *S. magellanicum* Brid. Склоны подушек в смешанных с *S. magellanicum* дернинах занимает *S. balticum* (Russ.) Russ. ex C. Jens., днища понижений заняты только *S. balticum*.

На осушенном участке болота после проведенных в конце 80-х годов мелиоративных работ, в ходе которых на чеках размерами 50 x 500 м был частично удален растительный покров, а края оказались оконтуреными от мелиоративных каналов валами, происходило естественное восстановление болотной растительности в условиях атмосферного питания. На поверхности чека, с постоянно высоким, очень слабо колеблющимся уровнем болотных вод (УБВ), сформировался комплекс безлесных гидрофильных травяно-сфагновых, кустарничково-травяно-сфагновых и кустарничково-бриевых ассоциаций, что не типично для широко распространенных на Среднеамурской низменности мезотрофных кустарничково-сфагновых лиственничников, колебания УБВ на которых внутри и между сезонами могут достигать 1–1,5 м. В кустарничково-травяном ярусе на чеке доминируют травянистые (43% в общей фитомассе): *Iris laevigata*, *Carex limosa*, *Calamagrostis neglecta*, из кустарничков *Chamaedaphne calyculata* (28%) и *Oxycoccus quadripetalus*, *O. microcarpus* (19%).

Надземную фитомассу определяли методом укосов с поверхности мха однократно в конце вегетационных сезонов 2010–2012 гг (без учета древесного яруса), подземную – методом монолитов площадью 1 дм² до глубины 25 см в 10-кратной повторности. Для определения продукции сфагновых мхов измеряли линейный прирост: на подушках колышками, в понижениях методами покрасок и перевязок, плотность дернины мхов определяли методом монолитов. Определение живой части мха для оценки запаса фитомассы

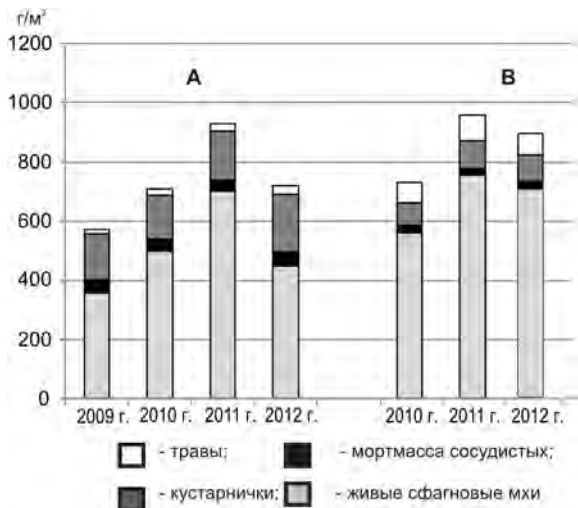


Рис. 1. Надземная фитомасса на ненарушенном (А) и подвергшемся мелиорации (В) участках болотного массива, г/м², абс. - сух. вес

проводили двумя методами: визуальным – по окрашенной хлорофиллом фотосинтезирующей верхней части мха с головкой и гистохимическим методом по Т. В. Малышевой (1970). Фитомассу рассчитали путем умножения веса 1 см стебля вместе с головкой на плотность дернины. Продукция определялась произведением веса 1 см стебля на величину линейного прироста с учетом ¼ веса головки и плотности дернины.

Период наблюдений 2008–2013 г. объединяет разные по степени увлажненности и теплообеспеченности годы: 2008 г. сухой с количеством осадков на 35% меньше среднеголетних значений, 2009 и 2010 г. – близкие к норме по осадкам и сумме среднесуточных температур. В 2011 г. сумма осадков на 17 % больше среднеголетних значений. Сезоны 2012–2013 годов жаркие и относительно сухие: сумма осадков за теплый период меньше нормы на 10–14% соответственно.

В надземной части кустарничково-травяного яруса основными продуцентами на ненарушенном участке являются кустарнички, на чеке – травянистые (рис. 1). Гидрологический режим и состав растительного покрова участков определяет их различие в структуре надземной фитомассы: масса кустарничков на неосушенном в 2 раза выше, чем на чеке, а трав на неосушенном в 2 раза меньше, чем на чеке. Мертмасса сосудистых за счет поступающего опада листьев, сухих ветвей кустарничков и ветоши на неосушенном участке в 1,5 раза выше (7–11 %), чем на чеке (3–4 %). Максимальную долю на обоих участках имеют сфагновые мхи. Величины живой фитомассы сфагновых мхов зависят от состава доминирующих видов: на ненарушенном

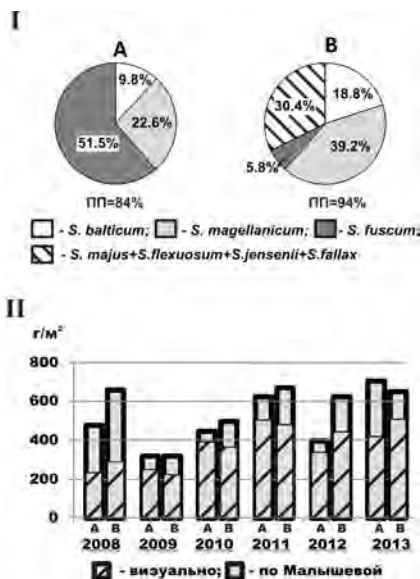


Рис. 2. Проективное покрытие (I) и динамика фитомассы сфагновых мхов за период 2008–2013 гг. (II) на ненарушенном (А) и подвергшемся мелиорации (В) участках болотного массива, г/м², абс. - сух. вес

участке основную долю имеет *Sphagnum fuscum*, а на нарушенном – *S. magellanicum* и виды, растущие в мочажинах (*S. flexuosum*, *S. jensenii*, *S. majus*) (рис. 2). На ненарушенном участке данные фитомассы сфагновых мхов, усредненные за июнь и сентябрь–октябрь, за период 2008–2013 гг., в большинстве случаев ниже, чем на чеке, где УБВ отличается более стабильными значениями.

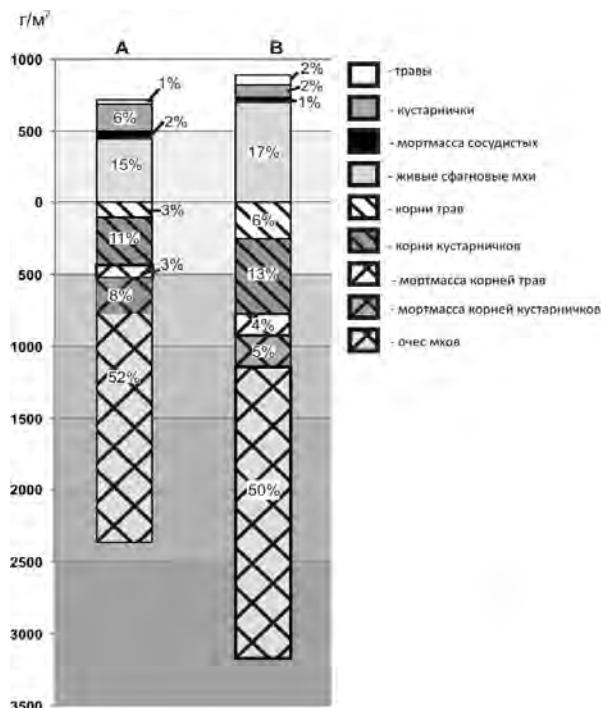


Рис. 3. Структура фитомассы на ненарушенном (А) и подвергшемся мелиорации (В) участках болотного массива на 26.08.2012, абс. - сух. вес, г/м²

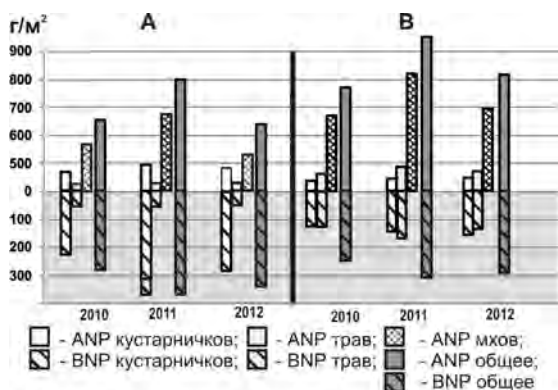


Рис. 4. Динамика продукции фитоценозов ненарушенного участка болота (А) и на чеке (Б), г/м² в год

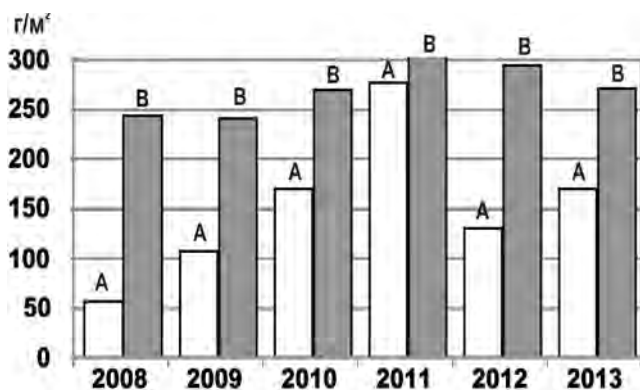


Рис. 5. Динамика продукции сфагновых мхов на ненарушенном участке болота (А) и на чеке (Б), г/м² в год

Оценка запасов фитомассы показала, что мелиорированный участок характеризуется большими величинами: 35–29 т/га соответственно. Подземная фитомасса кустарничков на ненарушенном болоте в 3 раза превышает надземную, на чеке – в 8 раз в основном за счет увеличения массы живых корней в верхнем наиболее аэрируемом слое очеса, что характерно для них в условиях переувлажнения (рис. 3).

Соотношение надземной и подземной фитомассы травянистых не изменилось (около 1/3), хотя масса их корней на чеке также больше, как и надземная фитомасса. Превышение величин фитомассы в деятельном горизонте на чеке произошло за счет увеличения массы корней сосудистых (в 1,5 раза), преимущественно за счет травянистых растений. Наибольшие изменения произошли в моховом ярусе, который был нарушен в результате осушительных работ. Хотя на чеке моховый ярус восстановился полностью, и его общее ПП увеличилось по сравнению с ненарушенным участком (рис. 2), вместо *S. fuscum* здесь восстановился *S. magellanicum*, а в понижениях поселились гипергидрофильные виды.

Усредненные за 3 года величины чистой первичной продукции (NPP) вторично заболоченного участка превышают величины NPP ненарушенного фитоценоза: 7,1–5,8 т/га соответственно (рис.4). На ненарушенном участке в структуре

общей продукции ANP и BNP имеют почти равные доли, на мелиорированном участке за счет увеличенной продукции сфагновых мхов преобладает ANP.

На ненарушенном участке основным продуцентом являются кустарнички (53–64%), травы имеют долю 11–14%. На чеке, восстановившемся после мелиорации и функционирующем в условиях более высокого стояния и слабо колеблющегося УБВ, доля кустарничков ниже (22–29%), а травянистых выше (29–31%) и основным продуцентом здесь являются сфагновые мхи (рис. 4).

В зависимости от условий влагообеспеченности года годовая продукция сфагновых мхов на ненарушенном участке сильно колеблется (рис. 5) по сравнению с мелиорированным участком, где в условиях постоянного режима увлажнения данные продукции сфагновых мхов мало различаются за период 2008–2013 гг.

Таким образом, проведенное исследование параметров биологической продуктивности в разных условиях увлажнения показало, что структура фитомассы и продукции мезотрофных болот в значительной степени зависит от гидрологического режима. Увеличение уровня болотных вод, особенно стабилизация режима его колебаний, приводит к формированию болотного фитоценоза более продуктивного, в том числе с точки зрения депонирования углерода.

1. Прозоров Ю.С. Закономерности развития, классификация и использование болотных фитоценозов. - М., 1985. - 195 с.

2. Малышева Т. В. К методике разграничения живых и отмерших частей у мхов при учете их фитомассы // Ботанический журнал. - 1970. - Т 55. № 5. - С. 704–709.

**РОЛЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В CO₂ ОБМЕНЕ МЕЖДУ
АТМОСФЕРОЙ И ЗАБОЛОЧЕННЫМИ ЛЕСАМИ ЮЖНОЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТАЙГИ**
**THE ROLE OF EXTREME EVENTS IN CO₂ EXCHANGE IN PALUDIFIED FORESTS
IN EUROPEAN SOUTHERN TAIGA (RUSSIA)**

Ю.А. Курбатова^{1*}, В.К. Авилов¹, А.В. Варлагин¹, Д.Г. Иванов²
J. Kurbatova^{1*}, V. Avilov¹, A. Varlagin¹, D. Ivanov²

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева

² Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

*E-mail: kurbatova.j@gmail.com

Современные климатические изменения связывают не только с ростом глобальной температуры воздуха, но и с увеличением повторяемости и степени выраженности экстремальных погодных явлений (ЭПЯ) и климатических аномалий. Основное внимание в научной литературе сосредоточено на изучении наводнений, засух, тайфунов, торнадо, периодов аномально высоких летних температур, т.е. явлений, приводящих к огромным негативным последствиям в социально-экономической сфере. Влияние экстремальных погодных явлений на экосистемы в целом, к сожалению, исследованы пока очень незначительно. ЭПЯ обычно не рассматриваются в используемых климатических сценариях, и с трудом прогнозируются современными климатическими моделями. Быстрый отклик природных экосистем на ЭПЯ в целом не несет обычно явных последствий социально - экономического характера (за исключением гибели урожая и лесных пожаров). Но это не снижает необходимости изучения отдаленных последствий ЭПЯ, так как именно они на уровне экосистемных процессов будут определять структурную перестройку современного естественного растительного покрова на уровне ландшафтов и биомов при изменениях климата. Однако и на меньших отрезках времени мы уже и сейчас сталкиваемся с ситуациями, когда ЭПЯ вызывают перестройку локальных и региональных процессов энерго-массообмена, включая газообмен CO₂. Для оценки реального отклика природных экосистем на внешние воздействия необходимо проведение многолетних биофизических и биохимических исследований на одних и тех же объектах. Такие исследования на уровне экосистемы обеспечиваются, например, с помощью пульсационного метода (eddy-covariance technique). Этот метод прямых измерений потоков позволяет исследовать зависимости интегральных показателей функционирования экосистем от климатических параметров и получить данные для параметризации процессов массообмена в численных моделях (Aubinet et al., 2000).

В качестве объекта экспериментальных наблюдений за потоками CO₂ был выбран заболоченный ельник, расположенный на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ, Тверская обл., Нелидовский р-н). Доминирующее положение в структуре растительного покрова ЦЛГПБЗ занимают еловые леса (47%). Олиготрофные и осоковые мезотрофные болота занимают 4% территории. Заболоченные леса, представленные на территории заповедника сфагново-черничными и сфагновыми ельниками (15% площади еловых лесов), представляют ряд олиготрофного заболочивания. Данные ельники являются типичными для обширных моренных равнин таежной зоны и являются интразональными типами заболоченных лесов (Сукцессионные процессы..., 1999). В условиях, когда эдифицирующая роль переходит от ели к сфагновым мхам, ускоряется процесс торфонакопления и древостой ели разрушается, еловые леса сменяются заболоченными сосняками или березняками. Участки заболоченных сосняков и ельников встречаются в небольших депрессиях на водоразделах.

Древостой заболоченного ельника сфагново-черничного (ЕСЧ) является типичным для данного типа ельников, на 86% состоит из ели (*Picea abies* (L.) Karst), на 14% - из березы (*Betula pubescens*), с небольшой примесью сосны (*Pinus sylvestris* L.). Напочвенный растительный покров представлен *Vaccinium myrtillus* и мхами (*Sphagnum girgensohnii*, *S. magellanicum*). Для участка характерен очень высокий уровень грунтовых вод. Почвы на участке торфянисто-подзолистые глееватые с большим запасом органического вещества в разных стадиях разложения.

Для анализа влияния ЭПЯ на потоки углерода в заболоченном лесу южной европейской тайги были использованы результаты непрерывных пульсационных измерений за газообменом CO₂ между пологом растительного покрова и атмосферой на экосистемном уровне осреднения (Kurbatova et al., 2008), результаты

экспериментальных исследований потоков CO_2 с напочвенного покрова на основе камерных методов наблюдений и результаты численного моделирования. Для оценки вероятности экстремальных условий за период измерений потоков с 1998 г. были проанализированы ряды средних суточных и средних месячных температур воздуха (T), а также сумм осадков (P) по метеорологическим станциям Вышний Волочок и Федоровское. Установлено, что в регионе за период наблюдений с 1998 г. климат характеризовался высокой неустойчивостью. Помимо ЭПЯ на уровне суточного осреднения, отмечались климатические аномалии на уровне месячных, сезонных и годовых значений.

Исходя из динамики физиологических процессов и значимости различных факторов для разных процессов, очевидно, что влияние аномалий температуры, осадков и радиации по-разному проявляется на различных стадиях развития растительности. Наиболее «метеочувствительными» критическими фенофазами являются фазы начала вегетации. Отклик чистого экосистемного обмена (NEE) на экстремальное понижение средней суточной температуры (T) воздуха выражен в резком снижении ассимиляции CO_2 и смене знака NEE (поток CO_2 направлен в атмосферу). Очень высокая T в меньшей степени подавляет NEE (экосистема поглощает CO_2 из атмосферы). Влияние высоких T проявляется в течение 4-5 дней при последующем снижении T после дня с высокой T . Весной влияние осадков проявляется только в диапазоне апрельских температур 7-10°C. В середине лета происходит перелом тенденций в изменении накопленных от начала вегетации сумм NEE и в период от июня до августа при прогретой почве суммарное дыхание экосистемы превышает ассимиляцию. Однако

время наступления этой переломной точки в кривой накопленных сумм NEE зависит от предыдущих метеоусловий.

Потоки CO_2 с напочвенного покрова в заболоченном ельнике очень чувствительные к изменению условий увлажнения. В целом при опускании уровня грунтовых вод и возрастании температуры почвы эмиссия CO_2 с напочвенного покрова увеличивается (Курбатова и др., 2011). Проведенные численные расчеты на основе моделей (Kurbatova et al., 2008) тоже подтвердили, что опускание уровня грунтовых вод ведет к значительному увеличению эмиссии CO_2 в аэробных условиях разложения торфа, превращая заболоченные леса в значительные источники диоксида углерода для атмосферы.

Однако проведенные исследования показали, что зависимость потоков CO_2 с напочвенного покрова от температуры почвы не прослеживается в условиях переувлажнения или экстремальных засух (Kurbatova et al., 2013).

Известно, что для корректной оценки климатической нормы длительность рядов измерений должна быть не менее 30 лет. Исходя из жизненных циклов разных видов и стадий сукцессий сообществ, понятно, что такое требование к длине ряда можно выполнить только для природных экосистем со слабо выраженной межгодовой изменчивостью растительного покрова (например, спелые и перестойные насаждения). Наиболее длительные существующие данные измерений обмена $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ между экосистемой и атмосферой дают представление о масштабах природной изменчивости исследуемых процессов за период не более 10-15 лет. Но на основе этих данных уже возможна систематизация типов откликов экосистем на ЭПЯ, а также проверка численных моделей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-05-00797-а, гранта Программы фундаментальных исследований президиума РАН "Живая природа: современное состояние и проблемы развития".

1. Ю.А. Курбатова, Ф.А. Татарин, А.Г. Молчанов, А.В. Варлагин, В.К. Авилов, В.О. Лопес де Гереню, Н.В. Шалухина, И.И. Широная. Потоки CO_2 из почвы в еловых экосистемах Центрально-Лесного заповедника // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. - 2011. - Вып.6. - С. 64-74.
2. Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия / Под ред. Смирновой О.В., Шапошникова Е.С. - СПб.: РБО, 1999. - 549 с.
3. Aubinet M., Grelle A., Ibrom A., Rannik U., Moncrieff J., Foken T., Kowalski A. S., Martin P. H., Berbigier P., Bernhofer C., Clement R., Elbers J., Granier A., Grunwald T., Morgenstern K., Pilegaard K., Rebmann C., Snijders W., Valentini R., Vesala T. Estimates of annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology // Adv. Ecol. Res. - 2000. - 30. - P. 113-175.
4. Kurbatova J. Li C., Varlagin A., Xiao X., Vygodskaya N. Modeling Carbon Dynamics in Two Adjacent Spruce Forests with Different Soil Conditions in Russia // Biogeosciences. - 2008. - 5. - P. 969-980.
5. Kurbatova J., Tatarinov, F., Molchanov A., Varlagin A., Avilov V., Kozlov D., Ivanov D., Valentini R. Partitioning of ecosystem respiration in a paludified shallow-peat spruce forest in the southern taiga of European Russia // Environ. Res. Lett. - 2013. - 8. 045028 (9pp). doi:10.1088/1748-9326/8/4/045028.

**РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭМИССИЕЙ МЕТАНА
КАМЕРНЫМ МЕТОДОМ НА МЕЗООЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ
(РЕСПУБЛИКА КОМИ)**

**RESULTS OF LONG-TERM OBSERVATIONS OF METHANE EMISSION
USING CHAMBER'S METHOD AT THE MESOOLIGOTROPHIC PEATLAND
(REPUBLIC OF KOMI)**

М.Н. Мигловец

M.N. Miglovets

Институт биологии Коми научного центра УРО РАН, Сыктывкар, Россия

Institute of Biology of Komi Scientific Center UB RAS, Syktyvkar, Russia

E-mail: miglovets@ib.komisc.ru

Метан занимает ведущее положение в ряду парниковых газов, способных поглощать инфракрасное излучение. Несмотря на его небольшие концентрации в атмосфере, фотохимическая активность метана выше, чем у диоксида углерода (IPCC, 2001). Вклад болот может составлять 26% в глобальном потоке CH_4 в атмосферу (Ehhalt, 1974).

Интенсивность выбросов метана в болотных биогеоценозах зависит от погодных условий, гидрологического режима, состава растительности и площади болотных сообществ (Shannon, White, 1994; Bubier et al, 2005). Цель настоящей работы - выявить закономерность сезонной динамики эмиссии метана на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр, расположенном в Сыктывдинском районе Республики Коми (61° 56' с.ш. 56° 13' в.д.). На исследованном участке болота растительные сообщества относятся к трем основным фациям:

1) **олиготрофной сосново-кустарничково-пушицево-сфагнувой**, где на кочках доминируют виды *Pinus sylvestris* L., *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Rubus chamaemorus* L., *Eriophorum vaginatum* L., *Sphagnum angustifolium* (C. Jens. ex Russ.), *Sphagnum fuscum* (Schimp.), *Polytrichum strictum* Brid., а в мочажинах – *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Oxycoccus palustris* Pers., *Eriophorum vaginatum* L., *Sphagnum angustifolium* (C. Jens. ex Russ.), *Sphagnum magellanicum* Brid.

2) **мезотрофной кустарничково-травяно-сфагнувой**, с доминированием на кочках видов *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Ledum palustre* L., *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr., *Eriophorum vaginatum* L., *Carex pauciflora* Lightf., *Sphagnum angustifolium* (C. Jens. ex Russ.), *Sphagnum fuscum* (Schimp.), *Sphagnum magellanicum* Brid., в мочажинах – *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Carex limosa* L., *Carex rostrata* Stokes, *Menyanthes trifoliata* L., *Scheuchzeria palustris* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench,

Oxycoccus microcarpus Turcz. ex Rupr., *Eriophorum vaginatum* L., *Sphagnum fallax* (Klinggr.), *Sphagnum magellanicum* Brid., *Warnstorfia exannulata* (B.S.G.), *Andromeda polifolia* L.

3) **мезоевтрофной травяно-моховой проточной топи**, с преобладанием на кочках таких видов, как *Andromeda polifolia* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Oxycoccus palustris* Pers., *Equisetum fluviatile* L., *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Sphagnum magellanicum* Brid., *Sphagnum fuscum* (Schimp.), в понижениях – *Oxycoccus palustris* Pers., *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Eriophorum gracile* Koch, *Menyanthes trifoliata* L., *Pedicularis palustris* L., *Utricularia intermedia* Hayne, *Sphagnum fallax* (Klinggr.), *Sphagnum magellanicum* Brid., *Warnstorfia exannulata* (B.S.G.), мхи р. *Calliergon*.

Глубина торфяной залежи исследуемого участка болота составляет 180 – 220 см в олиготрофной части, 190 см на мезотрофном участке и 180 см в мезоевтрофной травяно-моховой проточной топи.

Наблюдения за скоростью эмиссии метана проводили в 2008 и 2011 гг. на семи участках и в 2013 г. на двух участках, приуроченных к разным сообществам и элементам микроландшафта. Олиготрофное кустарничково-травяно-сфагнувое: кочка и мочажина; Мезотрофное кустарничково-травяно-сфагнувое: осоково-сфагнувый ковер; Мезоевтрофная травяно-сфагнувая промывная топь.

Вегетационный период 2008 г. отличался прохладной и влажной погодой, 2011 и 2013 гг., характеризовались недобором осадков с мая по сентябрь и высокими температурами. Общая продолжительность периода вегетации в 2008 и 2011 гг. составила около 149 и 159 дней соответственно, а в 2013 г. - 143 дня.

Для наблюдения за скоростью эмиссии метана с поверхности болотных сообществ использовали метод статических тёмных камер, их объем составлял 0.075 и 0.095 м³. Площадь рамок, на которые устанавливали камеры, составила 0.25 м². С целью обеспечения герметичности

системы был использован гидрозатвор. Камера была снабжена вентилятором, перемешивающим воздух внутри, и трубкой, регулирующей постоянное атмосферное давление внутри камеры. Отбор проб воздуха осуществлялся пластиковыми шприцами объемом 60 мл через определенные промежутки времени. С общей экспозицией 20 мин. и с шагом 4 мин. Во время отбора одновременно регистрировали температуру внутри камеры, время отбора и pH грунтовых вод с участка.

Определение объемной доли метана в образцах воздуха было проведено с помощью метода газовой хроматографии. Использовался газовый хроматограф «Кристалл 5000.2» (ОАО «Хроматек», Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Набивная колонка (М 2*3) заполнена адсорбентом Hayesep N 80/100. Газ-носитель азот ОСЧ. Температура колонки – 60 °С; температура детектора – 160 °С. Анализ пробы проходил в двух повторностях. Скорость эмиссии рассчитывали с помощью уравнения:

$$F_{CH_4} = \frac{M_{CH_4} \cdot \rho \cdot V \cdot dC / dt}{R \cdot A \cdot T},$$

где F_{CH_4} – величина скорости эмиссии метана ($\text{мкг м}^{-2}\text{с}^{-1}$); M_{CH_4} – молярная масса метана ($16.043 \text{ г моль}^{-1}$); ρ – атмосферное давление на момент измерения (Па); V – объем камеры (м^3); dC/dt – изменение концентрации газа во

времени t ; R – универсальная газовая постоянная ($8.314472 \text{ Па м}^3 \text{ моль}^{-1} \text{ К}$); A – площадь рамы, ограничивающей поверхность (м^2); T – температура внутри камеры на момент измерения (К).

Суточные наблюдения, проведенные на мезо-олиготрофном болоте средней тайги Республики Коми в мае - августе 2013 г., показали различия в скорости выделения метана между участками. В мае на олиготрофном и мезоэвтрофном участках, эмиссия метана усиливалась в ночное время суток. Скорость выделения метана в мезоэвтрофной топи выше на 60-70%, чем на участках, приуроченных к олиготрофному микроландшафту. В третьем квартале июля и августа, в дни с ливневыми осадками, в суточной динамике выявлена высокая вариабельность потока метана с поверхности олиготрофной мочажины. Увеличение потоков метана с поверхности двух исследуемых участков в вечернее и ночное время совпадали с максимальной температурой почвы на глубине 20 см.

В 2008 г. скорость эмиссии с поверхности всех исследованных участков варьировала в пределах $0.002 - 8.4 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, среднее значение составило $4.3 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. В 2011 г. скорость эмиссии метана варьировала от 0.017 до $14.02 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а ее среднее значение составило $4.85 \text{ мкг м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. В эти годы различия в эмиссии метана (t-тест, $\sigma=0.012$) были связаны с погодными условиями.

В 2008 г. скорость выделения метана с поверхности болота в атмосферу постепенно

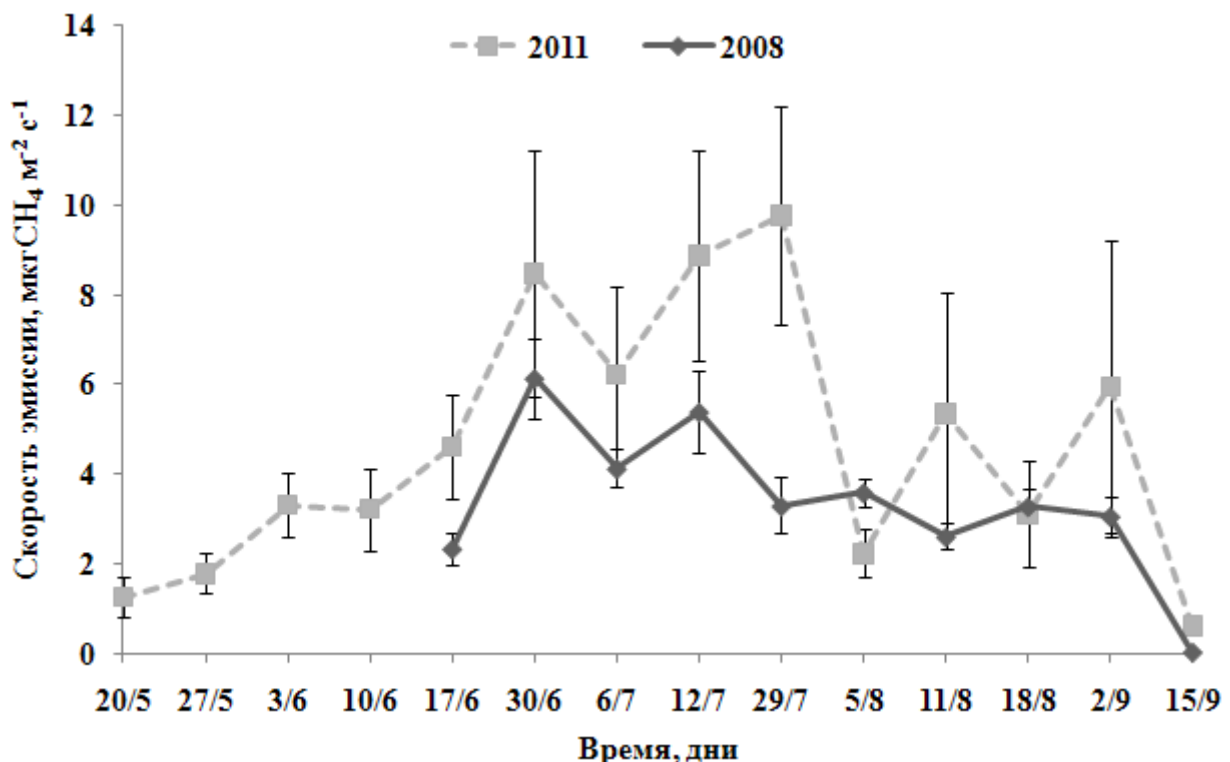


Рис. Сезонная динамика средневесовой скорости эмиссии метана в разные годы наблюдений. Бары соответствуют ошибке среднеарифметических значений. Число участков $n=7$

возрастала в июне, достигая максимальных значений в конце июня – начале июля (рисунок). В последующем этот процесс постепенно снижался и к середине сентября приблизился к нулевому значению.

В 2011 г. со второй половины мая до конца июня значения скорости эмиссии возросли почти в 8 раз (рисунок). Высокая скорость потока метана сохранялась до конца июля, после чего наблюдали постепенное ее снижение. В течение августа эмиссионный поток был нестабилен. Так же, как и в 2008 г., в середине сентября 2011 г. значения эмиссии приблизились к нулю, однако процесс продукции метана полностью не прекратился.

В результате статистического анализа установлены высокие ошибки среднеарифметического значения (рисунок) и значительное отклонение среднесуточной эмиссии от нормального распределения в некоторые дни 2011 г. Предполагается, что отклонение от нормального распределения Гаусса связано с включением пузырькового потока, имеющим лог-нормальное распределение, способствующим значительному изменению общей эмиссии (Christensen et al, 2003). По всей видимости, жаркое лето с недобором осадков в 2011 г. вызвало неустойчивость эмиссионных потоков метана на болоте. Возможно, что низкая влажность почвы на фоне низких значений УГВ привела к высвобождению малорастворимого и слабо подвижного в воде метана в виде эпизодических пузырьковых всплесков. Об этом же свидетельствует корреляционный анализ скорости эмиссии метана и уровня грунтовых вод. Так, в 2008 г. отмечено увеличение скорости эмиссии

при повышении УГВ ($r = 0.67$, $p < 0.05$), а в 2011 г., наблюдалась обратная тенденция ($r = -0.74$, $p < 0.05$), что было подтверждено наблюдениями в жаркое и сухое лето 2013 г. ($r = -0.70$, $p < 0.05$).

Высокие значения эмиссии метана в 2008 г. наблюдали с микропонижений с высоким участием травянистых растений. Максимальные сезонные значения наблюдали на участках, приуроченных к мезоевтрофной травяно-сфагнутой проточной топи (64 г м^{-2}), мезотрофному кустарничко-травяно-сфагнутому ковру (61 г м^{-2}) и олиготрофной кустарничко-травяно-сфагнутой мочажине (53 г м^{-2}). Суммарная эмиссия в 2008 г. на кочках была значительно ниже, чем в микропонижениях и составляла 13 г м^{-2} .

В 2011 г. максимальные средние значения выделения метана на болоте так же наблюдали на участках с доминированием осоки (88 г м^{-2}). Высокие значения скорости этого процесса наблюдали так же с олиготрофной кочки (54 г м^{-2}), что, возможно связано с эпизодическими проявлениями пузырькового транспорта. Для олиготрофной мочажины и мезоевтрофной топи значения оказались ниже установленных в 2008 г. и составили соответственно 21 и 31 г м^{-2} .

Произведенные нами расчеты, позволили оценить суммарный поток метана с площади исследуемого болота (таблица). Для 2008 г. суммарное количество эмитируемого метана составило -68 тСН_4 с площади болота, для 2011 г. -75 тСН_4 .

Таким образом, суммарная эмиссия СН_4 в период вегетации на исследуемом болоте зависит во многом от погодных условий и уровня грунтовых вод.

1. Bubier J., Moore T., Savage K., Crill P. A comparison of methane flux in a boreal landscape between a dry and a wet year // *Global biogeochemical cycles*. - 2005. - V.19. GB1023. doi:10.1029/2004GB002351.
2. Christensen T.R., Panikov N., Mastepanov M., Joabsson A., Stewart A., Öquist M., Sommerkorn M., Reynaud S., Svensson B. Biotic controls on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands - a closed environmental study // *Biogeochemistry*. - 2003. - V. 64. - P.337-354.
3. Ehhalt D. H. The atmospheric cycle of methane // *Tellus*. - 1974. - V.26. - P. 58–70.
4. IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change): *Climate Change 2001 // The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 2001. - 881 p.
5. Shannon R.D., White J.R. A three-year study of controls on methane emissions from two Michigan peatland // *Biogeochemistry*. - 1994. - V.27. - P.35–60.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА БОЛОТ В ХОДЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ: ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

PEATLANDS CARBON BALANCE RESTORATION AS PART OF REHABILITATION: APPROACHES AND PERSPECTIVES

Т.Ю. Минаева

T.Yu. Minayeva

Wetlands International, Институт лесоведения РАН, Москва, Россия

Wetlands International, Institute of Forest Science RAS, Moscow, Russia

E-mail: tatiana.minaeva@wetlands.org

Глобальная роль болот в поддержании цикла углерода в течение последних двух десятилетий перешла из разряда научных (Immirzi, 1992) в разряд корпоративных и общественных оценок (Peatlands and Climate Change, 2008; Joosten, 2008; Kaat & Joosten, 2009), а затем и политических решений. Торфяные болота были признаны Конвенцией о биологическом разнообразии (Assessment...2008) и Рамочной конвенцией ООН об изменении климата (РКИК ООН) в качестве важного резервуара углерода, а также источника и поглотителя парниковых газов. В ходе 17-ой Конференции Сторон РКИК ООН в 2011 стороны согласились признать дополнительный вид деятельности, подпадающий под учет второго периода Киотского протокола (с 2013 года), а именно «Осушение и восстановление водно-болотных угодий (ВБУ)». С целью регулирования этих вопросов по запросу органов РКИК ООН Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) разработала специальное дополнение к Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов (МГЭИК, 2006) в части водно-болотных угодий (IPCC 2014). В настоящее время методические подходы и стандарты по определению сокращения выбросов парниковых газов за счет восстановления экосистем торфяных болот отрабатываются в рамках проектов добровольного рынка углеродных единиц.

Очень важным в этой ситуации является реализация пилотных проектов, которые могут на практике показать возможность применения технологий восстановления экосистем торфяных болот для сокращения выбросов парниковых газов и восстановления функции накопления углерода. В настоящее время в Российской Федерации нормативно методическая база рекультивации болот не отработана. Статья 52 Водного Кодекса российской Федерации (ФЗ-74) закрепляет в качестве преимущественного направления рекультивации болот обводнение и искусственное заболачивание. Однако это относится только к случаям добычи полезных ископаемых на болоте (например, добычи торфа или ведение работ по нефте-газодобыче, или добыча иных полезных

ископаемых). Рекультивация болот после осушения для целей сельского или лесного хозяйства специальными актами не регулируется. Все остальные случаи приходится рассматривать как частные случаи более общей нормативно-методической базы в области рекультивации.

Необходимым условием рекультивации болот для целей учета сокращения выбросов парниковых газов и накопления углерода является использование экосистемного подхода. При таком подходе ландшафты, как объект природопользования рассматриваются не по отдельным компонентам, а комплексно. Фоновая оценка, мониторинг и оценка воздействия, а также разработка целевых показателей конечных экосистем при планировании мероприятий по рекультивации основываются в этом случае не только на структурных, но и функциональных характеристиках и параметрах.

Методологической основой экосистемного подхода при рекультивации является определение специфической конечной цели работ. Конечной целью определяется восстановление не структурных характеристик природных объектов, а соответствующих природных функций. Например, продуктивности экосистем, накопления углерода, регулирования гидрологических процессов, сохранения мерзлоты, поддержания местообитаний биологических видов и в конечном счете устойчивости ландшафтов.

Восстановление функциональных характеристик, таких как основные показатели водного и вещественного баланса, продуктивность экосистем и скорость накопления углерода в торфе, динамика процессов замерзания и оттаивания, планируются не только за счет восстановления структуры растительного покрова, но и путем моделирования микро- и мезорельефа, регулирования стока поверхностных вод, формирования мерзлых линз и осуществления других элементов ландшафтного планирования. При формировании растительного покрова более распространены методы трансплантации, инициирование и модерация направленных сукцессий. Соответственно в качестве первого результата мероприятий могут рассматриваться не конечные целевые типы экосистем, а

семинатуральные экосистемы, где создаются условия для возможно долговременного процесса развития целевых типов ландшафтов. На практике это означает, что на первой стадии технической рекультивации производится планирование рельефа, создание условий для формирования заданной конфигурации сетки поверхностного стока, для условий Арктики – возможного образования мерзлых линз, временных водотоков, формирование грунтов, стимулирования процессов торфонакопления и пр.

Методической основой такого подхода являются следующие этапы: описание и оценка природных функций экосистем до проведения работ или на контрольном (референтном) участке; определение соответствия структурных и функциональных характеристик; оценка потерь экосистемных функций в результате интервенций; моделирование процессов восстановления функций при различных сценариях восстановления структурных характеристик; разработка и внедрение поэтапного плана восстановления структуры и мониторинга; мониторинг функций и адаптация плана на основе результатов мониторинга.

Экосистемный подход предполагает активное использование существующих методов рекультивации, включая и сугубо инженерные решения, особенно в части восстановления или закрепления мерзлоты, обеспечения регулируемого гидрологического режима. Такие методы рекультивации являются дорогостоящими, в связи с этим экономическая выгода от снижения выбросов парниковых газов при

восстановлении болот являются неотъемлемой частью этих работ (Tanneberger, Wichtmann 2011). Для внедрения экономических механизмов необходим интегральный подход к учету запасов углерода и потоков парниковых газов на нарушенных и восстановленных экосистемах.

Международная организация по сохранению водно-болотных угодий *Wetlands International* сотрудничает с институтами Российской академии наук, отдельными экспертами, а также партнерскими организациями за рубежом для реализации таких проектов на территории Российской Федерации. Например, пилотные активности по внедрению такого подхода реализуются в рамках проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K Восстановление торфяных болот), и компонента «Сохранение углеродных пулов в лесных и болотных экосистемах в зоне многолетней мерзлоты Республики Коми и Ненецкого автономного округа» проекта ПРООН/ГЭФ «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев реки Печора» при финансировании Европейским Союзом в рамках проекта ClimaEast.

1. МГЭИК. 2006. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов 2. МГЭИК. 2006. Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. Игглестон Х.С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т. и Танабе К. (редакторы). Опубликовано ИГЕС. Япония.
3. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change. Main report. / Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silviu M., Stringer L. (eds.). Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. 179 p. (<http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63>).
4. IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
4. Immirzi, C.P., Maltby, E., and Clymo, R.S. The global status of peatlands and their role in carbon cycling. A report for Friends of the Earth by the Wetland Ecosystems Research Group, Dept. of Geography, University of Exeter, FoE, London, 1992. - P. 1-145.
5. Joosten, H. The Global Peatland CO₂ Picture, Wetlands International, Ede. 2009.
6. Kaat A., Joosten, H. Factbook for UNFCCC policies on peat carbon emissions. Wetlands International, Ede. 2008.
7. Peatlands and Climate Change. / Strack M. (ed). Finland: International Peat Society, Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi. 2008. 223 p.
8. Tanneberger F., Wichtmann W. (Eds.). Carbon credits from peatland rewetting – climate-biodiversity-land use. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers. 2011. 223 p.

ЗАВИСИМОСТЬ ГАЗООБМЕНА ЗАБОЛОЧЕННОГО ПУШИЦЕВО-СФАГНОВОГО СОСНЯКА ОТ УРОВНЯ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД

DEPENDENCE OF GAS EXCHANGE OF BOG MOSS PINE FOREST FROM UNDERGROUND WATER TABLE

А.Г. Молчанов

A.G. Molchanov

Институт лесоведения РАН, Москва, Россия
Institute of Forest Science RAS, Moscow, Russia
E-mail: a.georgievich@gmail.com

В ситуации, возможного, будущего глобального изменения климата, сопутствующее изменение осадков будет иметь решающее значение для роста бореальных болот (Schipperges, Rydin, 1999). Без наблюдений, прежде всего за уровнем почвенно-грунтовых вод на естественных и различно осушенных болотах, нельзя надежно утверждать, способствует ли в конкретном регионе изменение современного климата процессам разболочивания или усиления болотообразования (Вомперский, 2009). Диапазон сезонных изменений продуцирования CO_2 болотной почвой, составляет 6,3-6,9 г $\text{CO}_2\text{ м}^{-2}\text{сут}^{-1}$ и связан в значительной степени с уровнем грунтовых вод, (Наумов, Ефремова, Ефремов, 1999). В литературе имеется большое количество работ, по зависимости фотосинтеза от влажности мха (Murray et al., 1989; Schipperges, Rydin, 1998; Silvola, 1990; Nagaiuchi A., Yamada, 2011). Однако исследований по зависимости эмиссии CO_2 с поверхности сфагнома от уровня почвенно-грунтовых вод (УПГВ) значительно меньше, хотя в этом случае учитывается не только зависимость от изменения влажности мха, но и от величины массы мха, находящегося в аэробных условиях.

В настоящей работе исследована зависимость газообмена CO_2 с поверхности ненарушенного покрова сфагнома и газообмена заболоченного соснового древостоя от температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации при разном УПГВ.

Исследования проводили в Угличском р-не Ярославской обл. в заболоченном пушицево-сфагновом сосняке, произрастающем на торфянисто-глеевой почве (подзона южной тайги). Сомкнутость насаждения составляет 0,3. Пушицево-сфагновый сосняк Vб бонитета представлен двумя поколениями сосны 54 и 144 лет. Травяно-кустарничковый ярус высотой 49-60 см, с проективным покрытием 70-75%, в котором доминирует пушица влагалищная, багульник, а также клюква. Моховой покров сплошной, с доминированием *Sphagnum fuscum*, при участии *Sph. medium* и *Sph. rubellum*. (Арутюнян, Уткин, 1986). Уровень почвенно-грунтовых вод в зависимости от вегетационного периода и осадков может изменяться от 0 см до 50 см. Газообмен с поверхностью сфагнома (*Sphagnum fuscum*), интенсивность

фотосинтеза сосны, эмиссию CO_2 с поверхности стволов сосны определяли по открытой схеме по методу N.T. Edwards и P. Sollins (1973). Для этого на подушку сфагнома устанавливали прозрачную камеру диаметром 20 см и высотой 10 см, через которую над поверхностью мха в камере поддерживали постоянный проток атмосферного воздуха со скоростью 60-100 л ч^{-1} . Такая же камера была установлена на стволе сосны. Для определения интенсивности фотосинтеза хвои сосны также использовали открытую систему. Камерой служила полиэтиленовая камера в которой находился охвоенный побег. Измерение эмиссии CO_2 проводили инфракрасным газоанализатором "LI-820" (Li-Cor, США). Показания газоанализатора регистрировались логгером (EMS, Чехия) каждые 20 секунд одновременно с приходящей к поверхности солнечной радиацией, температурой почвы и температурой и влажностью воздуха. Регистрация показаний газообмена CO_2 проводилась круглосуточно с помощью оригинального автоматического устройства для записи данных по газообмену растений, которое управлялось логгером. Устройство позволяет осуществлять проведение эксперимента одновременно на пяти объектах, т.е. одновременно определяли газообмен с поверхности сфагнома, стволов деревьев и интенсивность фотосинтеза сосны. Время опроса всех камер регулируется от 15 до 35 мин. Газообмен CO_2 рассчитывался по формуле: $G_{sph} = (C_b - C_{control})F/S$ где G_{sph} – газообмен CO_2 (в $\text{мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$), C_b и $C_{control}$ – концентрации CO_2 в камере и окружающем воздухе ($\text{мкмоль г}^{-1}\text{с}^{-1}$), F – поток воздуха через камеру (л ч^{-1}), S – площадь поверхности подушки сфагнома в камере (м^2). Газообмен CO_2 с поверхности зеленого сфагнома, поверхности стволов и интенсивность фотосинтеза хвои сосны измеряли несколько раз за вегетационный период, когда УПГВ был на разных глубинах: в мае 2009 г. – 4 см, в июне 2009 г. – 7 см, в июле 2009 г. – 33 см, в августе 2009 г. – 21 см и в августе 2011 г. – 43 см. Результаты экспериментальных исследований показали значительную изменчивость CO_2 -обмена с поверхности сфагнома в зависимости от поступления солнечной радиации при разных уровнях грунтовых вод. Когда уровень грунтовых вод (УПГВ) находится на небольшой глубине от поверхности (4-7 см),

наблюдается поглощение CO_2 сфагнумом, которое выражается логарифмической зависимостью от солнечной радиации. При солнечной радиации больше 100 Вт м^{-2} ($190 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$) величина поглощения CO_2 составляет $0,5 \pm 1,0 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. С опусканием УПГВ до 21 см газообмен с поверхности сфагнума также показывает логарифмическую зависимость от солнечной радиации, но в этом случае наблюдается эмиссия CO_2 от 4 до $7 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. С дальнейшим снижением грунтовых вод эмиссия CO_2 увеличивается и составляет около $10 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$, при этом зависимость от солнечной радиации не наблюдается. При УПГВ равном 43 см эмиссия CO_2 с поверхности сфагнума снова уменьшалась до $5 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Эмиссия CO_2 с поверхности сфагнума, когда УПГВ находится на глубине 7 см и 43 см представлена на рис. 1. На основе полученных данных было рассчитано уравнение зависимости обмена CO_2 на поверхности сфагнума от солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, а также УПГВ: $NEE = a \cdot Q + b \cdot Q^2 + c \cdot Hr + d \cdot Hr^2 + e \cdot T + f \cdot T^2 + g \cdot WL + h \cdot WL^2 + k$ $n=313$ $r^2=0,83$. Где: Q – солнечная радиация; Hr – влажность воздуха; T – температура воздуха; WL – уровень почвенно-грунтовых вод. $a = -0,00659$; $b = 0,00000681$; $c = -0,02768$; $d = 0,000344$; $e = -0,72354$; $f = 0,02204$; $g = 0,794679$; $h = -0,01342$; $k = 1,887697$.

Одновременно с определением эмиссии CO_2 с поверхности сфагнума на этой же пробной площадке проводилось определение интенсивности фотосинтеза. По полученным данным были построены световые кривые фотосинтеза. Когда в пушицево-сфагновом сосняке уровень грунтовых вод стоял на 43 см, интенсивность фотосинтеза при световом насыщении составляла около $9 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. При высоком стоянии УПГВ = 7 см, когда у сфагнума наблюдается поглощение CO_2 из атмосферы, интенсивность фотосинтеза незначительна и равна $1-2 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ (рис. 1). Наши предыдущие исследования также показывали [Молчанов, 1993], что когда в

заболоченном сосновом насаждении уровень грунтовых вод уходит глубже 20 см интенсивность фотосинтеза сосны приближается к интенсивности фотосинтеза сосны в кислотно-черничном типе леса.

На основе полученных данных эмиссии CO_2 с поверхности стволов были построены температурные зависимости интенсивности эмиссии CO_2 с поверхности стволов. Зависимость эмиссии CO_2 с поверхности ствола от температуры воздуха при разных УПГВ в пушицево-сфагновом сосняке представлена на рис. 2. Так при температуре $10-25^\circ\text{C}$ интенсивность дыхания ствола в заболоченном пушицево-сфагновом сосняке у дерева интенсивного роста (приняли его за дерево I класса роста) была $1.0-2.0 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. У деревьев слабого роста (IV класса роста) интенсивность дыхания ствола была слабой и составила $0.3-0.7 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. По экспериментальным данным были рассчитаны зависимости дыхания ствола от температуры воздуха. Для пушицево-сфагнового сосняка I класса роста $y = 0.9773 \ln(x) - 1.1261$, $r^2 = 0.50$. Для деревьев IV класса роста в пушицево-сфагновом сосняке $y = 0.309 \ln(x) - 0.3152$, $r^2 = 0.21$. Где: y – интенсивность эмиссии CO_2 с поверхности ствола; x – температура воздуха. С опусканием УПГВ до 43 см, несмотря на увеличение интенсивности фотосинтеза, эмиссия CO_2 у деревьев разного класса роста практически не изменилась (рис. 2).

Используя разработанную нами методику фотосинтетической продуктивности по поглощенной солнечной радиации и коэффициенту использования поглощенной солнечной радиации на фотосинтез (Молчанов, 1983) получили, что при УПГВ равном 0-10 см поглощение CO_2 за вегетационный период равно $317,2 \text{ г/м}^2$, в середине июня 2.13 г/м^2 день или $21,3 \text{ кг м}^{-2}$ га день (Молчанов 1999). При УПГВ равном 30-40 см поглощение CO_2 хвоей соснового древостоя увеличится в два раза и станет $634,4 \text{ г м}^{-2}$ или $42,6 \text{ кг м}^{-2}$ га день. Используя таксационные данные

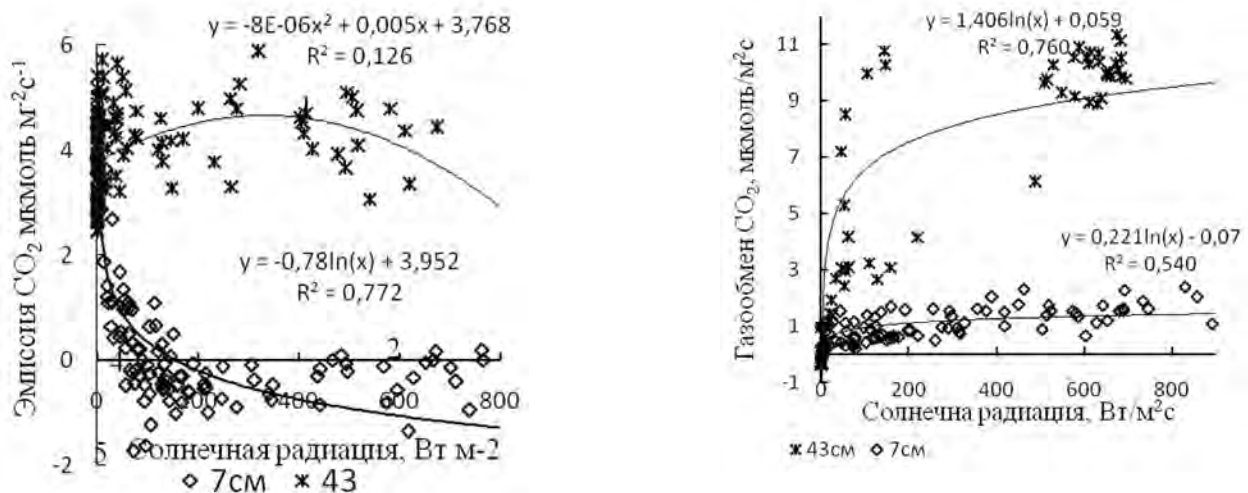


Рис.1. Газообмен CO_2 с поверхности сфагнума (слева) и хвои сосны (справа) при УПГВ=7 см и 43см

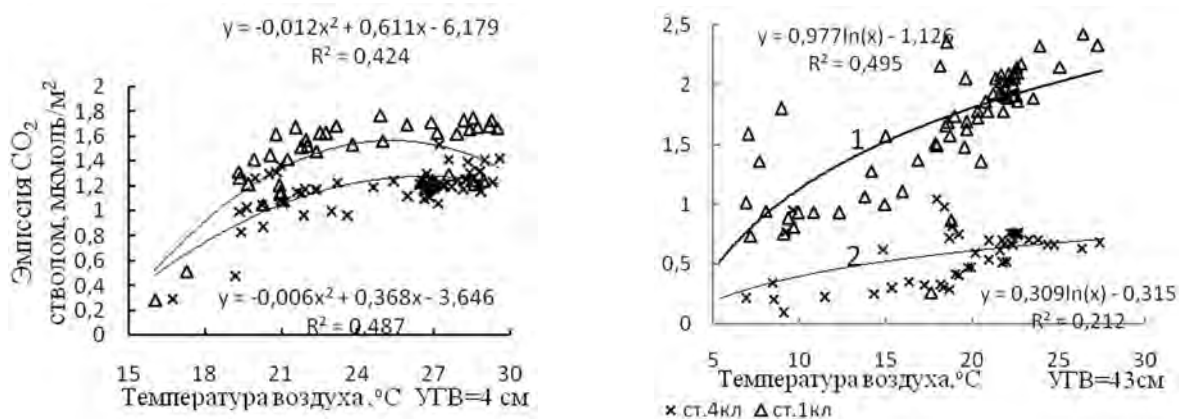


Рис.2. Температурные кривые эмиссии CO_2 с поверхности стволов у деревьев I и IV класса роста при уровне почвенно-грунтовых вод 4 см (слева) и 43 см (справа)

(Арутюнян, Уткин, 1986) получили, что поверхность стволов в древостое равна $1300 \text{ м}^2/\text{га}$, и если допустить, что средняя интенсивность дыхания стволов равна $1,4 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ или $5,32 \text{ г } \text{CO}_2/\text{м}^2 \text{ день}$, то получится, что эмиссия CO_2 с поверхности стволов на га = $6,9 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{га} \text{ день}$. Так как эмиссия CO_2 с поверхности стволов при разных УПГВ мало изменяется, то можно считать, что эта величина не изменится

Эмиссия CO_2 с поверхности сфагнума, когда УПГВ 7 см, отрицательна, т.е. наблюдается поглощение сфагнумом CO_2 , которая равна в среднем $1 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ (рис.1), т.е. $38 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{га} \text{ день}$. С опусканием УПГВ на 43 см эмиссия CO_2 с поверхности сфагнума составляет $4,5 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$ или в пересчете на га равна $171 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{га} \text{ день}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы РАН "Биологические ресурсы" и проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS К Восстановление торфяных болот).

1. Арутюнян С.Г., Уткин А.И. Биологическая продуктивность и вертикально- фракционная структура естественных средневозрастных древостоев трех типов сосняков // Вертикально-фракционное распределение фитомассы в лесах. - М.: Наука, 1986. - С. 163–177.
2. Вомперский С.Э. Влияние современного климата на болотообразование и гидрлесомелиорацию // Структура и функции лесов Европейской России / Отв. ред. Уткина И.А. Ин-т лесоведения РАН. - М.: ТНИ КМК, 2009. - С. 31–51.
3. Молчанов А.Г. Экофизиологическое изучение продуктивности древостоев. - М.: Наука, 1983. - 136 с.
4. Молчанов А.Г. Фотосинтетическая продуктивность заболоченного и суходольного сосновых древостоев // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. - М.: ГЕОС, 1999. - С. 215–217.
5. Наумов А.В., Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Продукция CO_2 торфяной почвой слабо осушенного мезотрофного болота в связи с гидротермическими условиями сезона // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. / Отв. ред. Вомперский С.Э., Сирин А.А. - М.: ГЕОС, 1999. - С. 218–219.
6. Murray R.J., Harley P.C., Beyers J., Walz H., Tenhunen J.D. Water content effects on photosynthetic response of Sphagnum mosses from the foothills of the Philip Smith Mountains, Alaska // Oecologia. - 1989. - Т.79. - P. 244–250.
7. Schipperges B., Rydin H. Response of photosynthesis of Sphagnum species from contrasting microhabitats to tissue water content and repeated desiccation // New Phytol. - 1998. - Т. 140. - P. 677–684.
8. Silvola J. Combined effects of varying water content and CO_2 concentration on photosynthesis in Sphagnum fuscum // Holarctic Ecology. - 1990. - Vol.13. - P. 224–228.
9. Haraguchi A., Yamada N. Temperature Dependency of Photosynthesis of Sphagnum spp. Distributed in the Warm-Temperate and the Cool-Temperate Mires of Japan // American Journal of Plant Sciences. - 2011. - Vol. 2. - P. 716–725.

Таким образом, по предварительным данным, при УПГВ 7 см экосистемная нетто-продукция нашего заболоченного сосняка составляет $76 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{га} \text{ день}$, из которой 38 кг получено за счет поглощения CO_2 сфагнумом, а 38 кг за счет хвои деревьев сосны. (Мы не учли газообмен других видов растений, произрастающих в исследуемой экосистеме). В случае опускания УПГВ на 43 см экосистемная нетто-продукция становится отрицательной $-135,3 \text{ кг } \text{CO}_2/\text{га} \text{ день}$. Хотя деревья сосны поглощают за счет фотосинтеза в два раза больше углекислоты, но так как масса хвои в сосняке не увеличилась, такой вклад не привел к положительному газообмену этой экосистемы.

О ПОКАЗАТЕЛЯХ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ABOUT FACTORS OF THE CARBON CYCLE OF MIRE ECOSYSTEMS

А.В. Наумов
A. V. Naumov

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
E-mail: a.naum@ngs.ru

Цикл углерода имеет исключительное значение для структурно-функциональной организации биосферы. Природные экосистемы, ассимилируя CO₂ атмосферы, в течение сотен и тысяч лет накапливали и формировали наземный резервуар углерода, включающий органическое вещество минеральных почв и торфяных отложений.

Образование и развитие болот имеет ряд особенностей, которые отличают их от других природных экосистем. Они обусловлены специфическим сочетанием экологических факторов, функциональной активностью первичных продуцентов и деструкторов, а также пространственно-временной динамикой основных процессов углеродного цикла.

Для описания биологического круговорота углерода часто используют, предложенный в работе (Ляпунов, Титлянова, 1974) системный подход, согласно которому выделяются основные компоненты экосистемы (блоки) и процессы (потоки), объединяемые в единую систему. В болотных экосистемах целесообразно выделять в качестве основных компонентов углеродного цикла отдельно пулы углерода, содержащегося в составе живого и мертвого растительного вещества, торфа, микробной биомассы, а также растворенных в болотной воде органических соединений, углекислого газа и метана. В качестве основных обменных процессов рассматриваются фотосинтез и дыхание растительного компонента, гетеротрофное дыхание микроорганизмов, прирост и отмирание фитомассы. Таким образом, рассматривая показатели углеродного цикла болотных экосистем, будем основываться на количественном выражении запасов углерода в основных пулах (блоках) и оценках интенсивности обменных процессов между ними.

На протяжении последних двух десятков лет болота Западной Сибири интенсивно изучаются болотоведами, экологами, ботаниками и геоботаниками, гидрологами, почвоведомы, микробиологами и другими специалистами. Этот подъем был обусловлен обозначившейся глобальной экологической проблемой изменения природной среды и климата в связи с накоплением парниковых газов в атмосфере. Вопрос, каков же вклад болот Западной Сибири в глобальные

биосферные процессы, источник или сток, интересовал многих современных исследователей. Однако, несмотря на значительные усилия разных специалистов, ответ на вопрос об углеродном статусе крупнейшего региона все еще остается неопределенным. Причин несколько, остановимся на некоторых из них, как нам представляется, наиболее важных и актуальных.

Фитомасса – наиболее важный и динамичный компонент болотной экосистемы. Растительный покров отражает текущее функциональное состояние продукционного звена биологического круговорота углерода. Прирост и запасы фитомассы подвержены влиянию различных факторов окружающей среды. Изменения погодных и климатических условий оказывают прямое влияние на сезонную и многолетнюю динамику этого важнейшего компонента болотной экосистемы. К сожалению, длительные наблюдения за динамикой показателей, характеризующих состояние фитоконцентра на болотах Западной Сибири, немногочисленны. Больше внимания уделяется сравнению средних значений чистой первичной продукции (NPP) и запасов фитомассы в разных экосистемах, а не их оценкам в одной экосистеме на протяжении нескольких лет подряд.

В природных экосистемах могут реализовываться разные режимы биологического круговорота: стационарный, периодический и переходный (Титлянова, Тесаржова, 1991). Стационарный режим является идеализацией и в реальных условиях, когда запасы углерода в компонентах и интенсивность потоков меняются с течением времени, не реализуется. Периодический режим характерен для экосистем, для которых усредненные в многолетней динамике оценки запасов углерода в основных компонентах и интенсивности обменных процессов между ними остаются относительно постоянными. Для выявления периодического режима необходимо иметь ряд наблюдений за показателями цикла углерода не менее 6-8 лет. В переходном режиме функционируют экосистемы, в которых запасы углерода и скорости обмена между блоками системы продолжают изменяться во времени под влиянием факторов окружающей среды на протяжении десятков лет. Большинство экосистем мира функционирует в переходном режиме. К ним можно

отнести и болота Западной Сибири. Совершенно очевидно, чтобы ответить на основной вопрос, необходимо приложить еще много усилий.

Запас углерода в торфе – наиболее консервативный компонент углеродного цикла болотной экосистемы. Прямое влияние этого пула углерода на функциональные характеристики экосистемы не выявлены. Обычно выделяют два слоя в структуре торфяной залежи: инертный (catotelm) и активный (acrotelm). Это разделение следует считать условным, т.к. процессы, связанные с химическими и биохимическими превращениями органических веществ, микробиологической активностью, а также взаимодействие с жидкой и газовой фазой продолжаются в глубоких слоях торфяной залежи.

Оценки запаса углерода этого пула сопряжены с некоторыми методическими трудностями. Особенно это касается верхнего деятельного слоя, часто сильно насыщенного влагой, что затрудняет учет объемной массы. Насыщенный влагой «жидкий» торф часто образуется при заторфовывании небольших водоемов.

Оценки линейной скорости накопления торфа, полученные на основе радиоуглеродного датирования и структуры торфяной залежи (Лапшина, 2011), трудно адаптировать для характеристики углеродного цикла. Механизм формирования торфяной толщи в существенно различающихся климатических и гидрологических условиях, при разной насыщенности влагой разных горизонтов остается не выясненным. К сожалению, авторы не сообщают о тех допущениях, которые присущи выбранному ими методу.

Запасы углерода в торфяных отложениях достаточно большой мощности, полученные объемно-весовым методом, по-видимому, можно считать достаточно надежными. Однако для сравнительно маломощных торфяных болот, где глубина насыщенного влагой деятельного слоя сопоставима с мощностью залежи, оценки запаса углерода могут оказаться не репрезентативными.

Для радиометрического датирования важным является момент появления радионуклида в породе (Шейнкман, 2013). Источником углерода для торфяной залежи является живая растительность. Считают, что с отмиранием растений приток углерода в растительную массу прекращается и, все расчеты выполняют, как для закрытой системы. Однако в свете последних данных, представленных в сообщении (Clueto, Bryant, 2007), углеродный обмен между жидкой, газовой фазой и торфом возможен по всей глубине залежи. Это отражается в радиоуглеродных датах. В этой связи возраст болот Западной Сибири (по оценкам некоторых авторов 10–11 тыс. лет) может быть существенно выше. Также обменные

процессы в торфяной залежи южных болот могут идти с более высокой скоростью по сравнению с северными болотами. Таким образом, вывод об одновременном начальном заболачивании территории Западной Сибири, на наш взгляд, нуждается в корректировке. Соответственно, скорость аккумуляции углерода с учетом разного (скорректированного) возраста болот южных и северных областей будет иной.

Оценки содержания углерода в растворенных органических и неорганических соединениях, включая растворенные газы, для болот Западной Сибири единичны и практически не учитываются в балансовых расчетах. Запасы микробной биомассы и ее функциональная активность в торфяных залежах сибирских болот также мало изучены. Эта информация может быть полезна для анализа обменных процессов, происходящих в торфяных отложениях при разном сочетании факторов среды.

Среди величин, характеризующих основные процессы углеродного цикла, рассмотрим такие показатели как чистая первичная продукция NPP, фотосинтез (ассимиляция), суммарная эмиссия CO₂, скорость разложения растительных остатков, минерализация (разложение) торфа, нетто-продукция экосистемы NEP. Среди названных показателей только ассимиляция и суммарная эмиссия CO₂ доступны для прямых измерений. Остальные величины являются расчетными. Для получения оценок основных составляющих углеродного баланса используются разные методы и подходы, что затрудняет корректное сравнение и анализ публикуемых данных.

Оценка чистой первичной продукции болот – задача чрезвычайно сложная в методическом плане. Метод укосов и монолитов трудно реализовать в условиях болот из-за большого разнообразия жизненных форм растений, встречающихся в пределах одного фитоценоза. Оценка годичного прироста для каждой из этих групп возможна лишь при индивидуальном подходе, учитывая биологические особенности роста растений. Величины NPP болотных фитоценозов, рассчитанные по разности между максимальным и минимальным запасом фитомассы в течение сезона, нам представляются некорректными. Особые трудности представляет учет прироста подземных органов растений. При этом часто исследователи полагаются на свои практические навыки и визуальную оценку состояния различных частей растения. На фоне биологического разнообразия болотной растительности и широкого спектра локальных экологических условий диапазон оценок NPP чрезвычайно широк, от 150 до 3000 г/м²/год сухого вещества и более (Титлянова, 2001). Погрешности публикуемых величин NPP авторами не приводятся.

Методология оценок нетто-продукции болотных экосистем (NEP), рассчитываемых с учетом лишь двух показателей, NPP и гетеротрофного дыхания экосистемы рассматривалась в сообщении (Вомперский, 2007). Ранее о необходимости пересмотра NEP – концепции в связи с изучением углеродного цикла сообщалось в публикации большой группы экологов (Chapin et al., 2006). Ими предложен новый термин – net ecosystem carbon balance NECB, учитывающий кроме фотосинтеза и дыхания другие потоки углерода, входящие в экосистему и покидающие ее.

Важнейшее звено биологического круговорота углерода – разложение растительного вещества и минерализация торфа – для болот Западной Сибири фактически не изучено. Публикуемые оценки скоростей разложения разных растительных фракций и торфа, полученные методом экспозиции материала в сетчатых мешочках (mesh bag technique) вызывают много вопросов на фоне критических замечаний, касающихся этого подхода (Wieder, Lang, 1982). Данные по динамике элементного состава разлагающегося субстрата в ходе этих экспериментов также представляются сомнительными.

Актуальным остается вопрос о соотношении оценок NPP, суммарного дыхания экосистемы и эмиссии CO₂ из торфяной толщи. Ранее нами сообщалось о концептуальном решении кажущихся противоречий (Наумов, 2003). В настоящем сообщении обращено внимание на причины, вызывающие неустойчивый сезонный характер углеродного баланса в болотных экосистемах.

На фоне оценок основных показателей углеродного цикла вклад эмиссии метана в общий баланс представляется незначительным (Наумов, 2004). Тем не менее, исследования процессов образования и потребления метана в торфяной толще, а также его переноса и удаления из экосистемы в растворенном и газообразном состоянии остаются актуальными. Площадные оценки эмиссии метана для такого большого региона как Западная Сибирь, составленные на основании случайных точечных измерений камерным методом, на наш взгляд, недостаточно обоснованы. Здесь выбор метода диссоциирует с поставленной задачей. Погрешности полевого камерного метода, накладывающиеся на неопределенный характер суточной, сезонной и годовой динамики, помноженные на огрубленные оценки площадей болотных выделов, не позволяют рассматривать публикуемые некоторыми авторами величины региональной эмиссии как надежные. В свете представлений о динамике газов в гидроморфных биокосных системах также ставится вопрос о пригодности камерного метода для репрезентативной оценки эмиссии метана в болотных экосистемах (Смагин, 2003). Интересный подход, основанный на результатах сканирования атмосферы со спутника, предложен в работе (Грибанов и др., 2007). Авторами выявлены сезонные и годовые колебания содержания метана в атмосфере, связанные с активностью биоты, рассчитана годовая эмиссия метана для северной части Западной Сибири, включая лесотундру, среднюю и северную тайгу.

1. Вомперский С.Э. О методологии оценок современной нетто-экосистемной продукции (NEP) болота // *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present*. Khanty-Mansiysk – Tomsk: NTL, 2007. - P. 11–13.
2. Грибанов К.Г., Имасу Р., Топтыгин А.Ю., Блойтен В., Наумов А.В., Захаров В.И. Метод и результаты по определению метана в атмосфере Западной Сибири из данных сенсора AIRS // *Оптика атмосферы и океана*. - 2007. - Т. 20. № 10. - С. 881–886.
3. Лапшина Е.Д. Динамика накопления торфа на болотах таежной зоны Западной Сибири // *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present*. - Novosibirsk, 2011. - P. 38–39.
4. Ляпунов А.А., Титлянова А.А. Системный подход к изучению обменных процессов в биогеоценозе // *Ботанический журнал*. - 1974. - Т. 59. № 8. - С. 1081–1092.
5. Наумов А.В. Особенности круговорота углерода в болотных экосистемах // *Вестник ТГУ, Приложение № 7*. - 2003. - С. 175–181.
6. Смагин А.В. Новые представления о динамике газов в гидроморфных биокосных системах // *Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии*. - Пушино, 2003. - С. 108–109.
7. Титлянова А.А. Что мы знаем о продукции болот? // *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present*. - Novosibirsk: Aгенство Sibprint, 2001. - P. 136–138.
8. Титлянова А.А., Тесаржова М. Режимы биологического круговорота. Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.
9. Шейнкман В.С. Проблема абсолютного датирования четвертичных геоморфологических комплексов Сибири // *География и природные ресурсы*. - 2013. - № 4. - С. 18–27.
10. Chapin III F.S., Woodwell G.M., Randerson J.T. et al. Reconciling Carbon-cycle Concepts, Terminology, and Methods // *Ecosystems*. - 2006. - Issue 9. - P. 1041–1050.
11. Clymo R.S., Bryant C.L. Diffusion and mass flow of peat gases (CH₄ and CO₂) and dissolved organic carbon (DOC) in a 7-m deep raised bog // *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present*. Khanty-Mansiysk. - Tomsk: NTL, 2007. - P. 14–15.
12. Naumov A.V. Carbon budget and emission of greenhouse gases in bog ecosystems of Western Siberia // *Eurasian Soil Science*. - 2004. - Vol. 37. Suppl. 1. - P. S58–S64.
13. Wieder R.K., Lang G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags // *Ecology*. - 1982. - V. 63. - P. 1636–1642.

ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ И CO₂-ГАЗООБМЕН В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

EVAPOTRANSPIRATION AND CO₂ GAS EXCHANGE IN MIDDLE TAIGA BOG ECOSYSTEMS (WEST SIBERIA)

А.В. Наумов

A. V. Naumov

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: a.naum@ngs.ru

Болота Западной Сибири продолжают привлекать внимание исследователей как природный аккумулятор атмосферного углерода в связи с глобальной проблемой изменения окружающей среды и климата. Следует отметить, что торфяные болота также выполняют важную биосферную функцию по регулированию водного баланса значительной части территории таежной зоны. Углеродный баланс в болотных экосистемах тесно связан с водным обменом растительного покрова и почвы с атмосферой. Это взаимодействие обеспечивает болотам уникальную возможность сохранять функциональную устойчивость и прогрессивное развитие в течение длительного времени.

Однако общие представления недостаточны для глубокого понимания сути происходящих внутри системы изменений и обоснования возможных экологических сценариев на ближайшую и отдаленную перспективу. Соответственно, изучению процессов, которые управляют потоками вещества, и механизмам взаимосвязи между основными составляющими энергообмена в болотных экосистемах следует уделять особое внимание.

В настоящем сообщении рассмотрены результаты сопряженных измерений потоков углекислого газа F_{CO_2} и суммарного испарения (эвапотранспирация, ET), выполненные на олиготрофном болоте камерным методом. Ключевой участок располагался в зоне верховых сфагновых болот в 60 км от Ханты-Мансийска. В пределах исследуемого болотного массива распространены олиготрофные мочажины, гряды с сосново-кустарничково-сфагновой растительностью, грядово-мочажинные комплексы и проточные осоково-сфагновые топи, а также мелкие озера с открытой водной поверхностью.

Суммарное испарение с поверхности болота определяется несколькими факторами.

Наибольшее влияние на величину ET оказывают составляющие радиационного и теплового баланса в экосистеме, структура растительного покрова и физиологическое состояние растений, произрастающих на болоте в разных условиях окружающей среды. Углеродный статус верховых болот (источник/сток) тесно связан с погодно-климатическими условиями в течение вегетационного сезона. Отмечено, что недостаточное количество осадков в летний период может приводить к отрицательному балансу углерода, превышению суммарного дыхания над фотосинтезом (Alm et al., 1999; Arneeth et al., 2002; Курбатова, 2002; Наумов и др., 2007).

В этой связи представляют интерес отдельные оценки потоков влаги связанных с физическим испарением и транспирацией растений (Kool et al., 2014). Болотная растительность характеризуется относительно низкой интенсивностью транспирации (Рахманина, 1967; Бейдеман, 1983). Однако оценить этот показатель для сфагновых мхов, которые выступают одним из основных компонентов верховых болот, методически весьма затруднительно. Сопряженные измерения потоков CO₂ и H₂O на площадках с разным набором видов, в условиях варьирования доступной солнечной радиации позволили наметить некоторые закономерности взаимосвязи основных составляющих углеродного баланса и эвапотранспирации.

Установлена тесная корреляция суммарного испарения с уровнем фотосинтетически активной радиации ФАР. Это позволило выделить в общем потоке испаряющейся влаги вклад болотной растительности. Отмечено, что в условиях светового дня при температурах воздуха 15–25 °C основной вклад вносит транспирация. В ночной период при относительно низких температурах воздуха и прекращении фотосинтеза преобладает физическое испарение, а вклад растительного покрова минимальный.

1. Бейдеман И.Н. Справочник по расходу воды растениями в природных зонах СССР (геоботаническая и экологическая характеристики). - Новосибирск, 1983. - 257 с.
2. Курбатова Ю. А. Вертикальные потоки тепла, влаги и углекислого газа на верховом болоте юга Валдайской возвышенности. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Москва, 2002. - 27 с.
3. Наумов А.В., Косых Н.П., Мироничева-Токарева Н.П., Паршина Е.К. Углеродный баланс в болотных экосистемах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. -2007. - Т. 14. № 5. - С.771–779.
4. Рахманина А.Т. Некоторые особенности водного режима растений болот восточноевропейской тундры // Природа болот и методы их исследований. - Ленинград, 1967. - С. 79–84.
5. Alm J., Schulman L., Walden J., Nykänen H., Martikainen P.J., Silvola J. Carbon balance of a boreal bog during a year with an exceptionally dry summer // Ecology. -1999. - V. 80. № 1. - P.161–174.
6. Arneeth A, Kolle O., Lloyd J., Schulze E.-D., Kurbatova J., Vygodskaya N.N., Schibistova O.B. Comparative ecosystem – atmosphere exchange of energy and mass in a European Russia and central Siberia bog II. Interseasonal and interannual variability of CO₂ fluxes // Tellus B. - 2002. - V.54. №5. - P.514–530.
7. Kool D., Agam N., Lazarovitch N., Heiman J.L., Sauer T.J., Ben-Gal A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning // Agricultural and Forest Meteorology. - 2014. - Issue 184. - P.56–70.

**РАЗЛОЖЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ
ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА ТОМСКОГО РАЙОНА
DECOMPOSITION OF PLANT MATTER IN THE PEAT DEPOSITS OF OLIGOTROPHIC
BOGS IN TOMSK REGION**

**Л.Г. Никонова, Е.А. Головацкая
L.G. Nikonova, E.A. Golovatskaya**

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia
E-mail: lili112358@mail.ru**

В связи с возрастанием уровня воздействия на природные экосистемы возникают опасения увеличения скорости разложения растительного материала, что в последствие может способствовать наибольшему высвобождению накопленного углерода в атмосферу (Ward, 2010). Количественные оценки продуцирования и потерь растительного вещества требуют динамических наблюдений в различных типах болот, определяющих режим их функционирования (Паршина, 2009). Следует отметить, что работ, посвященных динамике разложения растений-торфообразователей в болотах сравнительно немного, что подчеркивает актуальность проводимых исследований.

Цель данной работы заключалась в изучении скорости разложения растительных остатков в торфяной залежи олиготрофного болота «Кирсановское» Томского района.

Материалы и методики исследования

Исследования проводились на территории Обь-Томского междуречья – ключевой участок «Томский» (Томский район Томская область), олиготрофное болото Кирсановское, – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз (рям).

Объектами исследования послужили основные растения-торфообразователи данного олиготрофного болота: 1 вид дерева (*Pinus sylvestris* L. – сосна обыкновенная), 2 вида кустарничков (*Chamaedaphne calyculata* Moench. – мирт

болотный, *Vaccinium vitis-idaea* L.– брусника), 1 вид травянистых растений (*Rubus chamaemorus* L.– морошка приземистая), 3 вида мхов (*Sphagnum fuscum* Klinggr. – сфагнум бурый, *Sphagnum angustifolium* (Russ. Ex Russ.) C.Jens. – сфагнум узколистый, *Sphagnum magellanicum* Brid. – сфагнум магелланский).

Для определения скорости разложения отдельных растений-торфообразователей применялся метод закладки растительности в торф (Козловская, 1978). Для этого на болоте в августе-сентябре 2008 г. были собраны растения-торфообразователи. У вечнозеленых кустарничков для эксперимента брали прошлогодние листья, у дерева - хвою, у трав – ветوشь, у сфагновых мхов – очес. Исходный химический состав растительных образцов представлен в табл.1. В лабораторных условиях собранные растения высушивали до воздушно-сухого веса. Затем раскладывались в нейлоновые мешочки, масса навески составляла 4-6 г. Приготовленный растительный материал закладывался в торфяную залежь на глубину 10 см от поверхности в трехкратной повторности в конце вегетационного периода 2008 г.

Отбор экспериментального материала проводился через 12, 24 и 36 месяцев после начала эксперимента. После отбора мешочки с остатками органического вещества также высушивались до воздушно-сухого веса, взвешивались и

Таблица 1. Виды исследуемых растений, исходный химический состав растительных образцов

Вид растения	C, %	N, %	C/N	A, %
Деревья и кустарнички				
<i>Pinus sylvestris</i> L	48,63	1,15	42	2,15
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L	49,06	1,04	47	2,40
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	50,33	1,38	37	2,53
Сфагновые мхи				
<i>Sphagnum angustifolium</i>	39,75	1,04	38	2,25
<i>Sphagnum magellanicum</i>	40,60	0,58	70	2,95
<i>Sphagnum fuscum</i>	39,33	0,46	86	1,09
Травы				
<i>Rubus chamaemorus</i>	41,87	1,38	30	4,01

C, N – содержание углерода, азота; C/N – отношение углерода к азоту; A – зольность

готовились к дальнейшим исследованиям. В исходных образцах и после эксперимента по разложению определяли убыль массы растительного вещества весовым методом, а также изменение зольности, содержания углерода и азота по общепринятым методикам (Агрохимические методы, 1975; Пономарева, 1975).

Результаты исследования

В ходе эксперимента установлено, что в целом потери массы растительного вещества за первый год составили от 4 % (*Sphagnum fuscum*) до 42 % (*Pinus sylvestris*), за 2 года от 13% (*Sphagnum fuscum*) до 72 % (*Rubus chamaemorus*), за 3 года от 16 % (*Sphagnum fuscum*) до 86 % (*Rubus chamaemorus*) (рис 1.). Наиболее интенсивное разложение наблюдается в первый год эксперимента, так, за первые 12 месяцев, потери массы растительных остатков составляют в среднем 59% от общего разложения.

Интенсивность разложения листьев кустарничков примерно одинаковая и к концу первого года эксперимента потери массы составляют 23-27 % от исходной (рис. 1). К концу третьего года эксперимента наблюдается более значимая разница в скорости разложения листьев кустарничков. Наибольшее разложение отмечается у *Chamaedaphne calyculata* (62 % от исходной массы), а наименьшее разложение у *Vaccinium vitis-idaea* (34 % от исходной массы).

Потери массы при разложении хвои *Pinus sylvestris* L. в первый год эксперимента достигают 42 % от исходного, к концу эксперимента разложение практически прекратилось, потери массы составили 64 % от исходной массы (рис 1).

В среднем сфагновые мхи (рис. 1) характеризуются низкой скоростью разложения (за исключением *Sphagnum angustifolium*, для которого потери массы уже в течение первого года достигают 45%) потери массы за три года составляют от 16 (*Sphagnum fuscum*) до 62 % (*Sphagnum angustifolium*). Для всех исследуемых видов максимальная скорость разложения наблюдалась

в первый год эксперимента, кроме *Sphagnum fuscum*, для которого максимальная интенсивность разложения достигается во второй год.

При разложении *Rubus chamaemorus*, наибольшие потери массы наблюдаются в первый год эксперимента и составляют 40%. В последующем скорость разложения снижается, а за третий год увеличивается лишь на 15% в сравнении со вторым годом. Исходя из результатов эксперимента, *Rubus chamaemorus* является наименее устойчивым к разложению среди других групп исследуемых растений (рис.).

Таким образом, к концу эксперимента исследуемые растения по скорости разложения в торфяной залежи ряма располагаются в ряд: *Rubus chamaemorus* > *Chamaedaphne calyculata* > *Pinus sylvestris* > *Sphagnum angustifolium* > *Vaccinium vitis-idaea* > *Sphagnum magellanicum* > *Sphagnum fuscum*. (рис 1)

Во всех исследуемых образцах определялись потери углерода, азота и зольных элементов (табл. 2). Для всех кустарничков и хвои *Pinus sylvestris* характерны быстрые потери углерода в течение первых 12 месяцев, и снижение потерь к концу третьего года. Потери углерода за 12 месяцев в сфагновых мхах составляют от 3 % от исходного содержания (*Sphagnum fuscum*) до 53 % (*Sphagnum angustifolium*). Максимальные потери углерода среди всех групп исследуемых растений принадлежит травянистому растению - *Rubus chamaemorus* (83 %). Максимальная скорость выноса углерода из растительных остатков данного растения характерна также в течение первого года.

Наши исследования показывают, что в некоторых образцах растительного материала (*Vaccinium vitis-idaea*, *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*) происходит накопление азота в течение первого года разложения. При разложении листьев *Chamaedaphne calyculata* наблюдаются потери азота около 5 % от исходного содержания,

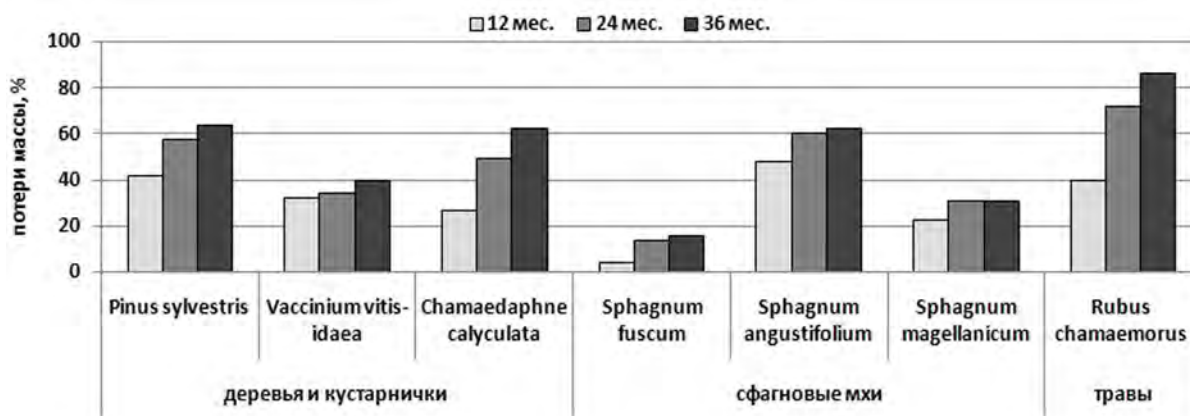


Рис. Потери массы при разложении растений-торфообразователей (потери массы приведены в % от исходной величины)

Таблица 2. Содержание элементов при разложении растительных остатков растений-торфообразователей, % от исходного содержания

Группа	Вид	Углерод			Азот			Зольность		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Деревья и кустарнички	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L	72	69	66	137	19	110	90	104	64
	<i>Chamaedaphne calyculata</i>	73	51	41	95	90	72	73	54	18
	<i>Pinus sylvestris</i> L	62	47	42	59	54	74	60	44	29
Сфагновые мхи	<i>Sphagnum angustifolium</i>	47	44	42	65	44	48	49	48	46
	<i>Sphagnum. fuscum</i>	97	95	97	163	85	122	135	145	160
	<i>Sphagnum. magellanicum</i>	77	73	74	103	53	158	45	54	67
Травы	<i>Rubus chamaemorus</i>	58	32	17	117	53	39	35	23	13

1, 2, 3 – периоды разложения – 1, 2, 3 года соответственно

для *Pinus sylvestris* и *Sphagnum angustifolium* потери азота при разложении более существенны (табл. 2). Максимальное накопление азота происходит в образцах *Vaccinium vitis-idaea*. К концу третьего года по-прежнему остается высокое содержание азота в образцах *Vaccinium vitis-idaea* и *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum magellanicum*, с максимальным содержанием в растительных остатках *Sphagnum magellanicum*, в образцах *Rubus chamaemorus* вынос достигает 60% (табл. 2.).

Соотношение C/N является важной величиной при изучении скорости разложения растительных остатков (Козловская, 1978). У всех кустарничков и у *Pinus sylvestris* наблюдается снижение отношения C/N. К концу третьего года эксперимента практически во всех сфагновых мхах наблюдается уменьшение отношения C/N по сравнению с исходными образцами, за исключением *Sphagnum magellanicum*, где наблюдалась значительное увеличение содержания азота. В образцах *Rubus chamaemorus* наблюдается существенное снижение отношения C/N, вызванное интенсивным выносом углерода и азота.

Согласно нашим исследованиям, в первый год в большинстве случаев, происходит снижение содержания зольных элементов в растительных остатках в среднем на 41% (табл. 2). Среди кустарничков к концу третьего года эксперимента содержание зольных элементов снизилось во всех образцах. Оценка изменения содержания зольных элементов в сфагновых мхах при

разложении показала, что на начальном этапе максимальным снижением содержания зольных элементов характеризуется *Sphagnum magellanicum* (табл.2). К концу третьего года эксперимента в среднем потери зольных элементов составляют для сфагновых мхов около 40 %, за исключением *Sphagnum fuscum*, для которого содержание зольных элементов выше (в 1,5 раза), чем в исходном состоянии. Потери зольных элементов *Rubus chamaemorus* относительно исходного содержания самые высокие среди исследуемых видов (табл. 2).

Заключение

Результаты проведенных исследований показывают, что в торфяной залежи рьяма болота «Кирсановское» наиболее активно процессы деструкции протекают в течение первого года после начала эксперимента. Основным растением-торфообразователем в условиях рьяма является *Sphagnum fuscum*, наименьший вклад в процесс торфообразования вносят *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum angustifolium*.

Снижение содержания общего углерода и зольных элементов, также как и потери массы, наиболее активно протекает в первый год эксперимента. В процессе разложения растительных остатков в течение первого года, иногда, наблюдается увеличение содержания азота в некоторых видах исследуемых растений, в последующем происходит его вынос.

1. Козловская Л. С., Медведева В. М., Пьявченко Н. И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. - Л.: Наука, 1978. - 176 с.
2. Паршина Е. К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири: Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук : 03.00.05, 03.00.27. Томск, 2009. - 23 с.
3. Дюкарев А. Г., Пологова Н.Н. Трансформация природной среды в зоне действия Томского водозабора, ENVIROMIS. Труды межд. конф. - Томск: ИОА, 2002. - С. 244–251.
4. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1975. - 656 с.
5. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). - Л.: Наука, 1975. - 105 с.
6. Ward S.E, Ostle N.J, McNamara N.P, Bardgett R.D. Litter evenness influences short-term peatland decomposition processes // Oecologia. - 2010. - Oct;164(2). - P. 511–520.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ В БОЛОТАХ ГОРНОГО АЛТАЯ**BIOCHEMICAL PROCESSES AND GAS REGIME IN THE BOGS OF THE MOUNTAIN ALTAI***М.А. Сергеева¹, Л.И. Инишева¹, Г.В. Ларина²**М.А. Sergeeva¹, L.I. Inisheva¹, G.V. Larina²*¹Томский государственный педагогический университет, Россия¹ Tomsk State Pedagogical University, Russia² Горно-Алтайский государственный университет, Россия² Gorno-Altai State University, Russia

E-mails: agroecol@yandex.ru, gal29977787@yandex.ru

Болота Горного Алтая развиваются преимущественно в долинах рек и имеют современное происхождение. В настоящее время процесс болотообразования происходит путем зарастания стариц и долинных озер, а также заболачивания суши, лесов и лугов. Абсолютное большинство болотных массивов Горного Алтая относится к типу низинных болот, характеризующихся грунтовым питанием.

С целью детального обследования болот были проведены экспедиционные работы, отобраны образцы для определения их возраста, физико-химических и биохимических свойств торфов по стратиграфии торфяных залежей. На основании полученных результатов был выбран и организован болотный стационар. В данной работе приводятся результаты исследований динамики биохимических процессов и газового состава торфяных залежей пунктов исследования на стационаре Турочакского района: Турочак (52°13'с.ш. и 87°06'в.д.) и Кутюшское (52°18'с.ш. и 87°15'в.д.) на примере 2013 года.

Объекты и методы исследования. Турочакское болото можно отнести к присклоновым. Оно формируется в основном за счет резкого замедления скорости поверхностного и внутрипочвенного стока при изменении угла наклона поверхности от крутых склонов к слабоклонной присклоновой части, которая и является генетическим центром этого болота. Растительность характеризуется древесно-осоковым фитоценозом. Возраст болота - 7060±90 лет. Торфяная залежь на глубине 450 – 325 см сложена осоковым торфом, слой 325-150 см – травяным и далее до поверхности древесно-травяным торфом со степенью разложения 40–60 % и зольностью 21–30 %.

Торфяное мезотрофное болото Кутюшское имеет смешанное атмосферно-грунтовое питание, характеризуется как переходное и относится к долинному типу. На глубине 175-125 см залегает шейхцериевый и пушицево-шейхцериевый переходный торф со степенью разложения 35 % и зольностью 7,6 %, выше располагается слой

магелланикум торфа со степенью разложения 10 % и зольностью 4,6–6,1 %. Реакция среды 4,1–3,4.

В период с мая по сентябрь проводились наблюдения за уровнем болотных вод (УБВ) и температурой стационарно заложенными в торфяную залежь датчиками. В этом же пункте были заложены штанги для определения газового режима «реперс»-методом (Steinmann, Shotyк, 1996). Эмиссию CO₂ и CH₄ измеряли камерно-статическим методом, анализ газового состава проводился на газовом хроматографе «Кристалл-5000.2». Датирование торфяных залежей выполнено на радиоуглеродной установке QUANTULUS-1220 в институте геологии и минералогии СО РАН. Биомассу микроорганизмов определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии в шестикратной повторности. Препараты просматривали на люминесцентном микроскопе МИКМЕД-2 (Методы почвенной..., 1991). Все лабораторные исследования проводились в Испытательной лаборатории (№ РОСС RU.0001.516054). Статистическая обработка результатов анализа осуществлялась в пакете Microsoft Office Excel.

Результаты. В 2013 году вегетационный период можно охарактеризовать как умеренно теплый и засушливый (ГТК-1,07). Весной уровень болотных вод (УБВ) на Кутюшском болоте был выше на 10 см по сравнению с низинным Турочакским (УБВ соответственно 15 и 25 см ниже поверхности). К июлю УБВ на Турочакском болоте понизился до 47 см и на Кутюшском – до 32 см от поверхности. К августу произошло их повышение на 30 см с последующим снижением на 5-10 см.

Микробные комплексы исследуемых торфяных залежей различались по запасам микроорганизмов и по характеру распределения микробной биомассы. Бактерии, актиномицетный мицелий и споры грибов были обнаружены по всему профилю, как мезотрофного, так и эвтрофного болота. Торфяная залежь (ТЗ) болота Турочак отличалась большей плотностью бактериальных популяций, по сравнению с ТЗ мезотрофного болота

Таблица. Динамика микробной биомассы в болотах Горного Алтая

Глубина, см	Бактерии, млрд/г	Мицелий		Споры грибов, млн/г
		актиномицетный, м/г	грибной, м/г	
Турочак				
май				
0-25	33,4 ± 5,3	294,6 ± 20,2	44,1 ± 9,2	44,2 ± 8,4
25-50	35,6 ± 7,4	251,3 ± 10,6	36,2 ± 6,7	40,1 ± 4,2
150-175	28,4 ± 10,8	198,6 ± 14,2	9,3 ± 3,8	36,9 ± 9,1
200-225	20,1 ± 7,2	170,1 ± 11,8	0	30,5 ± 4,8
июль				
0-25	40,1 ± 2,7	309,5 ± 26,8	66,8 ± 6,9	39,5 ± 9,4
25-50	38,6 ± 3,5	265,4 ± 15,6	26,1 ± 3,1	35,2 ± 6,2
150-175	33,0 ± 4,2	206,3 ± 10,4	0	26,7 ± 0,7
200-225	24,1 ± 3,0	189,2 ± 10,3	0	25,3 ± 1,2
сентябрь				
0-25	34,5 ± 10,8	234,1 ± 11,0	55,2 ± 10,8	30,6 ± 5,8
25-50	34,0 ± 1,9	209,5 ± 16,7	43,8 ± 0,7	28,3 ± 3,2
150-175	30,5 ± 5,1	146,8 ± 6,5	2,7 ± 0,3	20,6 ± 1,0
200-225	22,6 ± 2,8	130,5 ± 10,3	0	17,4 ± 5,4
Кутюшское				
май				
0-25	23,1 ± 2,1	158,6 ± 14,2	9,8 ± 0,8	36,8 ± 9,4
25-50	20,4 ± 3,4	143,2 ± 10,9	5,7 ± 1,2	40,9 ± 10,1
75-100	13,8 ± 2,9	86,9 ± 3,6	4,1 ± 0,6	26,7 ± 4,8
150-175	5,9 ± 0,7	30,4 ± 2,8	0	15,0 ± 0,3
июль				
0-25	29,5 ± 3,8	164,1 ± 11,0	11,3 ± 2,1	44,6 ± 10,0
25-50	24,3 ± 6,5	170,3 ± 12,9	6,4 ± 0,9	40,3 ± 2,8
75-100	15,7 ± 2,0	77,6 ± 5,3	0	21,9 ± 3,4
150-175	11,0 ± 3,1	19,8 ± 8,1	0	14,3 ± 1,6
сентябрь				
0-25	23,6 ± 6,8	133,9 ± 9,7	7,9 ± 1,9	38,6 ± 6,8
25-50	21,7 ± 2,1	156,8 ± 6,3	5,1 ± 0,3	37,5 ± 2,1
75-100	12,8 ± 2,9	48,2 ± 3,7	0	11,0 ± 2,8
150-175	8,3 ± 0,7	21,9 ± 4,2	0	6,9 ± 0,8

Кутюшское (табл.). Наиболее высокая биомасса микроорганизмов (бактерии, мицелий, споры грибов) фиксировалась в деятельных горизонтах исследуемых торфяных залежей.

Сравнение торфяных залежей эвтрофного и мезотрофного типа показало, что длина грибного мицелия в эвтрофных торфяных залежах была в среднем в 5 раз больше, чем в мезотрофных, количество спор грибов была примерно одинаковым.

Так в ТЗ Турочак количество спор в залежи изменялось от 17,4 до 44,2 млн. спор/г с.т., в ТЗ мезотрофного болота Кутюшское от 6,9 до 44,6 млн. спор/г с.т.

Сезонная динамика показателей обилия микроорганизмов была выявлена по всей глубине ТЗ. В верхних горизонтах показатели обилия могли различаться по сезонам на порядок, в нижних – не более чем в 2-3 раза. Варьирование

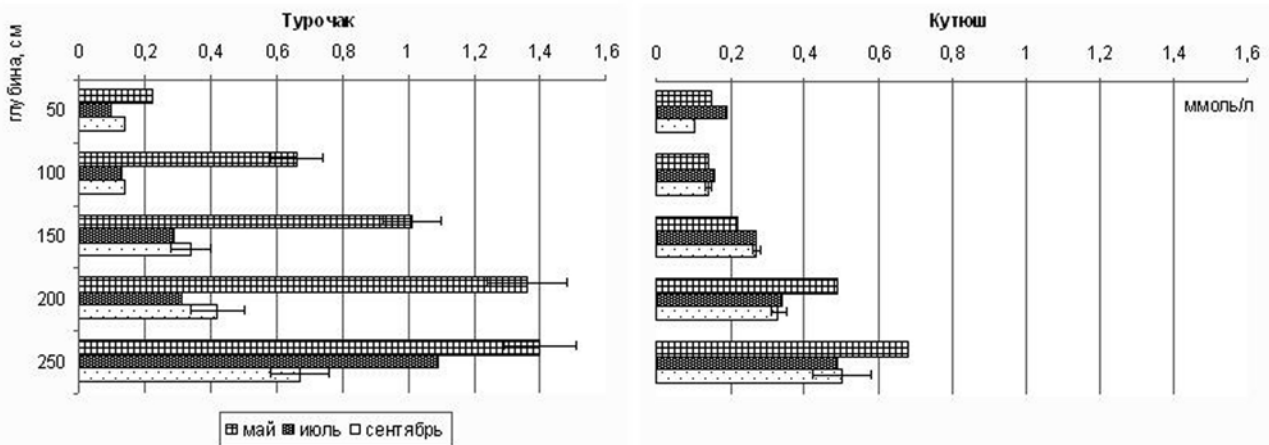


Рис. 1. Изменение концентрации диоксида углерода в торфяных залежах болот Горного Алтая

показателей микробного обилия в нижних слоях ТЗ свидетельствует о реальном размножении хотя бы части микробного комплекса на глубине.

Анализируя изменение микробной биомассы в ТЗ эвтрофного и мезотрофного типа за вегетационный период 2013 г., можно отметить следующие закономерности: максимальная численность бактерий и актиномицетного мицелия фиксировалась в июле; количество спор грибов от мая к сентябрю уменьшалось на всех глубинах, за исключением верхнего горизонта (0-25 см) мезотрофного болота Кутюшское; наиболее высокая биомасса грибного мицелия отмечалась в июле.

Выше были рассмотрены биохимические условия в торфяных залежах разных типов залежей. И как следует из анализа, эти условия неравнозначны. Какое значение имеют эти условия при формировании газового режима в торфяной залежи?

Общие пределы изменения диоксида углерода в ТЗ изменяются от 0,2 до 1,4 ммоль/л в эвтрофной ТЗ и от 0,2 до 0,64 ммоль/л - в мезотрофной (рис. 1). В отличие от рассмотренной выше микробиологической активности, тренд ее увеличения направлен вниз по ТЗ исследуемых болот. Такая закономерность отмечается для всего вегетационного периода.

Такая же закономерность просматривается и в динамике концентрации метана в ТЗ (рис. 2). Большая активность процесса образования диоксида углерода и метана наблюдается в болоте Турочак. Сравнение с аналогичными по типам торфяных болот юго-восточной части Западно-Сибирской низменности (Инишева и др., 2012а; 2012б) показывает значительно большую активность микробнобиохимических процессов, результатом которых является выделение диоксида углерода и метана в горноалтайских болотах. Отмеченная закономерность относится и к динамике газового режима. Так, если динамика газового режима в ТЗ юго-восточной части Западно-Сибирской низменности характеризуется увеличением концентрации газов в середине торфяной залежи (горбатый профиль), иногда - разнонаправленной динамикой (увеличение-уменьшение) в верхней и нижней частях ТЗ, то в горноалтайских болотах эвтрофного и мезотрофного типов она имеет вид плавной кривой, увеличивающейся к низу ТЗ.

Известно (Смагин, 2005), что оценка газовой функции может быть существенно занижена, поскольку часть газа аккумулируется в торфяной залежи, перераспределяясь в ней не только в

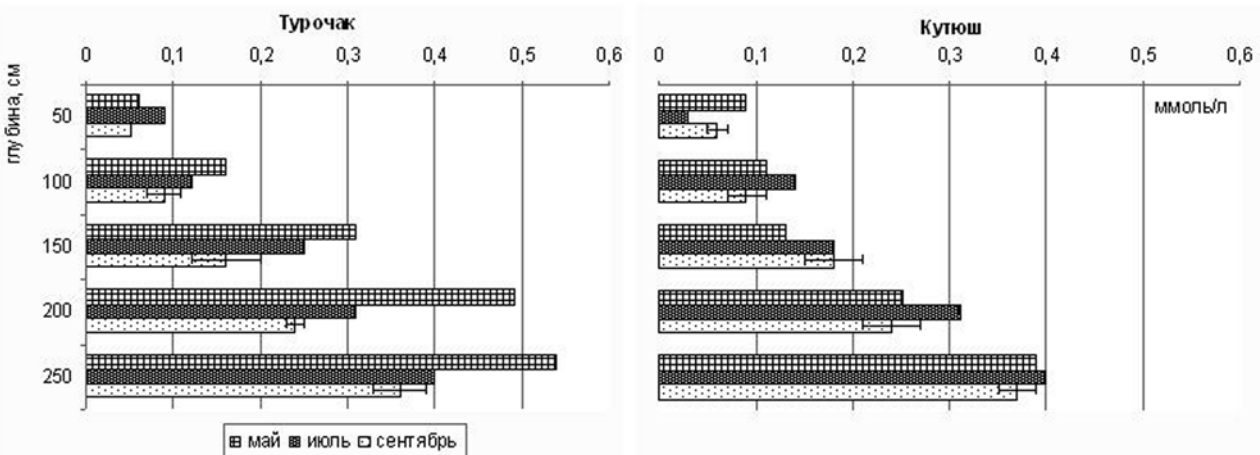


Рис. 2. Изменение концентрации метана в торфяных залежах болот Горного Алтая

газовой фазе, но и в адсорбированном состоянии. Возможно, это подтверждается нашими исследованиями и зависимость между газовым режимом и эмиссией - отрицательная. Обращает также на себя внимание тот факт, что газовый режим в ТЗ и мезотрофных и эвтрофных болот Горного Алтая характеризуется особой динамикой, в отличие от ранее наблюдаемого газового режима болот в Западно-Сибирской низменности. Горноалтайские болота насыщаются к нижней части торфяной залежи метаном и диоксидом

углерода, но их выделение происходит в меньших концентрациях, чем это отмечается на болотах низменности.

Таким образом, предварительный анализ полученных результатов показал особенности биохимического состава горноалтайских болот и степень их участия в формировании газового режима болот. Показано, что образовавшийся газ в большей степени скапливается в нижней части ТЗ, т. к. эмиссия этих газов невелика.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 174)
и Гранта РФФИ (№ 14-17-00038).*

1. Инишева Л.И., Голубина О.А., Сергеева М.А., Порохина Е.В., Смирнов О.Н. Биохимическая активность и газовый режим эвтрофного торфяного болота. Материалы научной конференции, посвященной 90-летию д.с.х.н. проф. П.С. Бугакова. - КрасГАУ. Красноярск, 2012а. - С. 70–77.
2. Инишева Л.И., Сергеева М.А. Смирнов О.Н. Депонирование и эмиссия углерода лесными болотами Западной Сибири // Болотные экосистемы. Фундаментальные аспекты охраны и рационального природопользования: Сборник статей. - Йошкар-Ола, 2012б. - С. 161–164.
3. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Звягинцева Д. Г. - М.: Изд-во МГУ, 1991. - 303 с.
4. Смагин А.В. Газовая фаза почв. - М.: МГУ, 2005. - 304 с.
5. Steinmann Ph., Shotyk W. Sampling anoxic pore water in peatlands using "peepers" for in situ-filtration // Fresenius J. Anal. Chem. - 1996. - P. 709-713.

ГОДОВЫЕ ПОТОКИ МЕТАНА НА ПЕРЕХОДНОМ БОЛОТЕ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ANNUAL METHANE FLUXES IN BOREAL MINEROGENOUS BOG (KOMI REPUBLIC) BASED ON EXPERIMENTAL DATA

М.Д. Сивков, Е.Н. Патова
M.D. Sivkov, E.N. Patova

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
Institute of Biology, Komi Research Center UB RAS, Syktyvkar, Russia
E-mail: sivkov@ib.komisc.ru

В связи с проблемой климатических изменений актуальной задачей является оценка выделения парниковых газов различными природными ландшафтами. Метан является вторым по значимости парниковым газом после диоксида углерода. Одним из основных источников метана в северных экосистемах являются переувлажненные заболоченные комплексы, где в анаэробных условиях разложение органических веществ приводит к преимущественному образованию метана. Если в типичных болотных ландшафтах Западной Сибири годовые потоки метана относительно хорошо изучены, то на севере европейской части такие сведения единичны (Глаголев, 2010). Для средней тайги европейского северо-востока получены сведения о потоках метана за ряд вегетационных периодов для олиго-мезотрофного болота (Schneider et al., 2014; Мигловец и др., 2014). Экспериментальные данные по годовым потокам метана для переходных болот, широко распространенных в поймах рек и озер этой зоны, отсутствуют. Это обуславливает необходимость проведения подробных исследований для оценки вклада CH_4 в баланс углерода болотных комплексов европейского Севера.

Цель работы - проведение круглогодичных мониторинговых измерений потоков метана на переходном болоте (озерной сплаvine) в зоне средней тайги для выявления соотношения эмиссий этого газа в снежный и бесснежный периоды.

Материал и методы

Измерения потоков метана проводили на участке переходного болота (озерной сплаvины) с минеротрофным питанием, формирующегося в прибрежной полосе старичного озера длиной около 1 км и шириной до 90 м (61°33'25.0" с.ш., 50°46'28" в.д.). Водный режим озера связан с гидрологическим режимом реки. Озеро постепенно зарастает, превращаясь в болото. В озерной котловине береговую зону занимают островки переходного болота шириной 5 - 50 м. Растительный покров озерной сплаvины сформирован сфагновыми мхами рода *Sphagnum*, а также сосудистыми растениями: *Carex vesicaria*, *C. aquatilis*, *Menyanthes trifoliata*, *Comarum palustre*, *Equisetum fluviatile*, *Rubus chamaemorus*, *Oxycoccus*

quadripetalus, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia* и др. Измерения метана проведены на 4 мониторинговых микроплощадках размером 40x40 см², имеющих отличия по структуре растительности и локализации относительно уреза воды, методом закрытых камер (Crill, 1991, Oechel, Vourlitis, 1994). Круглогодичные систематические измерения эмиссии метана в микроландшафтах прибрежной заболоченной полосы выполнены в 2012-2013 гг. (с момента схода снега 30 апреля 2012 г.). На микроучастке №2 круглогодичные измерения проводили в течение 3 лет. Снежный период 2012-2013 гг. составил 185 суток. Пробы воздуха отбирали 4 раза в течение 20-30 мин. в трехкомпонентные шприцы и анализировали на содержание метана в лабораторных условиях на газовом хроматографе спустя 3-12 ч. Летом периодически выполняли суточные измерения в 6:00, 13:00 и 20:00 ч. Зимой измерения выполняли в периоды оттепелей, снег убирали заблаговременно, измерения начинали не ранее 4 часов после уборки снега. В сезонных вычислениях удельного потока (УП) метана принимали в расчет средние показатели за сутки. Проведены измерения температуры воздуха и торфа на глубинах 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60 см, а также уровня болотных вод (УБВ). Скорость эмиссии рассчитывали по уравнению линейной регрессии, коэффициенты детерминации были не ниже 0.99. Сезонные удельные потоки метана вычисляли аппроксимируя динамические кривые удельных потоков метана в вегетационные и зимние сезоны полиномиальными функциями различных степеней в программе Statistica 6.0. В качестве исходных данных использовали 14-30 измерений за бесснежные сезоны и 4-6 измерений в снежные периоды года для каждого микроучастка.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений удельных потоков метана на экспериментальных микроучастках за годичный период 2012-2013 гг. приведены в таблице 1.

Следует отметить, что 2012 г. отличался дождливым летом, это поддерживало высокий УБВ на участке, и был благоприятным для развития сосудистых растений на исследованном болоте. Максимальный УП метана 39,4 г CH_4 м⁻² (табл. 1)

Таблица 1. Максимальные удельные потоки (УП_{макс}) метана на микроучастках ($\text{г CH}_4 \text{ м}^{-2} \text{ час}^{-1}$), удельные потоки метана за бесснежный (УП_{бп}) и снежный периоды (УП_{сп}) ($\text{г CH}_4 \text{ м}^{-2}$), соотношение эмиссии в снежный период к годовой УП_{сп}/(УП_{сп}+УП_{бп}) (%), $\Delta\text{УБВ}$ – максимальное снижение УБВ в сезонной динамике (см)

Номер микроучастка	УП _{макс}	УП _{бп}	УП _{сп}	УП _{сп} /(УП _{сп} +УП _{бп})	$\Delta\text{УБВ}$
№1	3.36	6.4	1.1	15,5	12,9
№2	12.01	23.6	5.6	19,3	13,4
№3	10.90	27.4	6.5	19,1	14,4
№4	13.19	39.4	10.0	20,3	4,6

за бесснежный период наблюдали на периферии болотного комплекса (на микроучастке №4, расположенном близко к кромке воды озера, с доминированием крупных осок и хвоща), зимняя эмиссия метана здесь также была максимальной. Близость озерной воды, высокий УБВ, развитая биомасса сосудистых растений создают здесь благоприятный режим для круглогодичного метаногенеза. На микроучастках относительно удаленных от уреза воды при прочих равных показателях среды наблюдали существенно более высокие уровни УП метана на участках №2 и №3 (из растительности хорошо развиты осоки и клюква) относительно участка №1 (с доминированием сфагнома и единичными побегами осоки). По результатам, представленным в таблице, видно, что зимняя эмиссия метана положительно коррелирует с эмиссией в вегетационном периоде и составляет до 20.3% от годового удельного потока, что является достаточно высоким показателем.

Результаты круглогодичных измерений удельного потока метана на микроучастке №2 в течение 2011-2014 гг. приведены в таблице 2.

В межгодовом временном масштабе зимние потоки также хорошо согласуются с потоками в вегетационном сезоне. Доля эмиссий в снежные периоды в разные годы составляла от 8.8 до 19.3% от годового потока (табл. 2). Невысокий УБВ - основная причина низкого уровня эмиссии метана (14.4 г м^{-2}) в бесснежный период 2011 г. В снежном сезоне этого года также наблюдали самое низкое значение УП метана – 1.4 г м^{-2} . В последующие годы наблюдали существенно

большую эмиссию метана, чему способствовал высокий УБВ, в том числе, благоприятно сказавшемся на развитии биомассы осок (*Carex vesicaria*) на микроучастке. Максимальную эмиссию метана наблюдали в 2013 г., с наиболее теплым летом (относительно 2012 г.). В эти же годы наблюдали и существенно более высокие УП метана в зимних сезонах. Dan Zhu с коллегами (2011) по результатам годичных измерений в болотах Цинхай-Тибетского нагорья предполагают, что зимняя эмиссия является «инерцией» летней эмиссии. Наши результаты, в принципе, подтверждают это утверждение.

В годы с высоким УБВ сезонная динамика УП метана лучше всего описывалась экспоненциальной зависимостью от температуры торфа на глубине 30 см от поверхности болота ($R^2=0.96$ и 0.88 в 2012 и 2013 гг.). Результаты измерений в засушливом 2011 г. ухудшают коэффициент детерминации нелинейной регрессии до 0.70 – сказывается явное влияние УБВ, хотя 70% объяснение межгодовых вариаций удельных потоков метана температурными изменениями это совсем неплохо. Известно, что интенсивный метаногенез в болотных комплексах протекает, начиная с глубины около 18-28 см под уровнем болотных вод (Глаголев, 2008). Соответственно можно утверждать, что как и в других регионах, максимальная метаногенная активность на экспериментальном участке происходит примерно на глубине 30 см от поверхности.

Численные значения УП метана укладываются в диапазон показателей, полученных рядом исследователей, занимавшихся измерениями

Таблица 2. Сравнительные удельные потоки метана за бесснежный (УП_{бп}) и снежный периоды (УП_{сп}) ($\text{г CH}_4 \text{ м}^{-2}$ за сезон), $\Delta\text{УБВ}$ – максимальное снижение УБВ за сезон (см), средние температуры ($T, ^\circ\text{C}$) и осадки (мм) в летних (июнь-август) периодах, доля зимней эмиссии метана от годового удельного потока (%)

Годы	Осадки	T	$\Delta\text{УБВ}$	УП _{бп}	УП _{сп}	УП _{сп} / (УП _{сп} + УП _{бп})
2011-2012	123	16.3	23,3	14.4	1.4	8.8
2012-2013	340	15.9	13,4	23.6	5.8	19.3
2013-2014	102	17.6	16,1	30.5	6.4	17.3

сезонных и годовых потоков метана в других географических зонах. Н. Nykanen с соавторами (1998) приводят средние выделения метана с мая по сентябрь $8.0 \text{ г CH}_4 \text{ м}^{-2}$ для олиготрофных болот и $-19.0 \text{ г CH}_4 \text{ м}^{-2}$ для минеротрофных болот Финляндии. J. Alm с соавторами (1999) показали, что доля зимней эмиссии составляет 22% от годовой для болот восточной Финляндии, находящихся примерно на широте наших исследований. Полученные нами рекогносцировочные результаты практически совпадают с этими

данными, учитывая 10–20% ошибку экологических измерений и более продолжительные бесснежные периоды в наших исследованиях.

В приозерных сплавинах Западной Сибири УП метана находятся в диапазоне 2.74/4.65/6.11 $\text{мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (1-е/2-е/3-и квартили) (Methane emissions..., 2010). Выявленные максимальные значения УП метана на исследованном нами участке приозерной сплавины несколько превышают эти показатели 3.36 - 13.19 $\text{мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ (табл.1).

Исследования проведены при частичной поддержке проекта Президиума РАН № 12-4-7-004-АРКТИКА.

1. Глаголев М.В. Аннотированный список литературных источников по результатам измерений потоков CH_4 и CO_2 из болот России // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2010. - Т. 1, № 2. - С. 1–53.
2. Глаголев М.В. Эмиссия метана: идеология и методология «стандартной модели» для Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: Сборник научных трудов кафедры ЮНЕСКО Югорского государственного университета. Вып. 1. - Новосибирск: НГУ, 2008. - С. 176–190.
3. Мигловец М.Н., Загирова С.В., Михайлов О.А. Эмиссия метана в растительных сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги // Теоретическая и прикладная экология. - 2014. - № 1. - С. 93–98.
4. Alm J., Saarnio S., Nykanen H., Silvola J., Martikainen P.J. Winter CO_2 , CH_4 and N_2O fluxes on some natural and drained boreal peatlands // Biogeochemistry. - 1999. - 44. - P. 163–186.
5. Crill, P. M. Seasonal patterns of methane uptake and carbon dioxide release by a temperate woodland soil // Global Biogeochem. Cycles. - 1991. - 5(4). - P. 319–334.
6. Nykanen, H., Alm J., Silvola J., Tolonen K., and Martikainen P. J. Methane fluxes on boreal peatlands of different fertility and the effect of long-term experimental lowering of the water table on flux rates // Global Biogeochem. Cycles. - 1998. - 12(1). - P. 53–69.
7. Oechel W.C., Vourlitis G. L. The effects of climate change on Arctic tundra ecosystems // Trends Ecol. and Evol. - 1994. - Vol. 9. - P. 324–329.
8. Zhu, D., Chen, H.A., Wu, N., Wang, Y.F., Luo, P. Winter Methane Emission from an Alpine Open Fen on Tibetan Plateau // Pol. J. Ecol. - 2011. - Vol. 59. N1. - P. 87–94.
9. Methane emissions from the West Siberian wetlands. Maksyutov S., Glagolev M., Kleptsova I., Sabrekov A., Peregona A., Machida T. // American Geophysical Union, Fall Meeting, 2010, abstract №GC41D-02. URL: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2010AGUFMGC41D.02M>.

БОЛОТА, УГЛЕРОД, КЛИМАТ: ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ PEATLANDS, CARBON, CLIMATE: PROBLEMS AND RESEARCH OBJECTIVES

A.A. Сурин

A.A. Sirin

Институт лесоведения РАН, Москва, Россия
Institute of Forest Science, Moscow, Russia
E-mail: sirin@ilan.ras.ru

Болота – один из важнейших резервуаров углерода на планете. Покрывая только 3% территории суши, их торфяные залежи содержат столько же углерода как вся биомасса суши, в два раза больше, чем все леса и порядка $\frac{3}{4}$ углерода атмосферы. Во всех природных зонах в болотах находится существенно больше органического углерода, чем в соседствующих экосистемах на минеральных почвах. Болота – лидер долговременного связывания углерода на суше. Они накапливают и сохраняют запас углерода в течение тысячелетий и играют важную роль в поддержании газового состава атмосферы (Assessment...2008; Peatlands ... 2008).

Торфяные болота занимают более 8% территории России, и основные запасы углерода торфа сосредоточены в регионах с мощными залежами, среди которых лидирует Западная Сибирь (Вомперский и др., 1994). Однако не меньшее значение имеют мелкоотторфованные (торф <0,3 м) земли, благодаря которым общая заболоченность страны превышает 20% (Вомперский и др. 1994). В лесной зоне именно они демонстрируют максимальные скорости долговременного накопления углерода как по сравнению с болотами, так и минеральными почвами (Минаева и др. 2008). При этом, многие болота и мелкоотторфованные местообитания не распознаются как особые объекты: их классифицируют как тундру, луга и другие типы экосистем, а специфика наличия торфа не учитывается.

Реакция болот на изменение климата комплексна и неоднозначна (Минаева, Сурин, 2011). Прослеживаются общие закономерности торфо-накопления в масштабе прошлых тысячелетий (Климанов, Сурин 1997). Однако крайне трудно выявить реакцию болот на текущие изменения климата (Болотные ... 2012), особенно с учетом различий торфяных болот. Для торфяных болот характерны высокое природное разнообразие (Вомперский и др. 2005), различная облесенность (Вомперский и др. 2011) и многоуровневая пространственная неоднородность, что определяет специфику круговорота углерода, потоков парниковых газов и, не в последнюю очередь, реакцию на изменение климата (Минаева, Сурин, 2011). В масштабах планеты и на национальном уровне отмечены типы болот, наиболее уязвимые к происходящим климатическим изменениям

(Экосистемы ... 2004; Assessment... 2008). Это болота на мерзлоте, в степных и лесостепных районах, в горах, и особенно там, где антропогенное воздействие снижает устойчивость торфяных болот к изменению климата, к связанным с ним экстремальным явлениям, например, торфяным пожарам (Сурин и др. 2011).

Торфяные болота разнонаправленно влияют на глобальный баланс двух основных углеродсодержащих парниковых газов (ПГ) – диоксида углерода (CO_2) и метана (CH_4) – и играют комплексную роль в отношении климата. В естественном состоянии болота изымают CO_2 из атмосферы посредством накопления в торфе и одновременно выделяют метан. В долговременном плане отрицательные последствия выделения метана ниже, чем позитивные следствия изъятия CO_2 , однако при рассмотрении относительно кратковременных антропогенных воздействий решающим фактором может стать в 25 раз более сильный потенциал глобального потепления метана (Assessment... 2008; Peatlands...2008).

Много болот, особенно в Европейской части страны, было изменено под воздействием человека (Aquick... 2009). При антропогенных нарушениях болота могут становиться значительным источником диоксида углерода, не теряя одновременно способности выделять метан. Он активно поступает из дренажных каналов (Сурин и др., 2012), где формируется благоприятная среда для метаногенеза (Кизилова и др., 2011), а при благоприятных условиях может выделяться и с поверхности осушенных торфяных почв (Суворов и др., 2010). Деградация болот являются значительным и растущим антропогенным источником ПГ. Эмиссия диоксида углерода в результате осушения болот, их использования и пожаров является одним из значимых антропогенных источников парниковых газов, требующих особого учета (IPCC 2014). К сожалению, на фоне растущего числа исследований потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотах, в т.ч. в Западной Сибири (Глаголев и др. 2010), крайне мало работ, посвященных антропогенно нарушенным торфяникам (Чистотин и др., 2006; Глаголев и др., 2008).

Охрана, восстановление и разумное использование болот является необходимым и экономически эффективным путем

долговременного ослабления потепления климата. Рекультивация неиспользуемых осушенных торфяников путем обводнения и искусственного заболачивания является приоритетной мерой, направленной против эмиссии CO₂ в результате деструкции торфа и торфяных пожаров, эффективным путем сохранения запаса

углерода в болотах и возобновления его накопления. С другой стороны, экономическая выгода от снижения выбросов парниковых газов при восстановлении болот могут стать дополнительной поддержкой этих мероприятий (Tanneberger, Wichtmann, 2011).

Автор признателен за поддержку проекту «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K Восстановление торфяных болот), Программе Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и проекту РФФИ № 12-05-01029-а.

1. Болотные экосистемы. Глава 6. Природные экосистемы суши. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под ред. С.М. Семенова. - Москва: Росгидромет, 2012. - С. 217-225. http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/06.pdf
2. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. - 1994. - № 12. - С. 17–25.
3. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П. и др. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Изв. РАН. Сер.геогр. - 2005. - № 5. - С. 21–33.
4. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А. и др. Облесенность болот и заболоченных земель России // Лесоведение. - 2011. - № 5. - С. 3–11.
5. Глаголев М.В., Сирин А.А., Лапшина Е.Д., Филиппов И.В. Изучение потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотных экосистемах Западной Сибири // Вестник ТГПУ. - 2010. - Вып. 3 (93). - С. 120–127.
6. Глаголев М.В., Чистотин М.В., Шнырев Н.А., Сирин А.А. Летне-осенняя эмиссия диоксида углерода и метана осушенными торфяниками, измененными при хозяйственном использовании, и естественными болотами (на примере участка Томской области) // Агрехимия. - 2008. - №5. С. 56–68.
7. Кизилова А.К., А.А. Сирин, Кравченко И.К. Микроорганизмы цикла метана в естественных торфяных почвах и гидрологических элементах осушенных торфяников // Изв. Самарского научн. центра Российской академии наук. - 2011. - Т.13. №1(5). - С. 1204-07.
8. Климанов В.А., Сирин А.А. Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3 000 лет // Докл. РАН. - 1997. - Т.354. №5. - С.683.
9. Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Биологическое разнообразие болот и изменение климата // Успехи современной биологии. - 2011. - Т.131. №4. - С. 393–406.
10. Минаева Т.Ю., Трофимов С.Я., Чичагова О.А. и др. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем южного Валдая в голоцене // Известия РАН. Сер.биол. - 2008. - Т. 35. № 5. - С. 607–616.
11. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? Наука в России. - 2011. - №2. - С.13-21
12. Сирин А.А., Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Глаголев М.В. О значениях эмиссии метана из осушительных каналов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2012. - Т. 3. № 2(6). с. EDCCgr0005.
13. Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. Влияние растительности и режима увлажнения на эмиссию метана из осушенной торфяной почвы // Агрехимия. - 2010. - № 12. - С. 40-49.
14. Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрехимия. - 2006. - № 6. - С. 54–62.
15. Экосистемы болот. В кн.: Состояние биоразнообразия природных экосистем России / Под ред. В.А. Орлова, А.А. Тишкова. - М.: НИА-Природа, 2004. - С. 103. <http://www.biodat.ru/doc/biodiv/>
16. A quick scan of peatlands in Central and Eastern Europe / Minayeva, T., Sirin, A., Bragg, O.(eds.). - Wageningen, The Netherlands: Wetlands International, 2009. - 132 p. (<http://www.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=Az8K7KVj%2bkh%3d&tabid=56>).
17. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change. Main report / Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (eds.). - Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. - 179 p. (<http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63>).
18. IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). - Published: IPCC, Switzerland.
19. Peatlands and Climate Change / Strack M. (ed). - Finland: International Peat Society, Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, 2008. - 223p.
20. Tanneberger F., Wichtmann W. (Eds.). Carbon credits from peatland rewetting – climate-biodiversity-land use. - Stuttgart:Schweizerbart Science Publishers, 2011. - 223 p.

ПОТЕРИ УГЛЕРОДА ПРИ ОСУШЕНИИ И ХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

CARBON LOSSES FROM FOREST-MIRE ECOSYSTEMS AFTER DRAINAGE AND USE

Г.Г. Суворов^{1*}, М.В. Чистотин^{1,2}, А.А. Сирин¹

G.G. Suvorov^{1*}, M.V. Chistotin^{1,2}, A.A. Sirin¹

¹ Институт лесоведения РАН, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова

*E-mail: suvorovg@ilan.ras.ru

Торфяные болота – один из ключевых резервуаров углерода суши, а их осушение и дальнейшее хозяйственное использование является наиболее сильным антропогенным фактором, влияющим на углеродный баланс этих экосистем (Assessment..., 2008). Большая часть торфяных болот страны расположена в лесной зоне, и многие из них в той или иной степени покрыты древесной растительностью (Вомперский и др. 2011), являясь, по сути, лесоболотными экосистемами. Осушение болот в наибольшей степени происходило в европейской части страны, однако имело место также на юге Западной Сибири и в других регионах. К концу XX века в России добычей торфа было затронуто до 1,5 млн. га, а площадь используемых для сельского хозяйства осушенных земель достигала 5 млн. га (QuickScan..., 2009). При этом из-за существовавшей установки на расширение сельскохозяйственных земель именно это направление, при наличии нормативно закрепленных других, доминировало при рекультивации торфяных месторождений после завершения их разработки. Частично выработанные торфяники переводились в категорию сельскохозяйственных земель и использовались как сенокосы и пастбища – наиболее приемлемый с хозяйственной и экологической точек зрения вариант, а также под пашню. С начала 90-х годов прошлого века многие частичные выработанные поля фрезерной добычи торфа были заброшены, перестала использоваться значительная часть сельскохозяйственных земель с торфяными почвами. Это наиболее пожароопасные территории, которые требуют возвращения в хозяйственный оборот, либо, при отсутствии экономического интереса к ним, – обводнения и искусственного заболачивания (Сирин и др. 2011).

Учет потерь углерода (С) при добыче торфа и сельскохозяйственном использовании важен для оценки последствий осушения торфяных болот и для анализа эффективности мероприятий по их обводнению с целью снижения эмиссии CO₂ и смягчения изменения климата. Целью работы было оценить потери С из исходных резервуаров для сценариев: а) добычи торфа на осушенном торфянике с последующим прекращением хозяйственного использования, б) залужения и сенокосного использования после

добычи торфа. Были оценены 1) исходный запас углерода в биомассе, после осушения практически полностью переходящий в атмосферу; 2) экспорт С с добываемым торфом, большая часть которого в течение нескольких лет также подвергается минерализации; 3) потери С из сохранившейся торфяной залежи, которые обусловлены усилением минерализации и прекращением поступления опада. Объектом исследования служил относительно репрезентативный участок в Московской области, занимающей одно из лидирующих мест в стране по площади такого рода торфяников.

Исследование проводилось на частично осушенном Дубненском болотном массиве (Московская область, Талдомский район, 56°42' с.ш. 37°50' в.д.). Потери Соценивались для двух объектов: первый после прекращения торфодобычи и посева многолетних трав использовался как сенокос в течение 20 лет; второй – участок торфодобычи, на котором до 2006 г. велась активная добыча торфа (Чистотин и др., 2006). Для оценки исходных запасов С служил участок болотного массива, не затронутого осушением. Расстояние между точками измерений, размещенных на этих участках, – 150–300 м.

На трех участках для торфяной залежи по горизонтам были определены степень разложения, объемная масса, зольность, содержание углерода, ботанический состав и рН. На участке торфодобычи радиоуглеродным методом был определен возраст торфа.

Для неосушенного участка надземная биомасса древесного яруса определялась методом пробных площадей (25 м²), травяно-кустарничкового яруса – методом укосных квадратов (1 м²), мохового яруса (включая очес) – методом отбора цилиндрических монолитов (∅ 20 см, Н 20 см). Измерение биомассы проводилось в трехкратной повторности. Надземная биомасса на участке сенокоса определялась на четырех площадках по 1 м², а подземная – в одном монолите торфяной почвы 30×30×30 см. Содержание С определялось на элементном анализаторе Vario MicroCube (Elementar, Германия).

Измерения потоков CO₂ и CH₄ проводились методом статических камер. Концентрации газов в пробах определялись на газовом

хроматографе «Кристалл 2000М» (Россия) с пламенно-ионизационным детектором. Круглогодичные наблюдения за потоками CO_2 и CH_4 (включая дренажные каналы) проводились с 2005 по 2013 год с разной периодичностью. Интегральные годовые потоки рассчитывались методом линейной интерполяции.

До осушения исследуемые участки принадлежали одному ландшафтному элементу, что было подтверждено при сравнении стратиграфии торфяной залежи, включая такие характеристики, как относительная высота подошвы, объемная масса торфа, ботанический состав, содержание С, зольность, pH_{KCl} . Полученные данные подтвердили предположение о структурном единстве торфяной залежи для всех трех изучаемых участков и, соответственно, близости болотных микроландшафтов, существовавших до осушения.

Возраст торфа составил 3752 ± 30 и 8852 ± 60 лет (cal BP) для отметок 150 см и 30 см от подошвы залежи, соответственно. Исходя из запаса углерода в этом слое 72×10^3 г м^{-2} , его среднее накопление составило 14 г С м^{-2} год $^{-1}$, что соответствует значениям долговременного накопления торфа (LORCA) для этой природной зоны (Минаева и др., 2008).

Потери С биомассы при планировании мелиорированной территории были оценены по современной биомассе на неосушенном участке. При допущении, что подземная фитомасса составляет 25% от общей, она равна приблизительно 18 т С га^{-1} .

При расчете потерь С в виде добытого торфа были сделаны следующие допущения: уровень дневной поверхности трех участков был одинаков до осушения и остался неизменным на ненарушенном участке; современные запасы углерода в сохранившейся залежи торфодобычи и сенокоса равны исходным до осушения (не учитываются потери на минерализацию); запасы углерода в сработанных горизонтах нарушенных участков равны современным запасам аналогичных горизонтов ненарушенного участка.

На основании этого заключения были рассчитаны потери углерода, связанные с частичным удалением залежи при добыче торфа. Для разрабатываемого и сенокосного участков они составили соответственно 64×10^3 и 35×10^3 г С м^{-2} (640 и 350 т С га^{-1}), при исходных запасах равных $\sim 150 \times 10^3$ г С м^{-2} (1500 т С га^{-1}). Это соответствует 42 и 23 % исходного запаса С при выработке 115 и 70 см залежи, соответственно. Если принять период добычи торфа равным, соответственно, 20 и 15 лет, то в среднем потери торфа могут составлять 25 - 30 т С га^{-1} год $^{-1}$ как результат средней ежегодной сработки 5-6 см торфяной залежи.

По данным круглогодичных измерений в период с 2005 по 2013 г. эмиссия CO_2 на

повышениях и понижениях микрорельефа межканавий участка торфодобычи составляла примерно 150 и 400 г С м^{-2} год $^{-1}$, соответственно, или в среднем $2,5$ т С га^{-1} год $^{-1}$ (учитывался только бесснежный период). Без учета горизонтального выноса углерода водной и ветровой эрозией это составляет основные текущие потери углерода при данном землепользовании. Как видно, эта величина многократно превышает скорость долговременного накопления углерода естественным торфяным болотом, отмеченную выше.

На сенокосном участке дополнительные потери углерода начались после подготовки почвы для залужения и при последующем сельскохозяйственном использовании. Верхний слой на этом участке представлен переходным торфом с объемной массой в первых 10 см $0,22$ г см^{-3} . Объемная масса соответствующего по стратиграфии слоя на неосушенном болоте равна $0,11$ г см^{-3} . Вероятно, что интенсивная минерализация на сенокосе шла лишь первые годы после залужения и снизилась в последующие.

Для участка сенокоса интегральный поток С- CO_2 , соответствующий дыханию почвы, за 2008 г. составил 882 г С м^{-2} год $^{-1}$. Принимая дыхание гетеротрофов равным 50-80 % от дыхания почвы (Hanson et al., 2000), получаем оценку первой величины в пределах от 440 до 700 г С м^{-2} год $^{-1}$. По данным на 2008 г. наземная биомасса для сенокоса составила 490 , подземная – 1100 г сухого вещества м^2 , что близко к оценкам, полученным при исследованиях с почвенными монолитами данного участка сенокоса (Суворов и др. 2010). Допуская, что оборот биомассы луговой растительности происходит за 2 года, а содержание в ней С – 50%, получаем чистую первичную продуктивность ~ 400 г С м^{-2} ; эта оценка занижена, так как не учитывает прижизненный опад. Результирующая оценка чистой продуктивности экосистемы составляет от -40 до -300 г С м^{-2} (от $-0,4$ до $-3,0$ т С га^{-1}) для 2008 г.

С учетом доли осушительных каналов в площади осушенных участков, равной 3 %, среднее значение эмиссии CO_2 из каналов в пересчете на общую площадь составило за период наблюдений $0,06$ и $0,14$ т С га^{-1} год $^{-1}$ для участка торфодобычи и сенокоса, соответственно. В отдельные годы эмиссия CO_2 из осушительных каналов сенокоса превышала аналогичную величину для участка торфодобычи более чем в 2 раза. Это можно объяснить поступлением в канал на первом участке большего количества листового опада, разложение которого является дополнительным источником CO_2 .

Эмиссия CH_4 на осушенной площади торфодобычи варьировала: на повышениях рельефа от $-0,01$ до $0,01$ мг С \cdot м^{-2} \cdot ч $^{-1}$, а в понижениях от $0,01$ до $0,1$ мг С \cdot м^{-2} \cdot ч $^{-1}$. Эти значения

соответствуют $\pm 0,36$ кг С га⁻¹ год⁻¹ для повышения и $0,36-3,6$ кг С га⁻¹ год⁻¹ для понижения, при условии, что эмиссия идет 150 дней в году. На участке сенокоса эмиссия метана была такого же порядка, что и на понижении торфодобычи. На естественном болоте эмиссия CH₄ была порядка $1,0$ мгС·м⁻² час⁻¹, что составляет порядка 36 кг С га⁻¹ год⁻¹. Поток С-CH₄ из каналов участка торфодобычи и сенокоса составил $\sim 0,03$ т С га⁻¹ осушенной территории в год (Сирин и др. 2012). Таким образом, при осушении и трансформации лесоболотной экосистемы для добычи торфа происходит единовременная (обычно за 1-2 года) потеря запаса углерода фитомассы, определяемого характеристиками

рассматриваемого объекта и составившего в нашем случае 18 т С га⁻¹. В дальнейшем при добыче торфа ежегодно терялось в среднем $25-30$ т С га⁻¹, что на два порядка больше скорости долговременного накопления углерода такими экосистемами до осушения. Современное выделение CO₂ в атмосферу на участке, оставленном после прекращения добычи торфа, составляет $2,5$ т С га⁻¹ год⁻¹. Вклад потока метана с основных поверхностей и из осушительных каналов в баланс С незначителен, тем не менее, его климатический эффект может быть существенным с учетом потенциала глобального потепления, который у метана в 25 раз выше, чем у диоксида углерода.

Авторы признательны за помощь М.В. Глаголеву, А.С. Арутюновой (МГУ им. М.В. Ломоносова), А.П. Кулешову, А.В. Маркиной и Н.П. Шабановой (Институт лесоведения РАН), О.С. Гринченко (Институт водных проблем РАН), О.Н. Успенской (Всероссийский НИИ овощеводства), Т.Ю. Минаевой (Международная организация по сохранению водно-болотных угодий Wetlands International), за поддержку от проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS K Восстановление торфяных болот), Программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» и проекта РФФИ № 12-05-01029-а.

1. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А. Облесенность болот и заболоченных земель России // Лесоведение. - 2011. - № 5. - С. 3–11.
2. Минаева Т.Ю., Трофимов С.Я., Чичагова О.А., Дорофеева Е.И., Сирин А.А., Глушков И.В., Михайлов Н.Д., Кромер Б. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем южного Валдая в голоцене // Известия РАН. Сер.биол. - 2008. - Т. 35. № 5. - С. 607–616.
3. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. - 2011. - №2. - С. 13-21
4. Сирин А.А., Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Глаголев М.В. О значениях эмиссии метана из осушительных каналов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2012. - Т. 3. № 2(6). с. EDCCgrar0005.
5. Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. Влияние растительности и режима увлажнения на эмиссию метана из осушенной торфяной почвы // Агрохимия. - 2010. - № 12. - С. 40-49.
6. Чистотин М.В., Сирин А.А., Дулов Л.Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрохимия. - 2006. - № 6. - С. 54–62.
7. A quick scan of peatlands in Central and Eastern Europe / Minayeva, T., Sirin, A., Bragg, O.(eds.). - Wageningen, The Netherlands: Wetlands International, 2009. - 132 p. (<http://www.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=Az8K7KVj%2bhk%3d&tabid=56>).
8. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change. Main report / Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (eds.). - Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. - 179 p. (<http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63>).
9. Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations // Biogeochemistry. - 2000. - 48. - P. 115-146.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФИТОМАССЫ, ПРОЦЕССЫ ЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
ELEMENTAL COMPOSITION OF PHYTOMASS, PROCESSES OF ITS FORMATION AND DECOMPOSITION IN SOME FOREST AND MIRE ECOSYSTEMS

А.А. Титлянова^{1*}, П. Биеньковски², Н.П. Косых¹, Н.Г. Коронатова¹, Н.П. Мироничева-Токарева¹, С.В. Шибарева¹, Н.А. Тухомирова¹, Э. Дитвалд², П. Громадка²

A.A. Titlyanova¹, P. Bienkowski², N.P. Kosykh¹, N.G. Koronatova¹, N.P. Mironycheva-Tokareva¹, S.V. Shibareva¹, N.A. Tikhomirova¹, E. Ditwald², P. Gromadka²

¹ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

¹ Institute of Soil Science and agrochemistry SB of RAS

² Центр экологических исследований Польской Академии наук, Польша

² Centre for Ecological Research Polish Academy of Sciences

*E-mail: argenta@issa.nsc.ru

Настоящая статья подводит итоги длительно-го научного сотрудничества между Институтом экологии РАН (с 2002 года Центр экологических исследований РАН) и Институтом почвоведения и агрохимии СО РАН в рамках двусторонних проектов Польской академии наук и Российской академии наук.

Теоретические задачи определялись интересами сторон. Аналитическая лаборатория и ее руководитель доктор П. Биеньковски изучали деструкцию и минерализацию фитомассы и растительных остатков, включая подробный анализ изменения элементного состава органического вещества в процессах роста и разложения. Элементы Al, Ca, Fe, K, Na, Mg, Mn анализировались на плазменном масс-спектрометре ICP-AES, GBC модель Интегра XI. Элементы CHNS определялись на газовом хроматографе CHNS+O Carlo Erba модель 1108. Содержание кислорода рассчитывалось по разности при известном содержании золы в пробе. Результаты анализа использовались для расчета калорийности по модифицированной формуле Dulong.

Лаборатория биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (под руководством А.А. Титляновой) занималась определением запасов надземной и подземной фитомассы, а также надземной (ANP) и подземной (BNP) чистой первичной продукции в болотных экосистемах России и Польши.

Элементный состав и запасы фитомассы. Исследования в Польше включали изучение элементного состава болотных растений, в первую очередь основных ценозообразователей – мхов *Sphagnum*. Объектом исследования являлись два вида мхов *Sphagnum fallax* и *S. fuscum*, обитающие в сибирском болоте, а также *S. fallax*, растущий в польском болоте. Мы сравнили мхи по химическому составу их молодой фитомассы – головок и части стеблей, выросших в текущем году. Географические различия в элементном составе *S. fallax* проявляются в обогащении этого вида, растущего в Польше, азотом, фосфором

и калием, а растущего в Сибири – кальцием и магнием. Различия между видами *S. fallax* и *S. fuscum*, обитающих в одном и том же болоте, найдены для серы и алюминия, концентрация которых выше в тканях *S. fuscum* по сравнению с *S. fallax* [Биеньковски и др., 2008].

Что же происходит с химическими элементами в ходе торфообразования? У всех трех видов *Sphagnum* концентрации азота и фосфора максимальны в головках и снижаются от молодых органов к стоячим мертвым стеблям, повышаются в подстилке и вновь снижаются в торфе. Калий ведет себя одинаково во всех вариантах. Его концентрация, высокая в головках и в приросте текущего года, снижается в 22 раза, достигая в торфе очень низких величин. Кальций и магний с глубиной уменьшают свою концентрацию, но иногда в подстилке или торфе содержание Ca резко возрастает. Концентрация серы в торфе понижается с глубиной. Это понижение, вероятно, связано с образованием сероводорода и поступлением его из воды в атмосферу. В отличие от серы, Mn, Al и Fe с глубиной накапливаются, что особенно характерно для *S. fallax*, растущего в Польше на болоте Пальмира. Накопление Fe и Al с глубиной объясняется, вероятно, образованием в кислом торфе железоалюминиевых оксидов, сорбирующих фосфор и марганец [Graft, 1997].

Таким образом, изменение химического состава фитомассы в ходе торфообразования в малой степени определяется видом сфагнового мха или экологическими условиями. Ведущими переменными являются химический состав растений торфообразователей, химические свойства элементов (т.е. набор типичных для каждого элемента реакций) и наличие или отсутствие минеральной основы, как субстрата для осаждения на нем органических соединений [Биеньковский и др., 2008].

В следующей работе [Mironycheva-Tokareva, Shibareva, Gromadka, 2009] сравнивались запасы фитомассы и депонированных в ней элементов питания в травяном и сфагновом болотах

Таблица 1. Запасы растительного вещества в травяном болоте Польши, т/га

Компоненты растительного вещества	Надземный ярус		Подземный ярус			Болото, т/га
	кочка, т/ 0,4 га	меж-кочье, т/ 0,6 га	кочка, т/ 0,4 га		торфяно-болотная почва, 0-30 см, т/0,6 га	
			0-10 см	10-50 см		
Зеленая фитомасса:	11,9	1,0	-	-	-	12,9
Ветошь	6,8	0,1	-	-	-	6,9
Подстилка	14,2	2,4	-	-	-	16,6
Живые корни и корневища осок и разнотравья	-	-	25,1	24,8	10,9	60,8
Живая нефотосинтезирующая фитомасса стеблей и донышек осок	-	-	31,2	7,4	0,1	38,7
Мертвые корни и корневища	-	-	5,0	16,6	15,7	37,3
Мертвая нефотосинтезирующая масса осок	-	-	8,1	6,6	2,0	16,7
Всего	32,9	4,5	69,4	55,4	28,7	189,9

Польши и травяном болоте Сибири, приуроченном к Барабинской лесостепи. Сфагновое болото Польши – переходное, расположенное в Кампиновском национальном парке, его общая глубина около одного метра. Торф, сложенный на 85-90% остатками сфагновых мхов, мощностью 20 см подстилается остатками пушицы и осок. Травяное болото расположенное в Кампиновской пуще характеризуется большими кочками, на которых растет *Carex elata*, в межкочечном пространстве наряду с *C. elata* произрастают другие болотные травы. Болото в Западной Сибири лежит в центральной части крупного болотного массива. Доминантами фитоценоза являются *Calamagrostis neglecta*, *Scolochloa festucacea* и *Carex acuta*. Поверхность болота кочковатая, однако, кочки не высоки и как отдельный элемент рельефа не выделялись.

В травяном болоте Польши учитывались все компоненты фитомассы. Надземная фитомасса болота достигает 37,4 т/га, подземная фитомасса – в 4,2 раза больше. Кочки являются вместилищем живой подземной фитомассы. В верхнем слое (0-10 см) сосредоточены 41% корней и корневищ и 81% нефотосинтезирующих стеблей и донышек осок (узлов кущения). В нижнем слое (10-50 см) мертвой фитомассы, в три раза

больше, чем в верхнем. В межкочечном пространстве содержится всего 15% растительного вещества (табл. 1).

Порядок накопления элементов питания в живой фитомассе следующий: N>K>S>Ca>Mg>P, в мертвой – N>K>Ca>S>Mg. Болото обогащено серой и обеднено кальцием. Общие запасы фитомассы и элементов питания, а также их удельное содержание в живой фитомассе сравнимы с теми же показателями в переходном сфагновом болоте Польши и травяном болоте Западной Сибири (табл. 2).

Анализ материала показывает, что, как химический состав растений доминантов, так и общие климатические и геохимические особенности местоположения, оказывают свое влияние на химизм растительного вещества болот. Польские болота отличаются от сибирского повышенной концентрацией K и пониженной Ca. Обогащенность фосфором – специфическая черта травяного болота Сибири, а накопление серы характерно лишь для травяного болота Польши [Mironycheva-Tokareva, Shibareva, Gromadka, 2009].

Первичная продукция и запасы фитомассы. Наряду с оценкой запасов фитомассы в болотах Сибири и Польши, в Сибири одновременно проводились работы по оценке первичной

Таблица 2. Запасы растительного вещества (РВ), химических элементов и удельное содержание последних в живой и мертвой фитомассе болот

Тип и местоположение	Запасы РВ, т/га	Запасы химических элементов, кг/га					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Травяное болото Западной Сибири	136,6	1360	400	484	867	167	140
Травяное болото Польши	190,0	1660	101	1100	403	192	487
Сфагновое болото Польши	126,0	794	62	606	246	-	133
Удельное содержание химических элементов в живой фитомассе, кг/т							
Травяное болото Западной Сибири	-	10,0	2,9	3,9	6,5	1,3	1,1
Травяное болото Польши	-	9,3	0,8	6,0	2,2	1,1	3,0
Сфагновое болото Польши	-	9,5	0,8	8,6	2,0	-	1,2

продукции. Методы оценки первичной надземной (ANP) и подземной (BNP) продукции для травяных экосистем были разработаны А.А. Титляновой [Титлянова, 1977], для болотных экосистем Н.П. Косых [Косых и др., 2003, Kosykh et al, 2008].

Самой высокой продукцией обладают заболоченные луга, травяные и долинные евтрофные болота. В целом в кустарничково-травяно-сфагновых болотах продукция увеличивается с севера на юг. Она всегда выше в мезотрофных местообитаниях. Впервые была показана высокая величина BNP, достигающая 140-290 г/м²-год в северной тайге, 505-890 г/м²-год в средней тайге и 530-1970 г/м²-год в южной тайге [Косых, Миронычева-Токарева, 2005; Титлянова, 2007].

Н.П. Косых и Н.Г. Коронатова определили и сравнили запасы фитомассы и продукцию в болотах Польши и России (Западная Сибирь).

Два польских болота (Мазурские болота) представляют разные стадии зарастания озер от периферии к центру. Первая стадия – мезотрофная мочажина, в которой моховой покров представлен сфагновыми мхами (*Sphagnum fallax*, *S. riparium*), травяная – осоками (*Carex rostrata*, *C. vesicaria*, *C. lasiocarpa*), пушицей (*Eriophorum vaginatum*), кустарничками (подбел, клюква – *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*). Вторая стадия – мезотрофное осоково-сфагновое болото с фрагментами кочек со *S. fuscum*.

Нарастание болота шло к центру озера пионерным сфагновым мхом *S. cuspidatum*, вслед за которым нарастает *S. fallax*. На кочках со *S. fuscum*, которые занимали около 1% поверхности сообщества, поселилась болотная форма сосны *Pinus sylvestris*. В основной части болота развито мезотрофное сообщество с доминированием ринхоспоры, осок. Третья стадия зарастания характеризуется развитием осоково-сфагнового болота с небольшими грядами-кочками, покрытыми *S. fuscum*. Древесный ярус в грядах представлен соснами, высотой до 2-х метров. В травяном ярусе доминировали *Rhynchospora alba*, *Carex rostrata*, *C. limosa*, *Eriophorum polystachyon*. Кустарничковый ярус сложен *Oxycoccus microcarpus*.

В Западной Сибири были выбраны болота, наиболее близкие к описанным выше. Мезотрофная мочажина находится в переходной полосе вокруг озера, которое расположено почти в центре рям. Моховой покров этого сообщества очень разнообразен и представлен высокопродуктивными сфагновыми мхами: *Sphagnum balticum*, *S. fallax*, *S. riparium*. Травяной покров характеризуется присутствием *Menyanthes trifoliata* L., *Comarum palustre* L., *Carex lasiocarpa*, *Eriophorum vaginatum*. Рям представлен берёзово-кустарничково-сфагновым с сосной растительным сообществом. Кустарничковый ярус высотой 50-70 см представляет сплошные заросли, проективное покрытие которых доходит до 70-80%. Проективное

Таблица 3. Запасы живой фитомассы, г/м², и чистая первичная продукция, г/м²-год, в болотных экосистемах Польши и Западной Сибири

Страна		Польша		Россия, Западная Сибирь	
Природная ландшафтная зона		Сосново-широколиственные леса		Лесостепь	
Элемент рельефа		Мезотрофная мочажина	Гряда	Мезотрофная мочажина	Рям
Фитомасса надземная		390	353	650	659
Доля в %	Мхи	82	77	64	40
	Травы	17	8	16	1
	Кустарнички:				
	зеленая	<1	6	8	19
	одревесневшая	<1	9	12	40
Фитомасса подземная		1989	1328	3376	1045
Доля в %	Травы	74	22	63	3
	Кустарнички	26	78	37	97
Всего живой фитомассы		2379	1681	4026	1704
Продукция, ANP		242	408	463	229
Доля в %	Мхи	79	88	69	69
	Травы	20	7	23	1
	Кустарнички	1	5	8	30
Продукция, BNP		622	695	2250	313
Доля в %	Травы	85	27	91	18
	Кустарнички	15	73	8	82
Продукция, NPP		864	1102	2713	542
Доля в %	ANP	28	37	17	42
	BNP	72	63	83	58

покрытие мохового покрова 90-100%, в нем доминируют *S. fuscum* – 60%, *S. capillifolium* – 30%, *S. angustifolium* – 9%, *Polytrichum strictum* – 1%.

Сравниваемые болота отличаются происхождением, растительным покровом и гидрологическими условиями. Однако выбранные пары экосистем соответствуют друг другу, так как расположены на подобных элементах рельефа: понижение – мочажина, повышение – гряда или рям (табл. 3).

Надземная фитомасса значительно выше в сибирском болоте за счет высокой плотности сфагновых мхов в мочажине и высоком обилии кустарничков на ряме. Основная доля живой фитомассы представлена мхами в обеих мочажинах и на гряде (64-82%). На ряме доля мхов в фитомассе не превышает 40%, 59% фитомассы сформировано кустарничками. Доля трав в фитомассе одинакова в мочажинах (16-17%) и минимальна на ряме – всего 1%.

Совсем другую картину мы наблюдаем в подземном ярусе. Подземная фитомасса фитоценозов мочажин превышает надземную в 5 раз, как в Мазурских болотах, так и на ряме в лесостепи. На возвышенных элементах рельефа разница гораздо меньше: 3,8-1,6. Состав подземной фитомассы практически идентичен в обеих мочажинах: доля корней и корневищ трав 63–74%, доля подземных органов кустарничков не превышает 30-40%. Обратная картина характерна для повышенных элементов рельефа. Доля подземных органов кустарничков доходит до 97% (рям). Существует полное соответствие между фракциями фитомассы в надземном и подземном ярусах.

Надземная продукция меняется в четырех исследованных экосистемах от 230 до 460 г/м² в год. Главными продуцентами являются сфагновые мхи, чья доля в ANP составляет от 70 до 90%. Доля трав меняется от 23 до 1% и доля кустарничков возрастает от 1% (мочажина, Мазуры) до 30% (рям).

Подземная продукция BNP очень схожа по своей величине в болотных экосистемах Польши и резко отличается в Сибири, где BNP мочажины 22 т/га и превышает BNP ряма в 7 раз. Во всех четырех болотных экосистемах BNP превышает ANP. Это превышение незначительно на ряме, где главный компонент – кустарнички и очень велико в мочажинах, где отношение BNP/ANP достигает 2,6-4,9. По соотношению величин продукции мхов, трав и кустарничков болота Польши и Западной Сибири очень похожи.

Высокие величины BNP в изученных болотах связаны с ежегодным приростом корней и корневищ осок и корней кустарничков. Следовательно, ежегодно образуется и отмирает большая часть фитомассы подземных органов, которая, постепенно разлагаясь, образует торф совместно с надземными растительными остатками.

Минерализация торфа. При попытке оценить минерализацию торфа путем измерения

выделяющегося CO₂ учитывается как минерализация самого торфа, так и дыхание живых подземных частей растений. Поэтому часто опыты по определению разложения торфа проводят, закладывая торф в мешочки (bag-method) и прослеживая общие потери массы в течение какого-либо периода. При таком методе не учитывается вращение тонких корней растений в мешочки, увеличивающее общую массу, в результате чего оценки минерализации торфа оказываются заниженными.

В связи с участием корней растений в образовании торфа были поставлены специальные опыты в Польше на болоте Пальмира [Titlyanova, Shibareva, Bienkowski, 2011]. Цель работы – определить скорость разложения торфа в болоте, отличающимся резкой флюктуацией уровня болотных вод, относительно высокими температурами торфа и значительным включением в фитоценоз травянистой растительности.

Растительность данного переходного болота представлена сфагновыми мхами (*Sphagnum fallax*) и пушицей (*Eriophorum vaginatum*), также обильна *Chamaedaphne calyculata*.

Опыт проводился с августа 2006 г. по август 2008 г. Мешочки с образцами торфа (2 г/мешочек) были заложены на глубинах 30 см (аэробный слой) и 60 см (анаэробный слой). Одновременно с пробами были установлены датчики для записи температуры торфа в течение года. Резких температурных различий на разных глубинах не наблюдалось. Температура в толще болота в зимнее время не опускалась до нуля. Период с температурой торфа более 10°C продолжался 5-6 месяцев.

Торф, помещенный в мешочки, представляет смесь двух фракций: однородную, неидентифицируемую на надземные и подземные органы массу, и фракцию корней мертвых и живых. В течение года заложенные пробы отбирались пять раз и после высушивания и взвешивания общей массы разбирались на две фракции. Фракция, из которой были выбраны видимые корни, обозначалась Т (торф), смешанная фракция живых и мертвых корней и корневищ, обозначалась К (корни). В течение года массы фракций Т и К колебались. Колебания массы торфа обусловлены тремя процессами: проникновением корней в мешочек и их ростом, отмиранием корней с последующим их размельчением и минерализацией торфа. Прирост корней происходит активнее всего весной, когда начинают вегетировать растения – в мае, июне. Летом корни отмирают, частично минерализуются, частично измельчаются. При разборке пробы во фракцию “корни” относят лишь остатки, распознаваемые как корни. Измельченная часть корней визуально не отличается от торфа и остается во фракции “торф”, пополняя тем самым его массу. Процессы прироста, отмирания, разложения корней и перехода измельченной части в торф идут на фоне постоянной медленной минерализации последнего.

Годичная динамика фракций позволила рассчитать интенсивность минерализации торфа. На глубине 30 см торф за год потерял за счет минерализации 264 мг в расчете на одну пробу, со средним весом 1828 мг, что составляет 14% от исходного количества. За счет размельченных корней за то же время торф пополнился на 250 мг новыми растительными остатками. Итоговая же цифра потерь торфа за год – 14 мг на пробу, т.е. всего 0,8%. На глубине 60 см годовые потери торфа составили 279 мг, а приход его новой массы за счет корней – 307 мг. Таким образом, потери органического вещества торфа, обусловленные минерализацией, перекрывались приходом новой фитомассы. На глубине 30 см видимые потери составляют 0,8%, а действительные – 14% от исходного количества торфяной массы.

Работа, подобная вышеописанной, была проведена на болоте в южной тайге Западной Сибири [Коронатова, 2010; Koronatova, Shibareva, 2010], где опыт длился 27 месяцев. Было выбрано три болотных экосистемы с глубиной торфа 1,5-2,0 м: экосистема рьяма с сосново-кустарничково-сфагновым сообществом и две топяные экосистемы – одна из них переходная между рьямом и топью с кустарничково-пушицево-сфагновым сообществом, вторая – проточная топь с осоково-сфагновым сообществом.

Подсчитаны прирост и убыль массы живых корней и торфа за разные периоды времени. В топяных экосистемах выделены следующие процессы по периодам года:

- начало лета: в обеих топяных экосистемах происходили минерализация торфа и прирост корней, в нижнем слое масса торфа увеличивалась, вероятно, за счет отмирания перезимовавших корневищ осоки;

- вторая половина лета и осень: деструкция корней и минерализация торфа, либо пополнение торфа за счет отмирающих корней;

- зима – весна: торф пополнялся за счет отмирающих корней, весной отрастали свежие корни;

- лето – осень следующего года: в краевой части топи происходила минерализация торфа и корней, в центральной части – наоборот, некоторый прирост этих фракций.

В течение года в экосистемах на обеих глубинах происходили минерализация торфа и прирост корней, причем в нижнем слое прирост корней превышал убыль торфа.

На рьяме в верхнем слое происходила минерализация торфа, наиболее активно протекавшая в первую половину лета. В нижнем слое прирост и убыль корней проявлялись на второй год эксперимента.

Таким образом, на примере теплого и холодного болот была показана роль корней и корневищ трав и кустарничков в образовании торфа. Обычно же при исследовании разложения торфа методом его закладки в мешочках в экосистему, не учитывается прирост и отмирание корней и корневищ, что приводит к заниженной оценке минерализации торфа.

В качестве заключения отметим, что при изучении процессов биотического круговорота мы чаще всего наблюдаем относительное постоянство во времени массы компонента (торф, подстилка, запас корней растений в почве и т.д.), так как входной поток компенсирует потерю массы, обусловленную выходным потоком. Задача исследователя – экспериментально или путем моделирования оценить интенсивности входного и выходного потоков.

1. Биеньковский П., Титлянова А.А., Дитвалд Э., Шибарева С.В. Изменение элементного состава фитомассы сфагновых мхов в процессе торфообразования // Вестник ТГПУ. Серия Биологические науки. - 2008. - Вып. 4 (78). - С. 30-34.

2. Коронатова Н.Г. Исследование разложения торфа в болотах методом инкубации сухих и влажных образцов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. - 2010. - № 1. - С. 65-71.

3. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Блейтен В. Продуктивность болот южной тайги Западной Сибири // Вестник ТГУ. Серия Биологические науки. - 2003. - № 7. - С. 142-152.

4. Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П. Чистая первичная продукция болот Севера Западной Сибири // Биология и биосфера: Сборник материалов Четвертой Научной Школы. - Томск, 2005. - 228-231.

5. Титлянова А.А. Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - 224 с.

6. Титлянова А.А. Чистая первичная продукция травяных и болотных экосистем // Сибирский экологический журнал. - 2007. - № 5. - С. 763-770.

7. Graft C.B. Dynamics of nitrogen and phosphorus retention during wetland ecosystem succession // Wetl. Ecol. & Manag. - 1997. № 4. - P. 177-187.

8. Koronatova N.G., Shibareva S.V. Change of peat mass during decomposition in mires of Poland and West Siberia // Contemporary Problems of Ecology. - 2010. - Vol. 3, № 3. - P. 312-317.

9. Kosykh N.P., Koronatova N.G., Naumova N.B., Titlyanova A.A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // Wetl. Ecol. & Manag.- 2008. - Vol. 16. - P. 139-153.

10. Mironycheva-Tokareva N.P., Shibareva S.V., Gromadka P. A grass mire in Poland: reserves of phytomass and deposited nutrition elements // Contemporary Problems of Ecology. - 2009. - Vol. 2, № 2. - P. 128-132.

11. Titlyanova A.A., Shibareva S.V., Bienkowski P. Peat Decomposition in a Transitional Mire in Central Poland // Eurasian Soil Science. - 2011. - Vol. 44. No. 2. - P. 149-156.

Section 3

**Genesis, Paleoecology and
Evolution of Mire Ecosystems**

**Генезис, палеоэкология и
эволюция болотных экосистем**

DEVELOPMENT OF MIRES IN POLAND – CHANGES IN FLORA AND VEGETATION SINCE THE LAST GLACIATION

Danuta Drzymulska

Department of Botany, Institute of Biology, University of Białystok, Białystok, Poland
E-mail: drzym@uwb.edu.pl

In this study I concentrate on plant species and communities recognised in the history of some mires in the past but not present contemporarily. The area of our study is located in northeastern Poland, in the Knyszyńska Forest (Fig.), which is characterised by a high, close to 10% contribution of wetlands (Okruszko, 1995).

According to physical-geographical division of Poland (Kondracki, 2011), the Knyszyńska Forest is located in the eastern part of the North Podlasie Lowland. The relief of the area was formed by the Wartanian (Saalian) glaciation (Marks, 2005). During the last glaciation this territory was located in the periglacial zone. Ice-front of the Vistulian (Weichselian)

glaciation was situated only 60 km north from Białystok (Pawłowska and Miodek, 1993).

Macroscopic plant remains analysis (vegetative and generative remains) was performed in the samples of biogenic sediments (peat and gyttja) collected from Taboły, Kładkowe Bagno and Borki mires.

Selected samples of peat were dated using the radiocarbon dating method at the Poznań Radiocarbon Laboratory (Poznań, Poland) (AMS method), and in the Radioanalytical Laboratory of the Institute of Hygiene and Medical Ecology in Kiev (Kiev, the Ukraine).

Remains of 116 different plant taxa (species, section, genus, family) were identified in the investigated peat sediments. Among them

were the following taxa, characteristic of 9 vegetation classes: *Scheuchzeria-Caricetea nigrae* – 31, *Phragmitetea* – 13, *Oxycocco-Sphagnetetea* – 13, *Potametea* – 9, *Alnetea glutinosae* – 4, *Bidentetea tripartiti* – 2, *Charetea* – 2, *Molinio-Arrenatheretea* – 2, *Litoretetea* – 1.

Quantitative representation of major plant types was as follows: trees and shrubs (10 taxa), dwarf shrubs (4), herbs (56), pteridophytes (2), peat-mosses (16), brown mosses (23), and algae (5).

Sixteen of the taxa identified are not found in the Knyszyńska Forest region at present:

a) vascular plants *Betula nana* L., *Ranunculus reptans* L.,

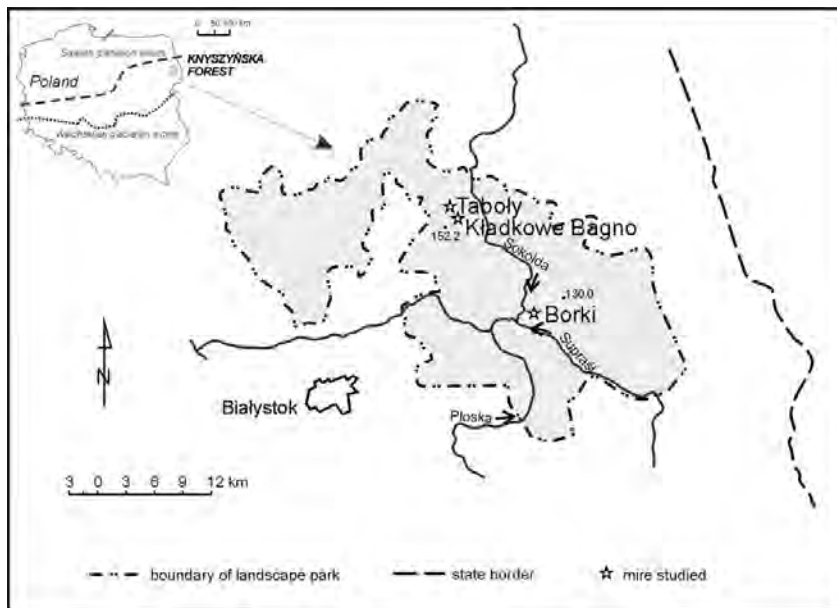


Fig. Location of the Knyszyńska Forest and the mire studied

Table. Occurrence of selected taxa in the mires studied in the past

Taxon	Mire	Chronostratigraphy
1. <i>Betula nana</i>	Taboły	Younger Dryas, Preboreal, Boreal
2. <i>Cladium mariscus</i>	Taboły	Boreal, Atlantic
<i>Scheuchzeria palustris</i>	Taboły	Subatlantic
	Borki	Boreal, Atlantic, Subboreal, Subatlantic?
<i>Potamogeton filiformis</i>	Taboły	Late Glacial
3. <i>Potamogeton friesii</i>	Taboły	Late Glacial
<i>Potamogeton panormitanus</i>	Taboły	Late Glacial
4. <i>Myriophyllum alternifolium</i>	Taboły	Late Glacial
5. <i>Scorpidium scorpioides</i>	Taboły	Older Dryas
6. <i>Meesia triquetra</i>	Taboły	Late Glacial, Preboreal, Boreal/Atlantic
	Borki	Boreal/Atlantic, Subatlantic

Myriophyllum alternifolium DC., *Scheuchzeria palustris* L., *Potamogeton filiformis* Pers., *Potamogeton panormitanus* Biv., *Potamogeton friesii* Rupr., *Cladium mariscus* (L.) Pohl, *Hippuris vulgaris* L.

b) peat mosses *Sphagnum platyphyllum* (Lindb.) Warnst., *Sphagnum angustifolium* (C.E.O. Jensen ex Russow) C.E.O. Jensen, *Sphagnum centrale* C. Jens. in Arnell & C. Jens.

c) brown mosses *Meesia triquetra* (Richt.) Engstr., *Warnstorfia fluitans* (Hedw.) Loeske, *Drepanocladus Sendtneri* (Schimp. ex H. Myll.) Warnst., *Scorpidium scorpioides* Limpr.

Table 1 presents occurrence of selected taxa (from the above mentioned 16 taxa) in the past, in the mires studied.

A few from among the subfossil plant communities identified are not present nowadays in Poland. Some of them seem to be quite similar to the contemporary *Menyantho trifoliatae-Sphagnetum teretis*, *Sphagnetum betulo-pinosum eriophoreto fruticuletosum*, *Caricetum rostratae sphagnetosum fallacis*. We described also sedge-brown moss and brown moss community with scrubby birches, and the community of *Scorpidium scorpioides*.

Palaeobotanical studies conducted in the Knyszyńska Forest delivered interesting data about subfossil flora and vegetation. Among the examples of subfossil flora there are species of aquatic plants, like *Myriophyllum alternifolium*, which occurred in the Late Glacial, in water body at Taboły. This species, connected now with mild maritime climate (Podbielkowski and Tomaszewicz, 1982), is considered as a rare relict boreal-atlantic species (Dańska, 1965). According to Mikulski (1974), *Myriophyllum alternifolium* is negative temperatures sensitive. This indicates that the species had been present in lakes during one of the interstadials, most probably in the Bulling, when the climate was warmer. The second, mild climate species is *Potamogeton friesii*, also identified in this water body at the same time. An indicator of cool climate in the beginning phase of existence of the north part of the reservoir functioning

in Taboły was *Potamogeton filiformis* (see Tobolski, 1998). The age of this sediment was determined as 13016-12776 cal. BP (Ki-10401), so to the Alleröd/Younger Dryas decline.

One of the most interesting species of subfossil flora was *Betula nana*. Dwarf birch occurred at Taboły mire since the Younger Dryas probably till the Boral period (Drzymulska, 2006), and at Kładkowe Bagno – since the Younger Dryas till the beginning of the Atlantic period (Kupryjanowicz, 2004). In Taboły, *Betula nana* formed quite a well-recognised plant community with *Betula humilis*, sedges and brown mosses. This sedge-brown moss and brown moss community with scrubby birches could be probably identified with the shrubs-sedges-brown mosses associations described by Liss and Bjerjesina (1981) in the Western Siberia territory. There are also some references to contemporary *Betuletum humilis* Fijałkowski 1959 (see Pałczyński, 1975; Botsch and Smagin, 1993). According to Botsch, Smagin (1993), *Betula nana* is a component of this association in North-Western Russia.

Scorpidium scorpioides is another example of subfossil flora of the Knyszyńska Forest. This brown moss formed community at Taboły, in the Older Dryas [13926-13636 cal. BP (Poz-2885)] (Drzymulska, 2011). This phytocenosis seems to be connected with *Scorpidium scorpioides* subfossil phytocoenosis described by Oświt (1973, 1991) in the Lower Biebrza Basin, and at Rabinówka mire (Drzymulska, 2004). *Scorpidium scorpioides* is also known as an initiator of peat-forming process in the Ilmen Lowland (Bogdanovskaja-Gijenef, 1969). Nowadays this brown moss occurs in moss-lichens tundra and willow-birch dwarf shrubs in Central Siberia (Katz, 1975).

Sphagnetum betulo-pinosum eriophoreto fruticuletosum-type is a subfossil community reconstructed in Kładkowe Bagno bog, where it functioned in the Subboreal and Subatlantic periods. A contemporary analogue - *Sphagnetum betulo-pinosum* Filatov et Yurev 1913 association occurs in North-Western Russia (Botsch and Smagin, 1993).

1. Bogdanovskaja-Gijenef I. D. Zakonomjernosti formirovanija sphagnovykh bolot vjercnovogo tipa. - Nauka, Leningrad, 1969. - 166 p.
2. Botsch M. S., Smagin V. A. Flora i rastitel'nost' bolot sjeviero-zapada Rossii i principyji ich ochrany // Proceed. Komarov Botan. Inst. Sankt-Petersburg, 1993. - 7. - P. 1-225.
3. Dańska I. Roślinność litoralu jezior lobeliowych Pojezierza Kartuskiego, PTPN. - 1965. - T. 30. - Z. 3:3-53.
4. Drzymulska D. History of vegetation at Rabinówka mire (Gródek-Michałowo Depression, NE Poland). In: Wołajko L., Jasnowska J. (Eds), The future of Polish mires. - Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Szczecinie. Szczecin, 2004. - P.37-42.
5. Drzymulska D. Subfossil plant communities in deposits from the Taboły, Kładkowe Bagno and Borki mires in the Puszcza Knyszyńska Forest, NE Poland // Acta Palaeobotanica. - 2006. - 46(2). - P. 255-275.
6. Drzymulska D. Palaeoenvironmental aspects of the genesis and early development of the Taboły mire, North-Eastern Poland // Geologija. - 2011. - 53(3). - P.121-129.
7. Katz N.J. Bagna kuli ziemskiej. - PWN, Warszawa, 1975. - 474 p.
8. Kondracki J. Geografia regionalna Polski. - PWN, Warszawa, 2011. - 444 p.
9. Kupryjanowicz M. The vegetation changes recorded in sediments of Kładkowe Bagno peat-bog in Puszcza Knyszyńska, north-eastern Poland // Acta Palaeobotanica. - 2004. - 44(2). - P.175-193.

10. Liss O.L., Bjerjesina N.A. Bolota Sapadno-Sibirskoj ravniny. - Moskva: Isdatjelstvo Moskovskogo Universitjeta, 1981. - 208 p.
11. Marks L. Pleistocene glacial limits in the territory of Poland // *Przegląd Geologiczny*. - 2005. - 53. - P. 998–993.
12. Mikulski J.S. Biologia wód śródlądowych. - PWN, Warszawa, 1974. - 434 p.
13. Okruszko H. Mokradła - ich geneza i znaczenie w krajobrazie Puszczy Knyszyńskiej. *In: Czerwiński A. (Ed.), Puszcza Knyszyńska. Monografia przyrodnicza. Zespół Parków Krajobrazowych w Supraślu. - Supraśl, 1995. - P.239–254.*
14. Oświt J. Warunki rozwoju torfowisk w dolinie dolnej Biebrzy na tle stosunków wodnych // *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D. Monografie*. - 1973. - Tom 143. - P.1–80.
15. Oświt J. Roślinność i siedliska zabagnionych dolin rzecznych na tle warunków wodnych // *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D. Monografie*. - 1991. - Tom 221. - P.1–229.
16. Pałczyński A. Bagna Jaćwieskie (Pradolina Biebrzy). Zagadnienia geobotaniczne, paleofitosocjologiczne i gospodarcze // *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D. Monografie*. - 1975. - Tom 145. - P.1–232.
17. Pawłowska T., Miodek K. Charakterystyka fizyczno-geograficzna. *In: Gacka-Grzesikiewicz E. (Ed.) Park Krajobrazowy Puszczy Knyszyńskiej. Dokumentacja przyrodnicza i kulturowa wraz z zasadami gospodarki przestrzennej. - Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 1993. - P.14–39.*
18. Podbielkowski Z., Tomaszewicz H. Zarys hydrobotaniki. - PWN, Warszawa, 1982. - 530 p.
19. Tobolski K. Późnoglacialna historia zbiornika w Imiołkach. *In: Tobolski K. (Ed.), Paleoekologiczne studium późnoglacialnych osadów jeziora Lednica w Imiołkach (Lednicki Park Krajobrazowy). - Homini, Bydgoszcz, 1998. - P.69–79.*

GENESIS AND EVOLUTION OF THE SHALLOW ORGANIC SOILS IN THE CENTRAL PART OF SUDETES MOUNTAINS (SW POLAND)

Bartłomiej Glina¹, Adam Bogacz¹, Małgorzata Malkiewicz², Łukasz Mendyk³, Przemysław Woźniczka¹

¹ Institute of Soil Science and Environmental Protection, Wrocław University of Environmental and Life Sciences

² Institute of Paleobotany, University of Wrocław

³ Department of Soil Science and Landscape Management, Nicolaus Copernicus University in Torun

In mountainous areas due to specific landforms and geology, peatlands have very difficult conditions for development (Tallis 1985; Warner 1996). For this reason the thickness of peat deposits are not very large. On peatland areas we can observe shallow organic soils with peat layer less than 80 cm thick. In the Sudetes Mountains first peatlands were formed more than 11,000 years ago, right after withdrawal of the glacier (Traczyk 1997). Although, the most of peatlands occurs in the Karkonosze Mountains and Iżera Mountains (western Sudetes) started formation in Atlantic and subboreal periods (Fabiszewski 1978; Traczyk 1997). Moist conditions in Atlantic period posed favorable conditions for the development of peat-forming plants and accumulation of organic matter (Rydin and Jeglum 2006). Matuła *et al.* (1997) in his paper reported that peatlands in the Sudetes Mountains were formed in the same periods, similar to other peatlands from European mountainous areas. However, the age and genesis of organic soils in the central parts of Sudetes (Stolowe Mountains) are still not well known.

The aim of work was to determine the age of shallow organic soils and environmental change through time in the central part of Sudetes on the basis of C¹⁴ carbon dating and pollen analysis.

The study was carried out in the Stolowe Mountains National Park (SMNP) situated in the central

part of the Sudetes Mountains, south-west Poland. Five peat cores for investigation were sampled by using „Instorf” sampler, from the selected peatland areas represented by: two raised bogs Niekłosa Łąka (D) and Długie Mokradło (C), two slope fens near Karlów (A and B) and transitional peatland near the Łężyce (E) (Figure 1). Analytical material for carbon dating and pollen analysis was separated in the laboratory from peat cores taken during field work. On the basis of soil morphological features investigated soil profiles were classified according to WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) as: *Rheic Lignic Sapric Histosol (Eutric, Drainic)* (profile A), *Sapric Histosol (Eutric)* (profile B), *Ombric Hemic Fibric Histosol (Dystric)* (profile C and D), and *Histic Gleysol (Eutric)* (profile E). Pollen analysis showed that in the vicinity of the study area occurred mainly forest communities. Initially greater importance had deciduous and mixed forests with dominance of beech (*Fagus*), hornbeam (*Carpinus*), oak (*Quercus*), lime (*Tilia*), fir (*Abies*) and spruce (*Picea*). The understorey layer was overgrown by hazel (*Corylus*) and rowan (*Sorbus aucuparia*). Also pollen characteristic for communities of riparian forests with elm (*Ulmus*), alder (*Alnus*), ash (*Fraxinus*) and linden (*Tilia*) was found in investigated soils. These communities were strongly developed especially around the sampling site of profile A. Furthermore, pollen analysis results indicate a continuous human activity in the immediate area. It was a wide spectrum of changes, draw attention to disorder of the composition and structure of forest stands. Separated local pollen assemblage zones were correlated with the youngest Holocene chronostratigraphic unit – subatlantic period (Mangerud *et al.*, 1974). Also C¹⁴ carbon dating showed that investigated soil horizons are mainly in ages characteristic for subatlantic period (from 2500 BP up to present). Only organic soil layer at the interface with mineral bedrock were characterized by age proper for Atlantic period (profile B) and beginning of subboreal period (profiles A and

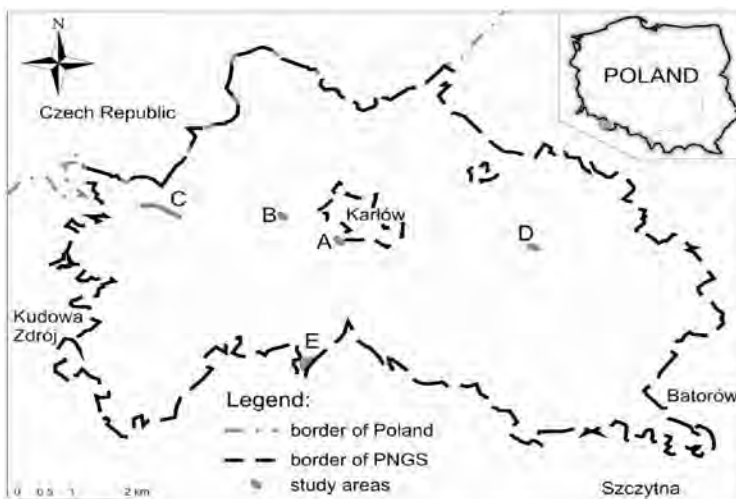


Fig. Localization of sampling sites

part of the Sudetes Mountains, south-west Poland. Five peat cores for investigation were sampled by using „Instorf” sampler, from the selected peatland areas represented by: two raised bogs Niekłosa Łąka (D) and Długie Mokradło (C), two slope fens near Karlów (A and B) and transitional peatland near the Łężyce (E) (Figure 1). Analytical material for carbon dating and pollen analysis was separated in the laboratory from peat cores taken during field work. On the basis of soil morphological features investigated soil profiles were classified according to WRB (IUSS Working Group WRB, 2006) as: *Rheic Lignic Sapric Histosol (Eutric, Drainic)* (profile A), *Sapric Histosol (Eutric)* (profile B), *Ombric Hemic Fibric Histosol (Dystric)* (profile C and D), and *Histic Gleysol (Eutric)* (profile E). Pollen analysis showed that in the vicinity of the study area occurred mainly forest communities. Initially greater importance had deciduous and mixed forests with dominance of beech (*Fagus*), hornbeam (*Carpinus*), oak (*Quercus*), lime (*Tilia*), fir (*Abies*) and spruce (*Picea*). The understorey layer was overgrown by hazel (*Corylus*) and rowan (*Sorbus aucuparia*). Also pollen characteristic for communities of riparian forests with elm (*Ulmus*), alder (*Alnus*), ash (*Fraxinus*) and linden (*Tilia*) was found in investigated soils. These communities were strongly developed especially around the sampling site of profile A. Furthermore, pollen analysis results indicate a continuous human activity in the immediate area. It was a wide spectrum of changes, draw attention to disorder of the composition and structure of forest stands. Separated local pollen assemblage zones were correlated with the youngest Holocene chronostratigraphic unit – subatlantic period (Mangerud *et al.*, 1974). Also C¹⁴ carbon dating showed that investigated soil horizons are mainly in ages characteristic for subatlantic period (from 2500 BP up to present). Only organic soil layer at the interface with mineral bedrock were characterized by age proper for Atlantic period (profile B) and beginning of subboreal period (profiles A and

C). It showed that peatlands in the central part of Sudetes Mountains started formation mainly in the atlantic period when the wet conditions promote the accumulation of organic matter. After that, due to the gradual warming and more arid conditions in late subboreal period the peat forming process has been slowed down and restarted in subatlantic period.

1. Fabiszewski J. Vegetation of the peat bog „Równia pod Śnieżką” // Guide to the Polish International Excursion 1978. - AMUP, Poznań, 1978. - P. 194-199.
2. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, first update 2007. World Soil Resources Reports, 103. FAO, Rome, 2006.
3. Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Donner J.J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // *Boreas*. - 1974. - 3(3). - P. 109-128.
4. Małucha J., Wojtuń B., Tomaszewska K., Żołniercz L. Mires in the Polish Part of the Karkonosze and Izerskie Mountains // *Ann. Siles.* - 1997. - 27. - P. 123-140.
5. Rydin H., Jeglum J. K. *The Biology of Peatlands*. - Oxford University Press, Oxford, New York, 2006. - P. 344.
6. Tallis J. H. Mass movement and erosion of a Southern Pennine blanket peat // *Journal of Ecology*. - 1985. - 73. - P. 283-315.
7. Traczyk A. Postglacjalny rozwój rzeźby Karkonoszy i Gór Izerskich w świetle analizy osadów rzecznych, jeziornych i stokowych // Conference materials „Geoecological problems of the Karkonosze Mountains”, Przesieka 1997.
8. Warner B. G. Vertical gradient in peatlands. *In*: Mulamottil G., Warner B. G., McBean E. A. (Eds): *Wetlands: Environmental Gradients, Boundaries and Buffers*. - CRC Press, Boca Raton Florida, 1996. - P. 45-65.

ARCHAEOBIOLOGICAL MACROREMAINS FROM THE FORMER PEATLAND OF LAKE BALATON

Ferenc Gyulai^{1*}, Csaba Gyuricza², Patrícia Pósa¹

¹ Department of Nature Conservation and Landscape Ecology, Szent István University, Hungary

² Institute of Plant Production, Szent István University, Hungary

*E-mail: Gyulai.Ferenc@kti.szie.hu

Until the starting of big drainage projects in 19th century Hungary was very rich in wetlands and marshes. Archaeological excavations show that the people settled with pleasure here in the prehistory and historical ages. However, until now only one lake-dwelling settlement known. One of the most important botanical findings in Hungarian archaeobotanical research was uncovered from the late Migration Period Fonyód-Bélatelep site in 1964. Considering the amount, quality and especially the species composition of the finds, this is the largest quantity of remains of this kind ever found. During the excavation of an early medieval lakeside settlement at Fonyód-Bélatelep/Balaton (7th-9th century AD), remains of cultivated and wild plants and animals were found as in the culture layer as well. The main cereal crops of this late Avar culture were barley, common wheat, millet and rye and a number of insect remains (saw-fly, mosquito species, lace-wing fly, velvet wine-dressed beetle) were also found. More than 13 species of fruit trees and grapes were present. It appears that fruit cultivation survived from Roman times into the early medieval period.

Keywords: archaeobotany, plant macrofossils, animal residues, early medieval Hungary

Introduction

The shallow Balaton is the largest lake in central Europe. It reached its present extent in the Late Quaternary around 15 000-20 000 BP (Zólyomi, 1953). Its origins certainly go back into the Late Tertiary (Pliocene), when the area of the lake basin

subsided through volcanic activity. The remains of this vulcanism shape the landscape round Balaton in the form of Basalt mountains.

The surroundings of Fonyód-Bélatelep lie on the flat south shore of Balaton. They belong to the Nagyberék region, which is surrounded by the basalt hills of Várhegy (233 m asl) and Siposhegy (207 m asl). Nagyberék was the largest bay when the lake formed. In the course of the Late Glacial and Postglacial it filled in completely and became a vast mire. After the lake level of Balaton was stabilised by the building of the Siocanal in 1863, the drainage of this area began. Today the part of the Nagyberék towards the lake is completely built up and has changed into a holiday resort.

Material and Method

The excavation was in the reedy and muddy surroundings in 1964. The Hungarian Agricultural Museum, the Hungarian National Museum and the Balatoni Museum continued the excavations together to obtain more information on the level of plant husbandry. The medieval culture layer lay between 35 and 50 cm beneath the present ground surface. The cultural deposits lay on a very compressed layer that mainly consisted of leaves of reeds. This layer was obviously insulation to keep the floor dry, was brought in from elsewhere here and specially laid, for it was not joined to the subsoil by roots.

During the excavations 60 m² was dug, a wooden building with a workshop in front of it. Among other things, plenty of pottery, quem fragments, remains of wooden buckets, buttons, remains of shoes, shells of aquatic molluscs (*Planorbis* sp., *Planorbarius* sp., *Anisus* sp.) and freshwater mussels (*Unio pictorum* ssp. *balatonicus*) were found. The many animal bones found had come from goats, sheep, pig, dog, birds and fish including wels (*Silurus glanis*).

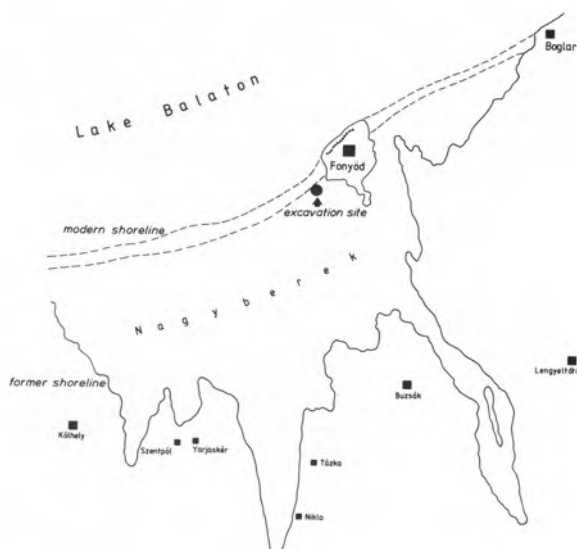


Fig. 1. Hungary with the lake Balaton



Fig. 2. The excavation site and surroundings

Based on ^{14}C tests, the age of the settlement, made up of lake dwellings, can be dated from the second half of the 7th century to the end of the 9th century.

From houses, pits and layers 29 samples each 10 kg were collected. They were floated, dried and analysed under stereo binocular microscope. The charred plant macroremains, mostly seeds recovered by the water sieving of material from burnt settlement layers, indicate that the inhabitants of these settlements preferred cultivating cereals.

Results and Discussion

A rather accurate picture can be gained about botanical knowledge, crop production practices, fruit consumption patterns, horticulture and viniculture of the period directly preceding the Hungarian conquest by analysing all 181,000 seeds of 64 different plant species found here (Gyulai – Hertelendi – Szabó, 1992). According to evidence provided by these plant macrofossils, the inhabitants of the lake dwellings pursued extensive farming activities. They did not specialise in one main crop but produced a wide variety of grain crops, kitchen produce, fruits and grapes. This implies self-sufficiency. The main crops of the inhabitants were barley, common bread wheat, club wheat, common millet, rye and common oat. Of the barleys, naked barley and two-rowed barley were produced at levels equal to six-rowed barley.

The low number of kitchen produce species and seeds (common lentil and pea only) seems surprising, since current opinion holds that productive ploughland cultures could be formed only in places where garden produce at an appropriate level was associated with it. This can not be the case here, however. It is much more likely that some special kind of production or dietary custom can be detected.

Fruit finds (9 species and 1400 pieces of remains) suggest a substantial amount of fruit consumption. The inhabitants of the settlement met their needs partly by gathering and partly by growing fruit trees. Stones and shells of sloe or blackthorn (*Prunus spinosa*), hazelnut (*Corylus avellana*), crab apple (*Malus silvestris*), certain wild pear species such as Hungarian-pear (*Pyrus magyarica*), single-seed hawthorn (*Crataegus monogyna*), danewort (*Sambucus ebulus*) might have come from gathering activities, perhaps also wild sour cherry (*Prunus cerasus* subsp. *acida*) and service tree (*Sorbus domestica*). During the life of the settlement, shallow waters and muddy marshland covered the Nagyberék region where water-chestnut (*Trapa natans*) must have been abundant and gathered for supplementing the inhabitants' diet. Walnut, cherry, plum, apricot, peach and grape remains show that these fruit cultivars established by the Romans did not disappear from Pannonia following collapse of the empire. Residents on the western slopes of Fonyód Castle Hill could have established vineyards and orchards.

In fact, Nagyberék was not suitable for agricultural use before draining was completed in 1914. Metric data (seed dimensions, length, width, height) indicate that the fruits mentioned above might have had several forms (cultivars?) just like common wheat, rye and grape.

A unique find is a mummified apricot (*Prunus armeniaca*) fruit bearing characteristic symptoms of Monilia fungi (*Monilia* cf. *fructigena*) infestation – circular monilia cushions around the peduncles (i.e. concentrically zoned sporodochiums). We have also found pea weevil (*Bruchus pisorum*) and grain beetle (*Calandra granaria*) damages and a number of insect remains: imago and cocoon of sawfly (*Tenthredinidae* sp.), imago of flood-water mosquito (*Culicidae* sp. cf. *Aedes sticticus*), wing fragments of green lacewing (*Chrysopa* sp.), abdomen and wings of alfalfa snout beetle (*Otiorrhynchus* cf. *ligustici*). Even so turfed cocoon and other remains of earthworm (*Lumbricus terrestris*) or redworm (*Eisenia foetida*) were uncovered. Here were found adhering peaty coprolite with hair-like. These remains we identified by small mammal, probably shrew-form (*Soricidae*) or hedgehog (*Erinaceidae*).

A large number of weed species (19 species) suggests cereal production as well: for instance, korn-rade (*Agrostemma githago*), spring wild-oat (*Avena fatua*), rye brome (*Bromus secalinus*), field cowwheat (*Melampyrum arvense*), field poppy, corn poppy (*Papaver rhoeas*), redshank (*Polygonum persicaria*), wild radish (*Raphanus raphanistrum*), annual woundwort (*Stachys annua*), lesser stitchwort (*Stellaria graminea*), large yellow-vetch (*Vicia grandiflora*), smooth tare (*V. tetrasperma*), fodder vetch (*V. villosa*). Herbs collected from the vicinity were also used. Numerous fan-hen or white goose-foot seeds raise the possibility of dietary use, for instance, by milling into flour. A number of parallel finds are known from both domestic and international archaeobotanical and ethnobotanical research (Gyulai, 2010). Some species identified as possible natural colouring agents include common agrimony (*Agrimonia eupatoria*), lady's bedstraw (*Galium verum*), walnut, crab apple, common mallow, sloe (blackthorn), danewort and common elder.

Seeds and fruit remains of the original flora appear in great numbers (29 species). Analysis of floristic elements and area types showed that vegetation in the area was European and Eurasian in nature, mixed with a substantial Mediterranean influence. Based on the area types Eurasian species dominated the environment of the site at the time along with the presence of a strong submediterranean influence. This suggests a somewhat warmer climate at that time. Radiocarbon dating determined that the settlement was active from the 7th to the 9th centuries, a warming period, providing paleoclimatic confirmation of the archaeobotanical data.

The excavation was significant from a historical point of view as well, because it resolves a long lasting debate by demonstrating that the water level in Lake Balaton was lower in the periods preceding and during the conquest than it is today. The settlement layer explored in Fonyód-Bélatelep lay at 103,4 m above Adriatic sea level. As a

considerable amount of grain was produced and stored at this level, the ground must have been completely dry at the time. The settlement was established on an island covered with peat, and taking soil capillarity into account, we have to assume a lower water table than that of the settlement: about – 102,4 m Adriatic compared to 104,1 m Adriatic today.

The research was funded by the project «Excellence in Faculty Research Support-Research. Centre of Excellence, Ministry of 8526-5/2014/TUDPOL

1. Gyulai F. Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, Food and Beverages Remains in the Carpathian Basin: an Archaeobotanical Investigation of Plant Cultivation and Ecology from the Neolithic until the Late Middle Ages. Archaeolingua. - Budapest, 2010. - 479 p.
2. Gyulai F. Hertelendi, E. Szabó, I. Plant remains from the early medieval lakeshore settlement Fonyód-Bélatelep (Lake Balaton, Hungary) with especial emphasis on the history of fruit cultivation in Pannonia // Vegetation History and Archaeobotany. - 1992. - Vol.1. - P.177-184.
3. Zólyomi B. Die Entwicklungsgeschichte der Vegetation Ungarns seit dem letzten Interglazial // Acta Botanica Academiae Scientiarum Hungaricae. - 1953. - Vol. 4. - P.367–430.

PRELIMINARY RESULTS OF THE VEGETATION RECONSTRUCTION BASED ON POLLEN ANALYSIS IN THE SÁRRÉT BASIN IN WESTERN HUNGARY

Marianna Molnár¹, Zsófia Medzihradzsky², Attila Barczi¹, Szilárd Czóbel¹

¹ Department of Nature Conservation and Landscape Ecology, Szent István University, Hungary

² Hungarian Natural History Museum

Abstract

The drilled sample obtained from Sárrét of the Fejér County in Hungary was divided by 5–10 centimeters long intervals and 41 samples were selected among them for analyzing. According to these samples 5 pollen zones (LPAZ) could be defined. The first two zones reflect the climate change happened during the Pleistocene and the Holocene in the investigated area. This data helped us to reconstruct the former vegetation and understand the details of the climate changes occurred in the recent thousands of years. Since we could not date the samples by radiocarbon methods each zone was dated back based on previous palinological and malacological studies (Willis *et al.* 1997, Sümegi *et al.* 2007). The goal of our research was to extend previous analysis carried out in this area earlier with newer data sets. In the future we are also intending to perform more detailed analysis regarding the climate change and the former vegetation based on the recently drilled out core samples obtained from the same area.

Keywords: Pollen analysis, Sárrét, Vegetation reconstruction, Quarter, Pleistocene

Introduction

Pollen analysis enables unique introspection into the long-term ecological processes; it can reveal the former ecological patterns and the impact of the climate change to the vegetation. This study is able to infer the human activity since the pollen samples reflects the artificial environmental changes and the spread of the early agriculture as well (Seppä, 2007).

Due to this kind of versatility makes the pollen analysis suitable for reconstructing the former vegetation changes in the area of the Sárrét basin located in the western Transdanubian part of Hungary, ca. 50 km East of Lake Balaton. This basin is suited upon loess at a height ca. 104 meters above the sea level. The region was formed by tectonic movements which caused depression of the area. Nowadays the region around the Sárrét basin is highly mined and cultivated therefore the local vegetation disappeared. (Füköh 1988, Cserny *et al.* 2003)



based on previous palinological and malacological studies (Willis *et al.* 1997, Sümegi *et al.* 2007).

Conclusions

Pollen analysis is a very versatile method to reconstruct the former vegetation and infer the human activity in certain area. We examined the marsh of Sárrét in the western Transdanubian region of

Hungary and showed that the coniferous forests were the dominant during the late Pleistocene. Later *Quercus* and other deciduous species displaced the *Pinus* and in parallel with the increasing anthropogenic impacts the ratio of the arboreal was decreased and the non-arboreal species became more abundant.

The research was funded by the project «Excellence in Faculty Research Support-Research. Centre of Excellence, Ministry of 8526-5/2014/TUDPOL

1. Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams. *In: Berglund, B. E. (Szerk.): Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology.* - John Wiley & Sons, Chichester, 1986. - P. 455-484.
2. Beug H.J. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. - Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 2004. - P. 33-506.
3. Birks H.J.B., Birks H.H. Quaternary Palaeoecology - Principles and methods of pollen analysis. - Edward Arnold, London. 1980. - P. 1-33, 66-114, 156-157, 156-192.
4. Cserny T., Sümegi P. Late Quaternary geohistory of Sárrét Basin based on core Sárrét -2 // *Acta Geologica Hungarica.* - 2003. - 46/4. - P. 391-405
5. Füköh L. Biostratigraphic investigations in a Holocene basin of Transdanubia. *In: Pécsi, M. and Starkel, L. (Eds.), Paleogeography of Carpathian Regions.* - Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1988. - P. 123-33.
6. Huntley B., Birks H.J.B. An Atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13000 years ago. - Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
7. Juhász I. The pollen sequence from Sárkeszi I. *In: Zatykó, Cs.- Juhász, I.- Sümegi, P. (Eds.): Environmental Archaeology in Transdanubia. // Varia Achaologica Hungarica XX.* - Archeological Institute of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2007. - P. 367–372
8. Kintzler O. Pollenanalytische Untersuchung von Mooren des westlichen pannonischen Beckens.- Beihefte zum Botanischen Zentralblatt LIV. Heft 3, Verlag von C. Heinrich, Dresden, 1936. - P. 515-546
9. Seppä H. Pollen analysis Principle. *In: Scott, A. A. (Szerk.): Encyclopedia of Quaternary Science.* - Royal Holloway University of London, London, 2007. - P. 2486-2497, 2486, 2487, 2488.
10. Sümegi P. A negyedidőszaki földtani és ökoszisztémazottani alapjai. - JATEPress, Szeged, 2001. - P. 9, 99, 99-109, 102, 102-103, 223-224.
11. Sümegi P. The mollusc remains from Sárkeszi I. *In: Zatykó, Cs., Juhász, I., Sümegi, P. (Eds.): Environmental Archaeology in Transdanubia. Varia Achaologica Hungarica XX.* - Archeological Institute of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2007. - P. 372–377.
12. Sümegi P. The vegetation history of the Sárkeszi area. *In: Zatykó, Cs., Juhász, I., Sümegi, P. (Eds.): Environmental Archaeology in Transdanubia. Varia Achaologica Hungarica XX.* - Archeological Institute of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2007. - P. 377–383.
13. Sümegi P., Herbich K., Imre M. The lithographic sequence from Sárkeszi I. *In: Zatykó, Cs., Juhász, I., Sümegi, P. (Eds.): Environmental Archaeology in Transdanubia. Varia Achaologica Hungarica XX.* - Archeological Institute of Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2007. - P. 365–366.
14. Willis K. J. The Impact of Early Agriculture upon the Hungarian Landscape *In: Chapman J. and Dolukhanov, P. (Eds.), Landscape in Flux. Central and Eastern Europe in Antiquity* - Oxford, 1997. - P. 193-207.

CLADOCERA REMAINS IN MIRE SEDIMENTS — A CASE STUDY ON THE MIRES OF THE GRABIA RIVER VALLEY, CENTRAL POLAND

Dominik Pawłowski

Institute of Geology, Adam Mickiewicz University, Poznan, Poland
E-mail: dominikp@amu.edu.pl

Cladocera are small crustaceans, commonly known as water fleas, which live mostly in lakes and ponds, as well as in water bodies in mires. The remains of this group are preserved in sediments. The presence of Cladocera is generally associated with changes in hydrology, pH, and trophy of waters (Korhola & Rautio, 2001), including changes induced by human impact (Szeroczyńska, 2002). Therefore, these aquatic invertebrates are relatively good bio-indicators for determining and reconstructing the physical and chemical changes in lake environments. This group responds to climate changes significantly quicker than do other proxies, such as pollen.

Peat deposits are an important source of information about changes in the natural environment. Valley mires, too, are very sensitive to changes in humidity, and seem to be suitable sites for the study of climate change. However, the response of river systems to climate change is more dynamic than in the case of lacustrine and peat-bog systems (Kalicki et al., 2008). High water levels create favorable conditions for the accumulation of organic sediments in wetlands. Therefore, their role in fluvial systems as an indicator of changes arising from climatic

fluctuations is well known in the literature (Macklin et al., 2006; Schneider et al., 2007; Notebaert & Verstraeten, 2010), including in the literature concerning Poland (e.g., Starkel et al., 1996, 2006). Despite the fact that most mires in central Poland are located in river valleys, knowledge of Polish mires in river valleys is relatively sparse (Żurek, 1987). Yet sediments from abandoned paleochannels and valley mires may provide good climate indicators in the form of fossils—especially Cladocera remains. Valley mires in small river valleys, such as the Grabia River valley, seem to be appropriate for these studies. The Grabia River is a semi-natural, mostly unregulated river, and a tributary of the Widawka River (within the Odra River catchment). It is located in the central part of the Polish lowlands, in the Łódź region. On the Grabia River valley floor (the floodplain terrace) there are mires and abandoned paleochannels. Sections of sediment from these oxbow-lake infillings have been studied with cladoceran analysis to examine the response of aquatic ecosystems to climate changes. Finally, a reconstruction of the hydrological history of the lowermost reach of Grabia River valley over the last 12,500 years is presented.

This study is supported by a grant from the National Science Centre (NCN), No. 2011/01/B/ST10/04905 (“The role of valley mires in reconstructing paleohydrological events in the light of selected paleoecological studies”)

1. Kalicki T., Sauchy S., Calderoni G., Simakova G. Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: Examples from the upper Dnieper basin, Belarus // *Quaternary International*. - 2008. - 189. - P. 91–105.
2. Korhola A., Rautio M. Cladocera and other branchiopod crustaceans. *In*: Smol J.P., Birks H.J.B. and Last W.M. (Eds) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Zoological Indicators*. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001. - 4. - P. 5–41.
3. Macklin M.G., Benito G., Gregory K.J., Johnstone E., Lewin J., Michczyńska D.J., Soja R., Starkel L., Thorndycraft V.R. Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe // *Catena*. - 2006. - 66. - P. 145–154.
4. Notebaert B., Verstraeten G. Sensitivity of West and Central European river systems to environmental changes during the Holocene: A review // *Earth-Science Reviews*. - 2010. - 103. - P. 163–182.
5. Schneider H., Hoefler D., Mausbacher R., Gude M. Past flood events reflected in Holocene floodplain records of East Germany // *Geomorphology*. - 2007. - 92(3–4). - P. 208–219.
6. Starkel L., Kalicki T., Krąpiec M., Soja R., Gębica P., Czyżowska E. Hydrological changes of valley floor in the upper Vistula basin during Late Vistulian and Holocene. *In*: Starkel, L., Kalicki, T. (Eds.) *Evolution of the Vistula River Valley during the last 15,000 Years, Part VI // Geographical Studies, Special Issue*. - 1996. - 9. - P. 7–128.
7. Starkel L., Soja R., Michczyńska D.J. Past hydrological events reflected in the Holocene history of Polish rivers // *Catena*. - 2006. - 66. - P. 24–33.
8. Szeroczyńska K. Human impact on lakes recorded in the remains of Cladocera (Crustacea) // *Quaternary International*. - 2002. - 95–96. - P. 165–174.
9. Żurek S. Złoża torfowe Polski na tle stref torfowych Europy // *Dokumentacja Geograficzna*. - 1987. - 4. - P. 9–84.

THE VALLEY AND WATERSHED MIRES OF THE LODZ REGION AND THEIR SIGNIFICANCE FOR THE PALAEOECOLOGICAL CHANGES

Sławomir Żurek¹, Ryszard Krzysztof Borówka², Jacek Forysiak³, Marek Kloss⁴, Mariusz Lamentowicz^{5,6*}, Katarzyna Marcisz^{5,6}, Milena Obremaska⁷, Daniel Okupny⁸, Mateusz Płóciennik⁹

¹ Pensionary Professor University Jan Kochanowski in Kielce, Warsaw, Poland

E-mail: jacekteofil@tlen.pl

² Institute of Marine Sciences, Department of Geology and Paleogeography, University of Szczecin, Poland

E-mail: geologia@univ.szczecin.pl

³ Department of Geomorphology and Palaeogeography University of Lodz, Poland

E-mail: jacekfor@interia.eu

⁴ The Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, Poland

E-mail: m.kloss@wp.pl

⁵ Laboratory of Wetland Ecology and Monitoring, Faculty of Geographical and Geological Sciences, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland

*E-mail: mariuszl@amu.edu.pl

⁶ Department of Biogeography and Palaeoecology, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland

⁷ Polish Academy of Sciences, Institute of Geological Sciences, Warsaw, Poland

E-mail: milena.o@o2.pl

⁸ Institute of Geography, Pedagogical University of Kraków, Poland

E-mail: danek_1985@o2.pl

⁹ Department of Invertebrate Zoology and Hydrobiology, University of Lodz, Poland

E-mail: mplociennik10@outlook.com.

In the past ten years was made detailed geological and palaeoecological studies on a dozen or so mires in Łódź Region (Central Poland). Study sites are located in a variety of morphological conditions and have diverse sources of water influx. The paper presents selected two mires: one located in the watershed area, with a ombrotrophic-groundwater influx, and the other mire is located in the river valley, fed by groundwater.

The geology and geomorphology of Rąbień and Kopanicha mires.

The Rąbień mire is located in Central Poland, within the Jaska Plateau, approximately 11 km west of Łódź city. This mire is situated in the direct vicinity of the watershed between the catchments of the Vistula and Oder Rivers. The last ice cover was present there during the Wartanian Stage (Saalian). In Weichselian this area was under periglacial conditions. The peatland occupies a closed-drainage depression, closed to the west and north by dunes. To the east and south there are adjacent slopes of glacial landforms transformed by denudation processes. The migration of dunes in the Late Weichselian resulted in the development of the final shape of the depression. In 2010, detailed geological mapping of the peatland was undertaken. This permitted determination of the deepening of the peatland's basin. The thickness of biogenic sediments reaches 6.2 m (Fig. 1B).

The second peatland - Kopanicha is located on the Jowicko-Biocska Plain, in the western part of

the lower Rawka River valley. Currently, the Rawka River valley floor with its channel runs approximately 1.5 km to the east from the peatland. To the west, the peatland is adjacent to an approximately 8-10 m high steep scarp of an extensive, fluvioglacial plain (Fig. 1c). The scarp developed as a result of fluvial erosion of the meandering Rawka River. Its intensive activity of meandering dates back to the Late Weichselian. Record of the processes constitute three large undercuts left after meanders with the radius of approximately 200-250 m. The left marginal part of the lower terrace and floor of the Rawka River valley were less prone to fluvial erosion in the Holocene, and were occupied by a large valley peatland. Biogenic formations reach the highest thickness (up to 3.7 m) in pools of the palaeomeanders.

Past of mires based on plant macrofossil and pollen analysis

The Rąbień mire sediment sequence divide onto two parts (Fig. 1B., R-II core): palaeolake deposits (620–180 cm), and peat deposits (180-0 cm). The beginning of gyttias accumulation (first stage) starts at 14 980 – 14 500 cal yr BP (Michczyńska et al. 2013). In the uppermost gyttia layers dominate subfossils of *Scheuchzeria palustris*, *Chara* sp., *Nuphar* sp. and *Potamogeton* sp. Shallowing of the lake due to sediment accumulation started with the Subboreal Period. Second - the mire stage (180–170 cm) - hollow transition moss with *Scheuchzeria-Caricetum limosae*. Oligotrophisation and acidification of the habitat prove *Sphagnum*, *Oxycoccus palustris*,

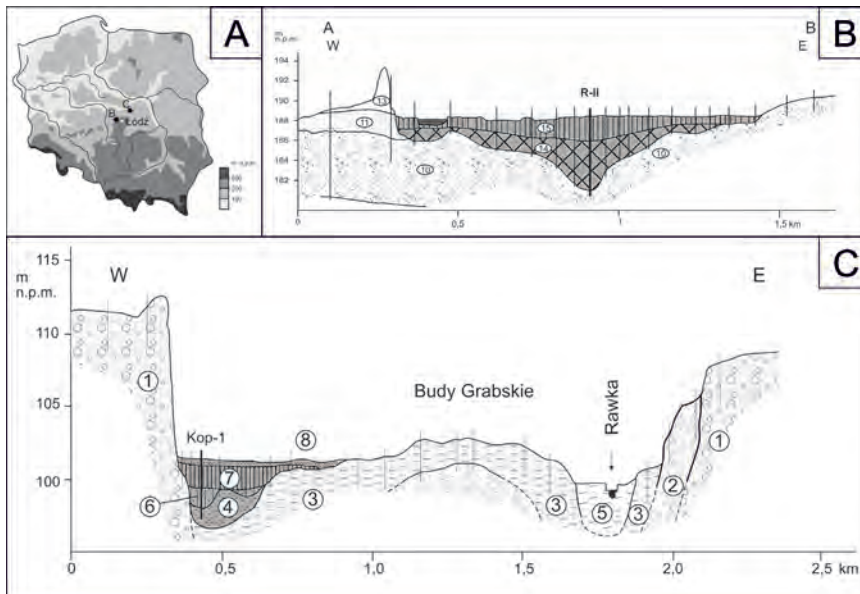


Fig. 1. Study sites:

A. Location study sites.

B. Rąbień mire - geological cross-section: Weichselian: 10 – vari-grained sands with an admixture of silts and gravels Late Weichselian/Holocene: 11 – aeolian sands, 13 – aeolian sands, 14 – gyttja, 15 – peat.

C. Kopanicha mire - geological cross-section: Wartian Glaciation: 1 – fluvio-glacial sands; Upper Pleniveichselian: 2 – vari-grained fluvial sands; Late Weichselian: 3 – fine-grained sands with inserts of organic matter; Late Weichselian/Holocene: 4 – sands with inserts of peat; Holocene: 5 – medium- and fine-grained fluvial sands with inserts of biogenic deposits, 6 – alder swamp peat, 7 – tall-sedge and sedge-moss fen peat, 8 – highly decomposed peat with muck

Eriophorum vaginatum and *Scheuchzeria palustris*. Next (3rd) stage – sphagnum raised bog (170–10 cm) reveal three phases of the habitat development: hommock raised bog - *Sphagnetum magellanici typicum* (with *Oxycoccus palustris* and *Ledum palustre*), *Sphagnetum magellanici typicum* var. *Eriophorum vaginatum* and pine-bog moss - *Sphagnetum magellanici pinetosum*. Last 4th stage - sphagnum birch transition bog - reflect the *Pinus sylvestris* i *Betula pubescens* domination increase. It developed community of the *Betula pubescens* - *Sphagnum fimbriatum* - *Sphagnum fallax*.

Pollen analysis indicate the biogenic accumulation in this basin began in the Late Glacial (Bølling/Oldest Dryas transition). The results of pollen analysis shows that the accumulation was continuous (Fig. 2). The limnic phase of the accumulation lasted to the Atlantic/Subboreal period transition. Then transition and bog developed. The R-II core contain short sequence of sediments from Subatlantic period. It suggested a hiatus caused by peat excavation.

In the Kopanicha mire biogenic accumulation started in condition of shallow stagnant water (first stage). From 274–180 cm depth (Fig. 1C, Kop-1 core) starts gradual transformation of the oxbow to the floodplain alder fen condition (2th stage), with

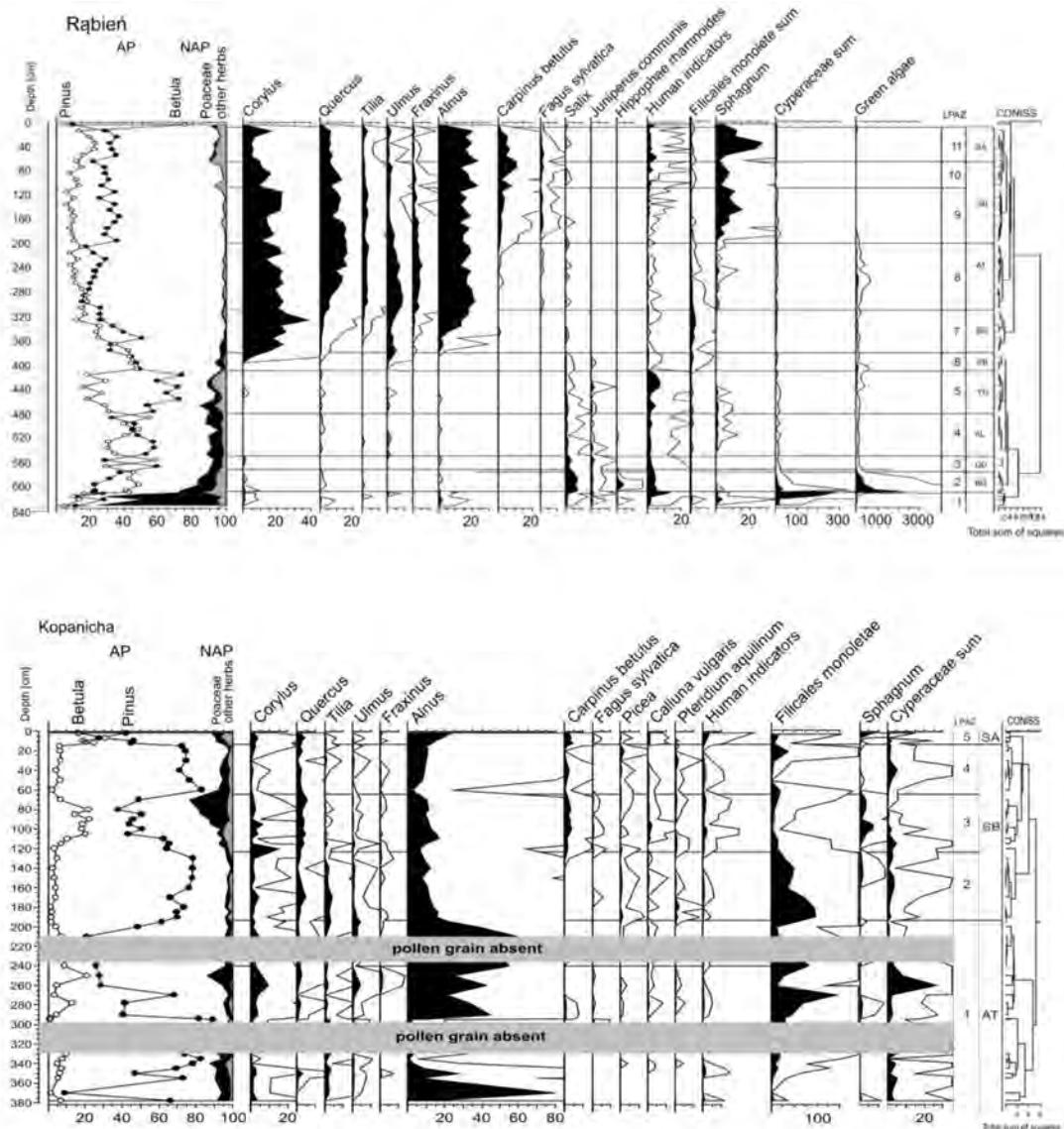
dominant rush and alder vegetation (*Ribeso-Alnetum* → *Thelypteris-Phragmites*). Third stage of the fen development (180–160 cm) reveal succession to tall sedge and reed-fern fen (180–160 cm) - *Caricetum elatae phragmitosum*. Subsequent 4th and 5th stage (160–80 cm) - tall sedge fen (reed sedge fen and sedge-moss fen) characterise communities of *Caricetum lasiocarpae caricetosum elatae* with significant moss and reeds appearance. In the last - 6th stage developed sphagnum-sedge transition bog 80 – 40 cm (*Caricetum lasiocarpae sphagnetosum*) and birch transition bog 40 – 20 cm (*Sphagnum-Phragmites-Pinus*).

The core from Kopanicha mire contain the sediments which were accumulated from the Atlantic period to the modern time (Fig. 2). Unfortunately the sediments are rather strongly decomposed. It influenced on the results of pollen analysis. In the profile there were layers without the pollen

grains. The record of the accumulation is not complete. The pollen spectra composition shows that in the group of telmatic plants Filicales monolet spores and Cyperaceae pollen grains dominated.

Testate amoeba based hydrological reconstruction from Rąbień peatland.

In Rąbień peatland we distinguished four phases of peatland development that were connected with different moisture conditions. Layers dated to ca. 4650–3900 BP showed quite stable moisture with the depth to the water table around 13–15 cm. The most dominant species in TA assemblage were *Archerella flavum*, *Heleopera petricola*, *Hyalosphenia elegans* and *H. papilio*. In the second phase (ca. 3900–2700 BP) we recorded increasing water table fluctuations in the top part (from ca. 3390 BP). We recorded a rise of abundance of *Archerella flavum* and continuous decrease of *Hyalosphenia papilio* and *Heleopera petricola*. Highly fluctuating water table is connected with the occurrence of *Arcella discoides*, species that might be an indicator of hydrological instability. In the third phase (ca. 2700–2150 BP) a dominance of *Archerella flavum* was recorded. Other noted taxa were *Arcella discoides*, *Phryganella acropodia* and *Hyalosphenia subflava*. Water table in this phase was fluctuating considerably (20–0 cm) with a rising



wet trend. After this phase (2150 BP) we recorded a hiatus in peat layers. Top - 20 cm of the peat and fresh *Sphagnum* showed the lowest water table in the profile.

Chironomidae from Rąbień peatland

Analysis of the midge subfossil prove far-going succession of the Rąbień palaeolake in the Weichselian and early Holocene while it paludification in the Subboreal Period. It can be distinguished three main phases of the habitat development. Midge subfossils indicate fully aquatic conditions during late glacial phase. It dominate mainly cold-stenotherm taxa associated with oligotrophic conditions. Since the Holocene transition (410/390 cm core depth) number of head capsules and recorded species rapidly decrease. It emerge assemblage of species typical for shallow, eutrophic and overgrown lakes. The low species diversity and subfossils concentration suggest beginning of paludification and semipermanent aquatic conditions. Since the Late Holocene layers (from ca. 200 cm core depth) only

singular head capsules are collected. Moderately diverse midge fauna is replaced by few species associated with mires and bogs, tolerant to acidification, usually found on mosses and wet soil.

Because of low head capsules concentration in the Holocene section, palaeoclimatic conditions could be reconstructed only for late glacial period. Chironomid inferred palaeotemperatures of the warmest month and Gorczynski continentality index were reconstructed from Heiri et al. (2011) and Self et al. (2011) training sets. The summer temperature ranged from 9–11°C in Oldest Dryas and Bulling to 12–13°C in Older Dryas-Allerød. It can be regarded significant average summer temperature drop in Younger Dryas from 13,1°C to 8,8°C. Continentality index is lower during cold stadials (Oldest Dryas 39, Older Dryas 40,7, Younger Dryas 41,8) and higher in warmer interstadials (Allerød 43,2, Bölling 53,6).

Geochemical data

The geochemical works included: sampling in laboratory conditions; the cores were divided into

sections with a length from 1 cm (at high lithofacial differentiation of sediments) to 5.0 cm (in the case of homogenous sediment). A total of 392 biogenic sediment samples were taken from the four cores (R-2, R-3, R-7 and K-1). For these sediments samples were subjected to the following analyses: loss on ignition at 550°C and the amount of carbonates by means of the Scheibler volumetric method. In this ash, the content of biotic and terigenous silica in the deposits was estimated by removing components soluble in HCl and KOH. For three hundred twenty nine sediments samples were determined (AAS method) eleven elements: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr and Ni. The proportions of these compounds can be used to classify biogenic deposits and to reconstruct change water level, denudation in the peatland catchment. The analysis of change water level applied the content of Fe, Mn, Cu, Zn

and organic material. The relation of the content of sodium to potassium, content of calcium to magnesium and Na+K+Mg/Ca ratio declared indicators of the type mechanical and chemical denudation in the peatland catchment.

Conclusion

Examined mires are located in similar climatic conditions, but in different geomorphological forms, are characterized by different water influx, differing in the type and abundance of water, as well as stability of influx. This affects the continuity of the record in biogenic sediments in Rębniec from the Oldest Dryas to Early Subatlantic and high utility of this site to the regional palaeoecological reconstruction. In the case Kopianicha mire despite the cut-off palaeochannel in the Late Vistulian, peatland began to develop in the Atlantic period and probably functioned to varying intensity to the present.

1. Forysiak J., Borówka R.K., Kloss M., Obremaska M., Okupny D., Żurek S. Geologiczna i geomorfologiczna charakterystyka torfowiska Rąbień oraz wstępne wyniki badań osadów biogenicznych // Acta Geographica Lodzense. - 2012. - 100. - P. 65-76.
2. Heiri O., Brooks S.J., Birks H.J.B., Lotter A.F. A 274-lake calibration data-set and inference model for chironomid-based summer air temperature reconstruction in Europe // Quaternary Science Reviews. -2011. - 30. - P. 3445-3456.
3. Michczyńska D., Forysiak J., Pawiowski D., Piyciennik M., Borówka R.K., Witkowski A., Obremaska M., Siowicki M., Żurek S. Brooks S.J., Michczyński A. The environment changes and chronology of the Late Vistulian (Weichselian) sediments in the Rąbień mire. - Podlesice, Poland, 2013. - 79 p.
4. Pawiowski D., Kloss M., Obremaska M., Szymanowski M., Żurek S. Evolution of small valley mire in central Poland as a result of hydroclimatic oscillation // Geochronometria. - 2012. - 39. - 2. - P. 133-148.
5. Self A.E., Brooks S.J., Birks H.J.B., Nazarova L., Porinchu D., Odland A., Yang H., Jones V.J. The distribution and abundance of chironomids in high-latitude Eurasian lakes with respect to temperature and continentality: development and application of new chironomid-based climate-inference models in northern Russia // Quaternary Science Reviews. - 2011. - 30. - P. 1122-1141.

ORIGIN AND PALAEOECOLOGY OF MIRES IN THE VICINITY OF LAKE WIGRY

Sławomir Żurek¹, Danuta Drzymulska²¹ Pensioned Professor of Jan Kochanowski University in Kielce, Warsaw, Poland

E-mail: jacekteofil@tlen.pl

² Department of Botany, Institute of Biology, University of Białystok, Białystok, Poland

E-mail: drzym@uwb.edu.pl

Lake Wigry located in northeastern Poland, in the territory of Wigry National Park (fig. 1), in due of its size (2187 ha) and depth (72,4 m) arouses interest of many researches. In 1920 Hydrobiological Station was established in Stary Folwark and by 24 years studies on lacustrine fauna and sediments were there conducted. However, investigations of shore mires were omitted. After World War II studies of vegetation and flora of mires were carried on. In 2003 palaeohydrological, botanical and georadar studies were conducted at Suche Bagno bog, (30 ha), located in channel which is a continuation of Krzyżańska Bay of Wigry (Kloss and Żurek, 2005; Żurek and Ziętek, 2004). In the bottom (680 cm) clay gyttja started to accumulate 14 480±70 BP, up

calcareous and detritus gyttja lies under sedge-brown moss peat (from 460 cm), which was accumulated 6670±40 BP. On the fen peat sedge-moss transition peat accumulated 4 125±35 years ago (from 295 cm) and sphagnum hummock medium peat (from 3095±35BP).

Since 2004, with the help of Prof. Jacek Rutkowski from University of Science and Technology (AGH) in Kraków, S. Żurek started to investigate mires in the surroundings of Lake Wigry. In 2004–2012 47 drillings were made at 25 mires (16 – shore mires (303 ha), 1 – Czarna Hańcza river valley (135 ha), 4 – humic lakes (*suchary*), and 2 – buried humic lakes (111 ha), 2 – islands (34 ha). All peat and gyttja monoliths from 38 drillings were signed by S. Żurek

in Laboratory of Jan Kochanowski University in Kielce and sampled for chemical and plant macrofossil analyses. Altogether 687 analyses of ash content (in 550 °C), 687 analyses of pH (in H₂O), and 381 CaCO₃ analyses (Scheibler method) were made in laboratory. In Laboratory of University of Białystok D. Drzymulska made 207 analyses of plant macrofossils in peat and gyttja samples, recognising 8 peat species (sedge, sedge-reed p, sedge-brown moss, alder, transitional sedge-moss transitional *sphagnum*, *sphagnum hollow bog*, and *sphagnum hummock medium bog*). Subfossil plant communities represented several classes of vegetation: *Potametea*, *Phragmitetea*,

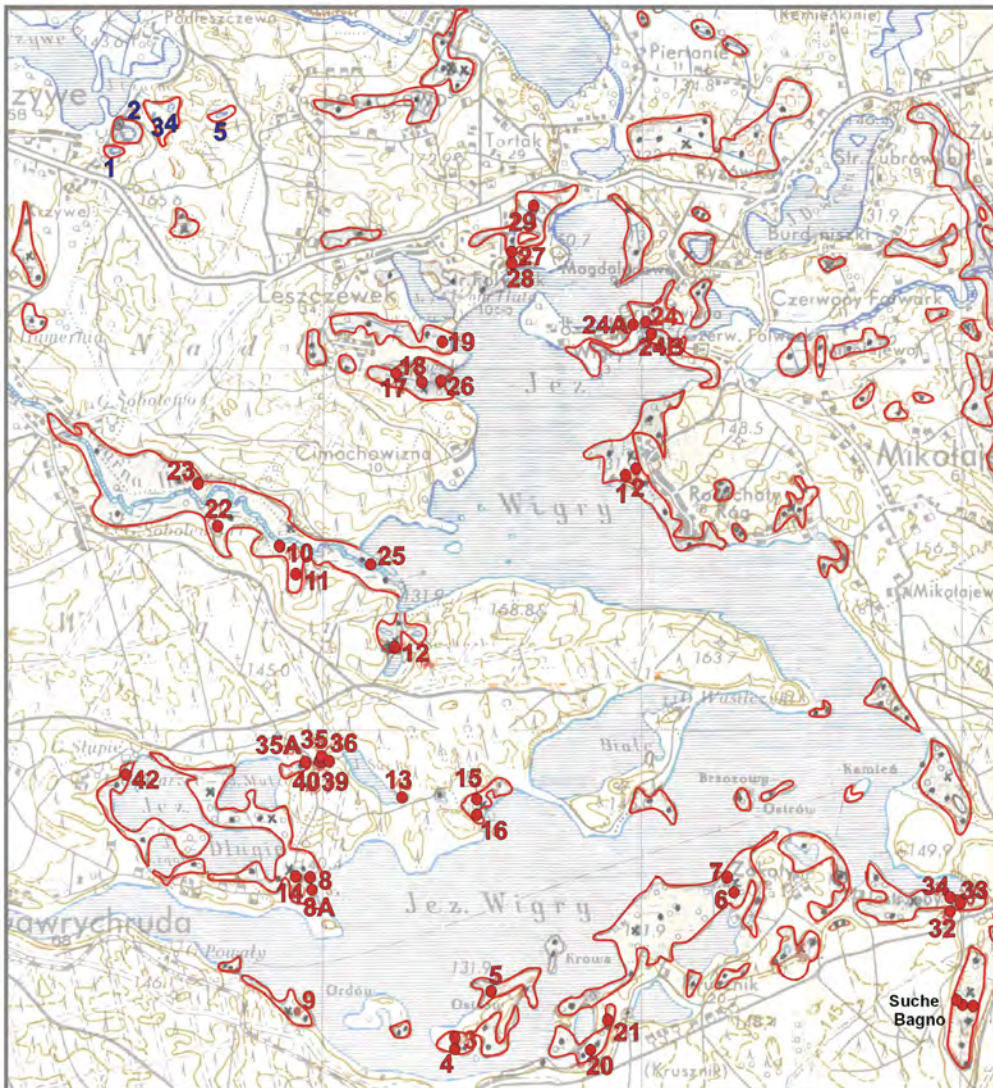


Fig. 1. The Mires nn the vicinity of Lake Wigry

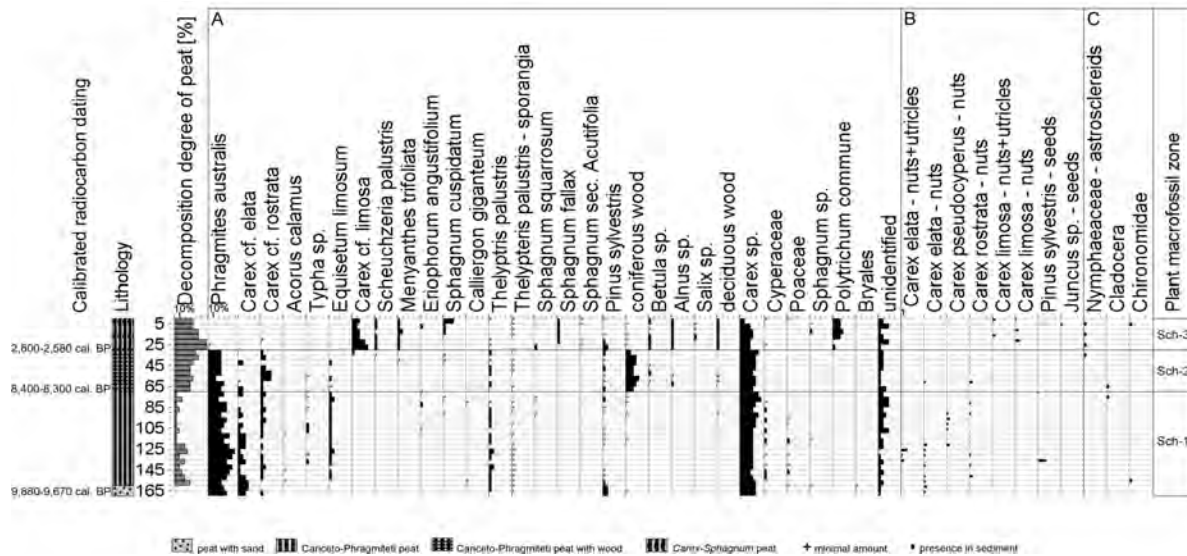


Fig. 2. Lake Sucharek. Diagram of the macroscopic plant remains and decomposition degree of peat. A – vegetative remains, B – generative remains, C – other remains

Alnetea glutinosae, *Scheuchzeria-Caricetea nigrae*, and *Oxycocco-Sphagnetea* (Żurek and Drzymulska, 2009). Over a dozen samples of peat and gyttja were dated by radiocarbon method in Physics Laboratory of Silesian University of Technology (Piotrowska, 2009) and one in Laboratory in Poznan University.

In the region of Lake Wigry two types of mires were recognised till now. Fen peat, mainly sedge (drillings: 1, 2, 19, 24B, 25, 26, 29, 32, 33, 36, 42) or alder (drillings: 3, 4, 6, 9, 17, 18, 20, 24) occurring in lake bays, on broad littoral depressions and on islands lie on thick layers of calcareous gyttja or lacustrine chalk (80–96% of CaCO_3). In some near-shore depressions thin layers of transitional peat accumulated in the roof of the deposits (drillings 5, 7). In two bays of Lake Wigry - Słupiańska (drillings 8, 8A, and 14) and Białczańska (drilling 16), on the layer of calcareous and organic gyttja thick layers of peat accumulated *sphagnum* hummock medium peat. In melt depressions located further from Lake Wigry, often with small humic lakes (*suchary*), bog and transitional peat lies on coarse- and finedetritus gyttja (drilling 13). At two raised bogs (drillings 21, 35) thick layers of hummock medium peat are located on transitional peat and thick layers of organic gyttja. These sediments belong to fossil buried humic lakes. In the western part of Lake Wigry Czarna Hańcza river flows into the lake. Its valley is broad and completely filled by peat. In the vicinity of riverbed sedge-peat accumulated (drillings 10, 23), while in bays of valley transitional peat on calcareous gyttja (drillings 11, 22).

Origin and evolution of Lake Wigry since the last glaciation was as subject of monograph published in 2009 (Rutkowski and Krzysztofiak eds., 2009). Study of shore mires and humic lakes enlarged knowledge concerning this problem. The bottom gyttja Suchar Wielki (drilling 13) started to accumulate 11 630±60 BP (Poz – 35 096), Similar, connected with Allerod

age, was described for peat-like sediment lying under calcareous gyttja in drilling 8, in Słupiańska Bay – 11 920±120 BP (Gd-20 059). Lake water level, 131, 9 m a. s. l. nowadays, was then 7 m lower. The age of the bottom calcareous gyttja from drilling 9, from the southern coast of lake, was 9 860 ±140 BP (Gd-15893), on the depth 6 m. Therefore, lake must exist there from the beginning of the Holocene. During the Late Glacial lake deepened, as a result of gradual melting of dead ice and in the Holocene this process accelerated. In the decline of the Boreal period water level achieved 130 m a. s. l., what is evidenced by peat accumulation in northern part, near Stary Folwark (drilling 29- 8260±150 BP). Near exit of Czarna Hańcza river (drilling 24B) peat occurred 6760±140 BP. Filling by peat of other shore segments took place in the Subboreal and Subatlantic periods (3750±150 BP, 3104±130 BP, 2790±80 BP, 1810±140 BP, 1575±60 BP). In the middle part of the Czarna Hańcza river valley shallow lake (drilling 22) was fully filled by peat 9630±100 BP. In the Neoholocene water level of Lake Wigry increased from 130 to 131, 9 m a. s. l.

The characteristic feature of the vicinity of Lake Wigry is a presence of numerous humic (dystrophic) lakes. In Polish they are known as *suchary* (Stangenberg, 1936). These small water bodies (0.5 – 3 ha) are closed systems, lacking inflows and outflows, with a high amount of humic substances, giving brown water color and low pH (4,0–6,0). Floating mats formed by the roots and rhizomes of vascular plants (*Scheuchzeria palustris*, Cyperaceae, Ericaceae) and *Sphagnum* mosses are a characteristic feature of these lakes., as well as the catchment area overgrown with coniferous forests. Because of the uniqueness of these ecosystems they are protected in the European Union and registered in Appendix I of the Habitat Directive as “Natural dystrophic lakes and ponds” (Anonymous, 2007).

Suchary lakes have been studied in detail using hydrobiological methods. Less attention, however, has been focused on development of foreshore mires. Our study focuses on two humic lakes. Lake Suchar IV (SIV) is characterized by a typical floating mat composed of extremely poor fen and bog vegetation. The second water body - Lake Sucharek (Sch) has floating mats with both peat mosses and vegetation associated with mesotrophic and eutrophic lakes.

The material for the study was collected in the foreshore of these two dystrophic lakes using a Russian sampler (diameter 8 cm). Single cores were drilled in the zone of the firm (non-quaking) mire. The length of cores was as follows: from SIV – 370 cm, and from Sch – 170 cm. The cores were divided into segments of 5 cm. The entire sediment sequence was used for analysis of plant macrofossils. Detailed results of analyses were described and discussed by Drzymulska and Zieliński (2013).

The two peat units identified in the SIV profile were *Sphagnum* peat, and *Sphagnum* peat with *Pinus*. The peat is moderately and strongly decomposed. Three macrofossil zones were identified. In the SIV-1 zone periderm of *Pinus sylvestris*, *Alnus* and *Betula* is recorded (max. 5–10%). In the SIV-2 zone remains of *Sphagnum magellanicum* comprise even 75% of the sediment volume. Periderm and needles of *Pinus sylvestris* reaches 30%. The last zone (SIV-3) is characterized by the domination of *Sphagnum magellanicum* (max. 80%). The three peat units described in the Sch profile were Cariceto-Phragmiteti peat, Cariceto-Phragmiteti peat with wood, and *Carex-Sphagnum* peat (Fig. 2). This peat is slightly, moderately, and strongly decomposed. Three macrofossil zones were noted. The oldest zone (Sch-1) is characterized by the dominance of *Carex* radicles (max. 40% in sample), and remains of *Phragmites australis* (max. 50%). *Carex* cf. *elata* comprises even 25% of the sediment volume. In the Sch-2 zone radicles of *Carex*, *Carex* cf. *rostrata* and remains of *Phragmites australis* dominate achieving

35%, 20% and 25%, respectively. A distinct amount of coniferous wood is noted (max. 25%). The top zone (Sch-3) is characterized by the dominance of *Carex* remains (max. 25%), and *Carex* cf. *limosa* radicles (even 30%).

The peat-forming processes in the studied lakesides began in different periods of the Holocene. The age of bottom sediments was 5,000–4,900 cal BP in SIV, and 9,880–9,670 cal BP in Sch. The peat moss floating mat of Lake Suchar IV occurred after 670–980 AD, and its presence was confirmed by dating 1,020–1,390 AD. In the vicinity of Sch reed-swamp vegetation occurred in the Boreal and Atlantic periods. Pine admixture was noted after 8,400–8,300 cal. BP. Sedge-peat moss floating mat started to exist 2,800–2,580 cal. BP.

The subfossil plant community succession differed in each of the lake shores studied. A rich fen vegetation was only noted in the Sch mire, while the bog phase - at SIV. The following sequences of subfossil vegetation were identified:

SIV: shrub communities of fen? (SIV-1 zone) → peat moss communities of bog (SIV-2, and SIV-3 zones).

Sch: reedswamp vegetation of rich fen (Sch-1, and Sch-2 zones) → communities of moderately poor fen (Sch-3 zone)

The lakes studied have brown waters, but they differ distinctly. Lake Suchar IV exhibited, and still exhibits today, the features of a typical humic lake. Lakes Sucharek should, in light of their past qualities, be classified as atypical humic lake that is on the cusp between dystrophic and eutrophic (Nürnberg and Show 1998).

Based on their history from palaeobotanical data, the following sequences of lake development were identified:

- SIV: humic lake (SIV-1, SIV-2, SIV-3, and present)
- Sch: eutrophic-humic lake (Sch-1, and Sch-2) → humic lake? (Sch-3) → eutrophic-humic lake? (present).

1. Anonymous. Interpretation Manual of European Union Habitats. – EUR 27, European Commission DG Environment, 2007.
2. Drzymulska D., Zieliński P. Developmental changes in the historical and present-day trophic status of brown water lakes. Are humic water bodies a uniform aquatic ecosystem? // *Wetlands*. - 2013. - 33(5). - P. 909-919.
3. Kloss M., Żurek S. Geology of raised mire deposits // *Monographiae Botanicae*. - 2005. - 94. - P. 65-80.
4. Nürnberg G.K., Show M. Productivity of clear and humic lakes: nutrients, phytoplankton, bacteria // *Hydrobiologia*. - 1998. - 382. - P. 97-112.
5. Piotrowska N. Chronologia bezwzględna osadów jeziora Wigry na podstawie datowania radiowęglowego (Absolute chronology of Wigry Lake sediments on the basis of radiocarbon dating. In: J. Rutkowski, L. Krzysztofiak (Eds.) *Jezioro Wigry (Wigry Lake)*, Stowarzyszenie «Człowiek i Przyroda», Suwałki, 2009. - P. 144-156.
6. Rutkowski J., L. Krzysztofiak. *Jezioro Wigry (Wigry Lake)*, Stowarzyszenie «Człowiek i Przyroda», Suwałki, 2009. - P. 1-288.
7. Stangenberg M. Szkic limnologiczny na tle stosunków hydrochemicznych Pojezierza Suwalskiego (Limnological sketch with relation to hydrochemical conditions of the Suwałki Lakeland), Instytut Badawczy Leśnictwa Rozprawy i Sprawozdania A, 1936. - 19. - P. 7-85 (in Polish).
8. Żurek S., Drzymulska D. Torfowiska obrzeżenia jeziora Wigry (Near Shore mires of Wigry Lake). In: J. Rutkowski, L. Krzysztofiak (Eds.) *Jezioro Wigry (Wigry Lake)*, Stowarzyszenie «Człowiek i Przyroda», Suwałki, 2009. - P. 168-176.
9. Żurek S., Ziętek J. Torfowisko Suche Bagno w Wigierskim Parku Narodowym w świetle badań geologicznych i georadarowych. (Suche Bagno mire in the Wigierski National Park in the light of geological and georadar research), *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU*, 2004. - 2. - P. 61-66.

CZERWONE BAGNO MIRE - UNIQUE FRAGMENT OF WETLAND BIEBRZA VALLEY

Siawomir Żurek¹, Marek Kloss²¹ Pensioned Professor of Jan Kochanowski University in Kielce, Warsaw, Poland

E-mail: jacekteofil@tlen.pl

² Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, Warsaw, Poland

E-mail: m.kloss@wp.pl

In the Polish Lowland there are characteristic wide and usually parallel valleys, formed at the ice sheet margin during the last glaciation by confluent meltwaters (from the north) and the periglacial stream (from the south). In eastern Poland there was only a single northeastern-southwestern ice marginal valley (now used by Biebrza and Narew rivers). The Biebrza Valley is surrounded from the east, south and west by moranic plateau of the Wartian Glaciation (in Russian Moscovian Glaciation – Markov, 1965). In the north it contacts with a moranic plateau and outwash last (Baltic) Glaciation. The geomorphological studies in the whole Biebrza ice-marginal valley were published in several papers (Żurek 1975, 1984, 1991). In Biebrza Valley to distinguish three large areas: Upper Biebrza Basin, relatively narrow (1–3 km) and 40 km long, Middle Biebrza Basin, trapezium-like Basin 40 km long and 20 km wide (Żurek, 1983), and Lower Biebrza Basin forms a meridional channel 30 km long and 12–15 km wide (Fig. 1).

The peats distinguished in the Biebrza Valley are genetically associated with vegetation communities

of four large systematic-phytosociological groups. They include:

- reed and tall-sedge immersion communities of the Phragmitetea class (reed and sedge peats),
- scrub and forest communities of the class *Alnetea glutinosae* (osier and alder peats),
- mossy and sedge-mossy communities of emersion fens of the class *Scheuchzeria-Caricetea nigrae* (sedge-moss peat)
- raised bog communities of the *Vaccinio – Picetea* class (raised bog peats).

Reed and tall-sedge peats dominated in Middle Basin, sedge-moss in Upper Basin, osier and alder peats in Lower Basin (tab. 1). Raised bog peats occur in local watershed zones, for example Czerwone Bagno natural reserve in Middle Basin (fig. 1). It occupies 0,2 % of the total peatland area. In the Czerwone Bagno raised bog peat form only the surface parts of the deposit to about 20–35 cm deep and are usually directly underlain by the transition and fen sedge-moss peat (fig. 2). Their formation is connected with *Sphagnum* hollow bog peat with bog wood communities *Vaccinio uliginosi-Pinetum*

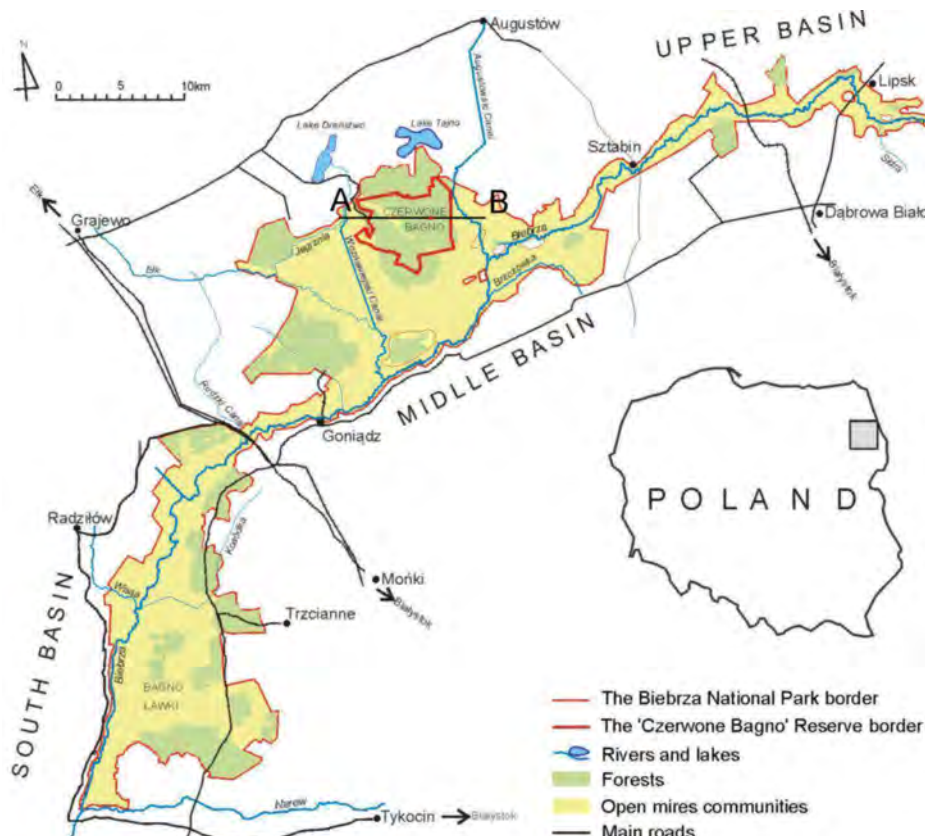


Fig. 1. The Czerwone Bagno Reserve versus Biebrza Valley

Table 1. Areal characteristics deposits of peat in Biebrza Valley (Liwski et al, 1984)

Basin	Type of the primary peat environment						
	Fen in ha					Raised bog in ha	Together in ha
	reed	tall-sedge	sedge-moss	osier	alder		
Upper	2155 15,3%	3033 21,6%	7205 51,3%	1633 11,6%	-	28 0,2%	14054 100%
Middle	29211 65,1%	3100 6,9%	2645 5,9%	1130 2,5%	8700 19,4%	65 0,2%	44851 100%
Lower	2960 12,7%	750 3,2%	780 3,3%	7570 32,5%	11170 48,0%	50 0,2%	23280 100%
Together	34326 41,8%	6883 8,0%	10630 13,0%	10333 13,0%	19870 24,0%	143 0,2%	82185 100%

on the surface (Jasnowski, 1952, Paiczyski, 1975). Stratigraphic cross-section through Czerwone Bagno mire was published in 1990 (Żurek, 1990).

In 2007 stratigraphic and palaeobotanical research was conducted in the 'Czerwone Bagno' mire in the Biebrza National Park. A one full sediment core from the central part of the mire was collected (Tabl. 2). Eight main stages of the mire's development were identified.

Record of vegetation changes in biogenic sediments.

Stage 1 – Brown moss /fen / mire (426-385 cm).

The *Scorpidium scorpioides*-*Pinus sylvestris* plant community was identified in the initial phase of the mire's development. It was at the beginning of the Allerød interstadial (11810±35 years BP). As the water table in the habitat had gone up, pine retreated from the phytocoenoses. The next phase was characterized by open brown moss communities, mostly built by *Scorpidium scorpioides*. Moss was accompanied by e.g. *Carex lasiocarpa*, *Carex rostrata*, *Carex nigra*, *Menyanthes trifoliata*, *Phragmites australis* and *Equisetum fluviatile*. The species composition of the peat-forming phytocoenoses suggests that the waters feeding this part of the mire was moderately fertile and weakly-acidic. Treeless, mesotrophic sedge-moss communities with a large share of brown mosses in the phytocoenoses structure and

a limited significance of sphagnum mosses formed the main component of the plant cover in the mires of late-glacial tundra in Poland (Jasnowski, 1957a, b; Kloss and Żurek, 2004).

Stage 2 – Lake (385-270 cm).

The lacustrine development stage of the mire lasted from Younger Dryas till the middle of the Atlantic period. The mire was flooded ca. 10825±35 years BP. At the depth of 3.15-3.00 m of the profile, a layer of sedge-moss peat was identified, with such species as *Carex lasiocarpa*, *Menyanthes trifoliata*, *Phragmites australis*, *Drepanocladus sendtneri*, *Scirpus lacustris* and *Chara* sp. The presence of this peat layer indicated on temporarily shallowed of the lake. The raising of the water level and the flooding of the floating mat caused again an accumulation of lacustrine sediments.

Stage 3 – Sedge-moss /fen / mire (270-175 cm).

This stage started from the middle Atlantic period. Mesotrophic sedge-moss *Caricetum lasiocarpae* phytocoenoses encroached upon the sediment-filled lake. The habitat was permanently and heavily waterlogged. The accumulation of sedge-moss peat ended about 5800 years BP.

Stage 4 – Tall sedge /fen / mire (175-115 cm).

This stage took place in the first half of the Subboreal period. Eutrophic *Caricetum elatae* phytocoenoses had spread on the mire. Permanent

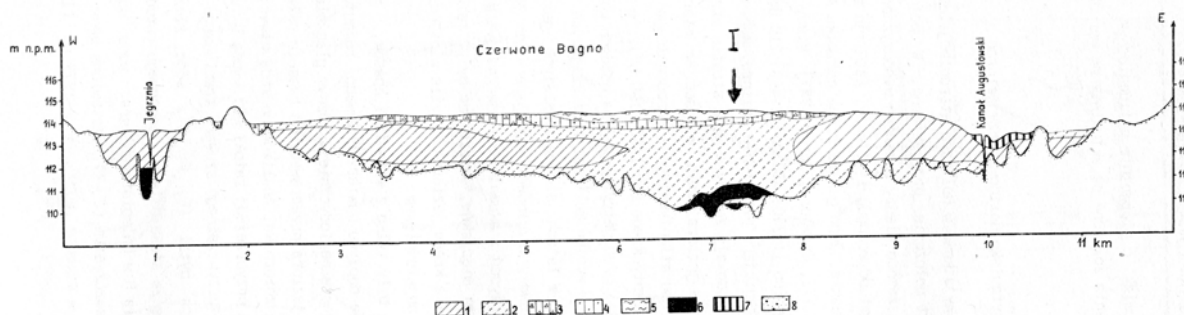


Fig. 2. Stratigraphical geological cross-section of the Czerwone Bagno mire (Żurek, 1990)

1 – tall-sedge and reed swamp peat, 2 – mossy-swamp peat, 3 – alder wood peat, 4 – birch – wood peat, 5 – raised bog peat, 6 – gyttja, 7 – mud, 8 – finegrained sand

Table 2. Stratigraphic profile no. I Czerwone Bagno

Profile I anal. M.Kloss	% share of plant macrofossils																	
	Depth [cm]	Decomposition degree [%]	<i>Sphagnum magellanicum</i>	<i>Sphagnum s. Sphagnum</i>	<i>Sphagnum fallax</i>	<i>Sphagnum s. Cuspidata</i>	<i>Sphagnum teres</i>	<i>Sphagnum s. Acutifolia</i>	<i>Oxycoccus palustris</i>	<i>Ledum palustre</i>	<i>Ericaceae</i>	<i>Eriophorum vaginatum</i>	<i>Carex nigra</i>	<i>Carex diandra</i>	<i>Carex lasiocarpa</i>	<i>Carex rostrata</i>	<i>Carex elata</i>	<i>Carex appropinquata</i>
0-5	20	+		85	+			+	+	1	1	+		+				
5-8	20	+		80	+			+	+	2	5			+				
13-20	30	5		60	+			+	+	4	15	+		+				
20-23	35	15		30	+			+		2	12	2		5	2			
27-32	45	19		5	+		1			1	8		2	14	2			
40-43	45	3		7	+		+			2	5	5	2	15	2			
43-50	40	4		10	1	+	+				6		2	30	15	5		
52-60	40		+	30	+	5	+				12	+	+	20	7	5		
62-65	35			1	+								3	50	5	25		
72-75	35		+	3	+	+	+						2	50	4	20		
80-85	40				+								3	45	4	25		
90-95	35		+		+								2	50	3	25		
110-115	30		+	+	+								+	50	3	30		
125-130	30		+		+									30	2	43		
140-145	35				+									30	2	40	+	
152-157	35				+									28	2	40	+	
170-175	30				+									30	3	35		
190-195	30		+		2									30	10	20		
202-207	30		+		1									35	5	15		
225-230	30				+									40	7	10	+	
240-245	30				2									40	4	6		
255-270	30				1								+	35	8	7		
270-272														+	+	+		
278-283														+	+	+		
295-300					+									+	+			
300-315	30			+	2									35	6	6		
320-322				+	+									+	+	+		
372-375					2							+		+				
377-385					3							2		4	+			
385-390	35				+							+		3	2			
393-398	40				+							1		3	2			
407-412	25				2							+		5	3			
422-426	50		+	+	5							2		3	3			

Table 2. Stratigraphic profile no. 1 Czerwone Bagno (Continuation)

Profile I anal. M.Kloss Depth [cm]	% share of plant macrofossils																			
	<i>Carex</i> sp	<i>Menyanthes trifoliata</i>	<i>Comarum palustre</i>	<i>Drepanocladus sendtneri</i>	<i>Thuidium</i> sp	<i>Drepanocladus</i> sp.	<i>Straminergon stramineum</i>	<i>Polytrichum strictum</i>	<i>Meesia triquetra</i>	<i>Brachythecium</i> sp.	<i>Calliergon giganteum</i>	<i>Calliergon</i> sp.	<i>Scorpidium scorpioides</i>	<i>Bryopsida</i>	<i>Polypodiales</i>	<i>Equisetum fluviatile</i>	<i>Phragmites communis</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Pinus sylvestris</i> (wood)	<i>Pinus sylvestris</i> (bark, needle)
0-5	+					2	+							+					4	
5-8	+	+				3								+					5	
13-20	+	+				2			2					1					6	
20-23	1	10				1			+					1	+				4	
27-32	2	7				+			+					2	2			+	5	
40-43	6	5				+								1	1		+		23	
43-50	3	2												+					1	
52-60	3	+				1								+	2		2		4	
62-65	2	1													2		2			
72-75	9	+				+								+	3		+	+		
80-85	8	+										+		+	3	+	1	+		
90-95	10													+	4	+	1	+		
110-115	7	+												+	3		2			
125-130	5	+				+									2		10			
140-145	3													+	3		15	+		
152-157	5		+											+	2		15			
170-175	2	+		2								+		4	4		12			+
190-195	5	3		3				3		3				3	4	+	9	+		
202-207	5	4		8				2		+	4			6	5		6	+		
225-230	8	10		6				+		2				2	6		5			
240-245	5	20	+	1				+			+			3	4		8			
255-270	5	18		5										2	6		6			
270-272	+	+				+								+	+					
278-283	+	+												+	+		+			
295-300	+	+				+								+	+		+			
300-315	3	10		6										2	6		10			
320-322	+	+																		
372-375	10	4			+						+		+	30	4	+	2			
377-385	3	3		2	+						3		55	5	4	+	6			+
385-390	1	4		+							10		65	5	3		+		+	
393-398	4	5		3							8		55	4	3	+	2		+	
407-412	2	1				+					10		60	5	3	+	1		1	
422-426	4	1		11	+						4		20	5	+		2		15	

Table 2. Stratigraphic profile no. I Czerwone Bagno (Continuation)

Profile I anal. M.Kloss	% share of plant macrofossils									Genus of peat; species of peat	Subfossil plant communities	
	Depth [cm]	<i>Betula pubescens</i> (wood)	<i>Betula pubescens</i> (bark, leaf)	<i>Potamogeton natans</i>	<i>Chara sp.</i>	<i>Nuphar lutea</i>	<i>Najas sp.</i>	<i>Scirpus lacustris</i>	<i>Pediastrum</i>			Unidentified
	0-5									7	Ombro-Sphagnioni	<i>Sphagnum fallax</i>
	5-8		+							5		
	13-20		+							5		
	20-23		10							5	Betulioni	<i>Sphagnum - Betula pubescens</i>
	27-32		14							15		
	40-43		5							18		
	43-50		5							16	Minero-Sphagnioni; Sphagno-Cariceti	<i>Caricetum lasiocarpae sphagnetosum</i>
	52-60		2							7		
	62-65		1							8	Bryalo-Parvocaricioni; (Parvo-)Cariceti	<i>Caricetum lasiocarpae caricetosum elatae</i>
	72-75		2							7		
	80-85									11		
	90-95		+							5		
	110-115		+							5		
	125-130		+							8	Magnocaricioni; Cariceti	<i>Caricetum elatae</i>
	140-145									7		
	152-157		+							8		
	170-175									8		
	190-195									5	Bryalo-Parvocaricioni; Carici-Bryaleti	<i>Caricetum lasiocarpae typicum</i>
	202-207		+							4		
	225-230									4		
	240-245									7		
	255-270									7		
	270-272			+	+	+		+			gyttja	<i>Potamotea, Charetea</i>
	278-283			+	+	+	+					
	295-300			+			+					
	300-315				+			+		14	Carici-Bryaleti	<i>Caricetum lasiocarpae</i>
	320-322				+	+	+				gyttja	<i>Potamotea, Charetea</i>
	372-375			+	10	+		+		38		
	377-385		+	+	2			+		8		
	385-390									7	Bryalo-Parvocaricioni; Bryaleti	<i>Scorpidium scorpioides</i>
	393-398									10		
	407-412		+		+		+			7		
	422-426		+							25	Bryaleti (with sand)	<i>Scorpidium-Pinus sylvestris</i>

components of this community included: *Carex elata*, *Carex lasiocarpa* and *Phragmites australis*.

Stage 5 – Sedge-moss /fen / mire (115-60 cm).

This stage lasted from the end of the Subboreal period and through the first half of the Subatlantic period. During this phase drop in the fertility of water feeding the mire occurred. Phytocoenoses of the association *Caricetum lasiocarpae* expanded on the mire surface. An essential component of this community was *Carex lasiocarpa*. Other fairly constant sedges were *Carex rostrata* and *Carex diandra*. At the same time, the share of *Carex elata* and *Phragmites australis* had decreased considerably.

In the half of the Subatlantic period the water management in wetland changed. Hydrological relations on the surface of the mire were shaped by ascending waters and those filtrated by the deposit. The site underwent gradual oligotrophisation.

Stage 6 – Sphagnum-sedge transitional mire (60-43 cm).

Impoverishment and acidification of habitats were confirmed by the appearance of sphagnum moss and *Eriophorum vaginatum* which, together with sedges (*Carex lasiocarpa*, *Carex rostrata*), formed the *Caricetum lasiocarpae sphagnetosum* community.

Stage 7 – Sphagnum-birch transitional mire (43-20 cm).

This stage coincided with the period of the so-called Little Ice Age and deteriorating climate conditions. The *Sphagnum-Betula pubescens* forest community was identified on the mire. The underground water level decreased in the mire's area, fostering tree growth.

Stage 8 – Sphagnum-pine mire (20-0 cm).

The most recent mire development stage approximately covers the period of the last 150 years. In the mid-nineteenth century, two draining waterways, the Wołnawień and the Augustyw canals, were built in the vicinity of the 'Czerwone Bagno' mire. The decline of the groundwater level increased the separation of the mire's surface from the groundwater influence and exposed its situation as a watershed. As a result of these changes, there occurred a further increase in the habitat impoverishment and acidification. In respect of the phytocoenoses, these changes were confirmed by an increased share of peat mosses, mostly *Sphagnum fallax*, and the presence of *Eriophorum vaginatum*. The forest community *Sphagnum fallax-Pinus sylvestris* was characterized by contribution of dwarf shrubs: *Ledum palustre* and *Oxycoccus palustris* also. The share of *Betula pubescens* and minerotrophic peat plants decreased visibly.

1. Jasnowski M. Flora mszakyw rezerwatu Czerwone Bagno (The flora of Bryophytes li the Reservation of „Czerwone Bagno”) // Ochrona Przyrody. - 1952. - № 20. - P.118–133.
2. Jasnowski M. Flora mchyw z czwartorzdkowych osadyw torfowisk reofilnych. (Moosflora quartdrer Flachmoorablagerungen) // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 1957a. - 26, 3. - P. 597–629.
3. Jasnowski M. Calliargon trifarium Kindb. w ukiadzie stratygraficznym i florze torfowisk holocceckich Polski. (Calliargon trifarium Kindb. in der Stratigraphie Und Flora der holozdnen Niedermoore Polens) // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. - 1957b. - 26,4. - P. 701–718.
4. Kloss M., Źurek S. Polish mire vegetation of Late-Glacial Period versus contemporary tundra vegetation. In: The future of Polish mires. - Agricultura University of Szczecin. Szczecin, 2004. - P.19–29.
5. Liwski S., Maciak F., Okruszko H., Churski T., Gotkiewicz J., OŹwit J., Pacowski R., Szuniewicz J., Źurek S. Characteristics of soil formation and soils and their evolution due to draining and different utilization // Polish Ecological Studies. - 1984. - 10, 3–4. - P.313–346.
6. Markov K.K. Rajon Evropejskogo Lednikovogo lъиita. In: K.K. Markov, G.I. Lazukov V.A. Nikolajev. Chetvertichnyj period. T.I. - Izd. Moskovskogo Universiteta, Moskva, 1965. - P. 37–150.
7. Paiczyski A. 1975. Bagna Jажwieskie. (Jажwieskie Sьmpfe). / Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D, Monografie 145. P.1–232.
8. Źurek S. 1975. Geneza zabagnienia Pradoliny Biebrzy (Genesis of bog formation in the Biebrza Urstromtal). Prace Geograficzne IGIPIZ PAN, 110. P.1–107.
9. Źurek S. 1983. Charakterystyka geomorfologiczna basenu Źrodkowego Biebrzy. (Geomorphological characteristic of the Middle Biebrza River basin). Zeszyty Problemowe Postkpyw Nauk Rolniczych 255. P.13–31.
10. Źurek S. 1984. Relief, geologic structure and hydrography of the Biebrza ice-marginal valley. Polish Ecological Studies 10, 3-4. P.239–251.
11. Źurek S. 1990. ZwiŹzek procesu zatorfienia z elementami Źrodowiska przyrodniczego wschodniej Polski. (Interrelation between the peat-forming process and the elements of natural environment eastern Poland). Roczniki Nauk Rolniczych, Seria D, Monografie 220. P.1–174.
12. Źurek S. 1991. Geomorfologia Pradoliny Biebrzy (Geomorphology of the Biebrza Ice-marginal Valley). Zeszyty Problemowe Postkpyw Nauk Rolniczych 372. P.29–62.

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ
В ГОЛОЦЕНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТИГЕРТЫШСКОГО ГОРНОГО УЗЛА)
NEW DATA ABOUT EVOLUTION OF PEATLANDS IN KUZNETSKALATAU MOUNTAINS
DURING HOLOCENE (THE EXAMPLE OF TYGERTYSH MOUNTAIN JUNCTION)**

М.М. Адаменко, Я.М. Гутак*

M. Adamenko, Ya. Gutak*

Кузбасская государственная педагогическая академия, Новокузнецк, Россия

Kuzbass State Academy, Novokuznetsk, Russia

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

*E-mail: adamenko.marina@gmail.com

Горы Кузнецкого Алатау расположены на стыке двух крупных физико-географических стран – Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной страны, являясь северо-западным форпостом последней. В отношении палеогеографии плейстоцена-голоцена этот район является крайне слабо изученным. При этом Кузнецкий Алатау вполне мог бы выступать «мостом», позволяющим сопоставить палеогеографические события двух крупных регионов Сибири, что способствовало бы пониманию планетарных закономерностей динамики климата в плейстоцене-голоцене.

С 2002 года авторами ведется исследование масштабов оледенения и динамики климата Кузнецкого Алатау в позднем плейстоцене – голоцене. Поскольку торфяники являются надежным

источником палеогеографической информации, была изучена структура торфяных толщ высокогорных болот. Полученные материалы имеют также важное значение для понимания процессов торфонакопления и болотообразования в Кузнецком Алатау и эволюции этих процессов в голоцене.

Кузнецкий Алатау отличается своеобразием рельефа и ландшафтов. Наибольшие высоты превышают 2100 м и сконцентрированы на юге – в пределах Тигертышского горного узла (рис. 1). Это горный массив, поднимающийся над границей леса с обилием скальных выходов коренных пород, каменными морями, курумами, и широким набором элементов горно-гляциального комплекса. Здесь доминирует средне-позднеплейстоценовый

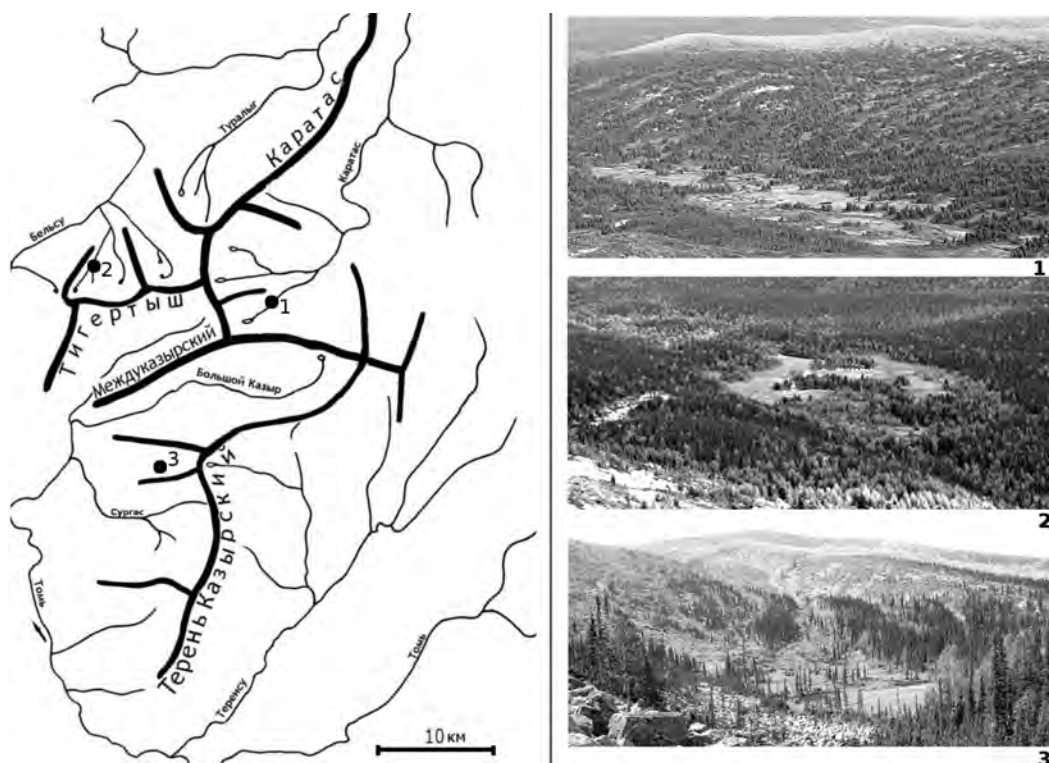


Рис. 1. Геоморфологическая схема Тигертышского горного узла.

Пунсонами показано расположение описываемых болот: 1 – Бол. Хунухузук, 2 – Озерная, 3- Чабылпут



Рис. 2. Взаимосвязь болот с гляциальным рельефом в истоках р. Каратас. 1- кары, 2 – моренные валы, 3- болота, 4 – снежно-ледяные образования, 5 – озера, 6 – осевые отроги

экзарационный рельеф и аккумулятивный рельеф позднеплейстоценовых морен. Большое количество осадков, достигающее в осевой части узла (3000–4000 мм (Шпинь, 1975)), и широкое развитие моренного рельефа способствует повсеместному развитию в пределах западного макросклона высокогорных торфяников.

В результате полевых исследований было установлено, что распространение болот, история их развития, структура торфяных залежей тесно взаимосвязана с гляциальной историей района. Наиболее мощные торфяники (до 3 и более метров) приурочены к проксимальным краям фронтальных морен. В пределах плейстоценовых моренных комплексов, как например в истоках р. Каратас и её притоков – ручьев Бол. и Мал. Хунулхузухи – расположена целая серия болот, занимающих понижения между моренными валами (рис. 2). При этом болота имеют ровные округлые очертания, резко контрастирующие с пихтовым лесом, покрывающим моренный вал. Иногда подобные болота занимают нижнюю ступень каровых лестниц, как например, в верховьях ручья Чабылпут. Изучение стратиграфии подстилающих торфяники отложений показало, что болота здесь залегают на озерно-ледниковых слоистых глинах и маркируют котловины древних морено-подпрудных озер, существовавших на рубеже плейстоцена-голоцена. Ярким примером подобных болот являются торфяники в долинах руч. Большой Хунулхузух и реки Озерная. Разрезы этих отложений представлена на рис. 3.

Болота подобной морфологии описаны в Кузнецком Алатау и ранее. Так, И.И. Волкова в Центральной части Кузнецкого Алатау среди прочих типов отмечает тип каровых болот, «возникших

путем зарастания каровых озер» [1, с. 17]. Однако, из полученных нами данных следует, что формирование болот здесь генетически не связано с существовавшими в прошлом озерами. Данные озера в прошлом получали непосредственный сток с деградирующих ледников. Ванны их заполнились продуктами твердого стока еще в период позднеледнековья – раннего голоцена. В нижней части это озерно – ледниковые слоистые осадки, лежащие на щербенистой фракции (вероятно донной морене), в верхних горизонтах – часто крупный песок или мелкий галечник. Болота здесь начинают развиваться значительно позднее и часто несколько раз, в период способствующих этому климатических эпох. Озерно-ледниковые осадки выступали водоупором и способствовали заболачиванию. Образование болот путем зарастания озер наблюдалось нами только в лесном поясе в морено-подпрудных озерах между валами, предположительно древнего дриаса, в долине р. Каратас. Эти озера, являясь нижними в цепочке морено-подпрудных озер, получали мало твердого материала, заивались и заболачивались постепенно.

Исходя из полученных данным, торфонакопление началось в Кузнецком Алатау значительно раньше, чем отмечает И.И. Волкова. Согласно приводимым ей датировкам болот у каровых озер Чудное и Пихтерекское «возраст залегающего над сапропелем слоя топяноосокового — гипнового — сфагнового торфа... составляет 4670 ± 40 лет» [Волкова, 2001]. Датировки торфа из разреза борта руч. Большой Хунулхузух и Озерной показывают, что торфообразование в высокогорье Кузнецкого Алатау началось еще в бореальном периоде. Это синхронно с началом торфонакопления в Западной Сибири, где непрерывное торфонакопление начинается с середины бореального периода. Самая древняя датировка торфа на территории Западной Сибири составляет 9900 ± 100 лет [Инешева, 2013].

Описанный нами торф бореального периода голоцена сильно отличается от современного высоким содержанием древесной составляющей. Это указывает на то, что в районе 8000 тыс. л. н. климат Кузнецкого Алатау был теплее и суше современного. В понижениях рельефа и в условиях плохого дренажа (как например, на слое озерных глин морено-подпрудных озер позднеледнековья) развивались заболоченные леса по типу согры. Современные процессы торфообразования начались в Кузнецком Алатау в районе 5000 тыс. лет назад и связаны с похолоданием и усилением увлажнения. Согласно полученной датировке нижней границы слоя современного торфа имеют возраст 5200 ± 85 лет.

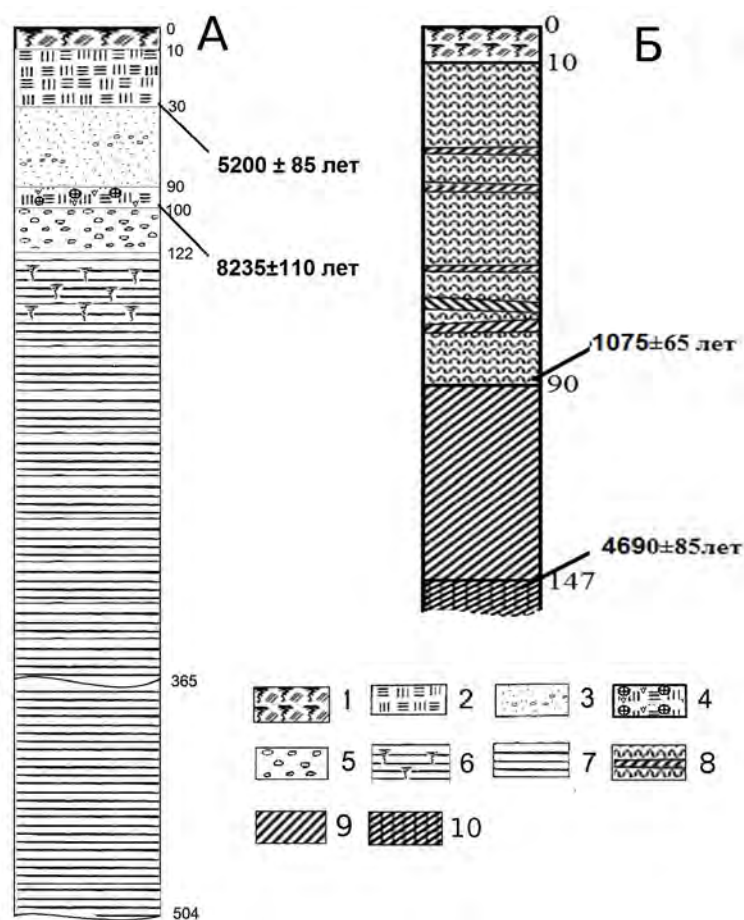


Рис. 3. Схемы разрезов торфов и подстилающих их отложений. А – руч. Бол. Хунулхузук; Б – р. Озерная. 1 – растительный слой, 2 – торф травяно-моховой; 3 – песок крупный бурый с прослойками галечника; 4 – сильно ожелезненный торф с высоким содержанием древесины (40-45 %); 5 - мелкий плохо окатанный галечник с крупным песком; 6 – ленточные озерно-ледниковые глины с высоким содержанием растительной органики; 7 - ленточные озерно-ледниковые глины; 8 – оранжево-бурый моховой торф с прослойками бурого травянистого торфа; 9 – серо-коричневый травяной торф высокой степени разложения; 10 – травяно-древесный торф с обилием остатков древесной растительности (преимущественно ольхи)

Для изучения климата суббореала и субатлантики голоцена репрезентативными выступают торфяники в долине р. Озерной. В верхнем слое торфа четко выделяются две границы, соответствующие резким изменениям климата. На рубеже 4700 л.н. происходит переход от атлантики к суббореалу. В результате похолодания климата и увеличения продолжительности залегания снега согревые ландшафты здесь сменяются травяным болотом. Четко выделяется также граница перехода к Малой ледниковой эпохе (1075±65 лет). Происходит общее похолодание и увлажнение климата, в результате развиваются преимущественно моховые болота.

Скорость торфонакопления в горных болотах Тигертышского горного узла в течение голоцена варьировала, что обуславливалось в первую очередь местными условиями. Так, в долине руч. Большой Хунулхузук (абсолютная высота 1160 м) средняя скорость накопления верхнего, продолжающего свое формирование слоя торфа (мощность 20–30 см), составляет 0,03 – 0,05 мм/год. Скорость накопления древесного торфа бореального периода оценить сложно, ввиду его небольшой мощности. Кроме того, вероятно, здесь имеет место спрессовывание торфяной толщи, что характерно для погребенных голоценовых торфяников в долинах рек. В долине р. Озерная, расположенного от болота Большого Хунулхузук на расстоянии 16 км и залегающего практически на тех же абсолютных высотах (1090 м) средняя скорость торфонакопления на порядок выше и составляет 0,3 мм/год.

1. Волкова И.И. Горные болота заповедника «Кузнецкий Алатау»: Автореф. ... дис. канд. биолог. наук. Томск, 2001. - 142 с.
2. Инешева Л.И. Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // Вестн. Том. гос. ун-та. - 2013. - №366. - С.172–179.
3. Шпинь П.С. О снежном покрове и количестве осадков в южной части Кузнецкого Алатау // Гляциоклиматология Западной Сибири. – Л.: Изд-во географического общества СССР, 1975. - С. 74 – 88.

ГЕНЕЗИС И ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ БОЛОТ В ГОЛОЦЕНЕ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОНДИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ)

GENESIS AND PALAEOECOLOGY OF PEAT BOGS DURING HOLOCENE ON THE NORTH-WEST OF THE KONDINSKY LOWLAND (WEST SIBERIA, RUSSIA)

Т.Г. Антипина*, Н.К. Панова

T.G. Antipina*, N.K. Panova

Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия,

Botanical Garden UB RAS, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: antanya1306@mail.ru

Район исследования входит в Кондо–Тавдинскую провинцию подзоны среднетаежных сосновых лесов, включая верховья долины реки Конды с ее притоками Большая Умытъя, Окуневая, Енья и озерами Арантур, Ершовое, Большое и др. (Комплексное районирование..., 1980). Заболоченность территории – свыше 60 %. Леса группируются компактными массивами в долинах рек и прилегающих участках коренных берегов. Водоразделы и поймы чаще заболочены. Климат района континентальный с умеренно-теплым летом и холодной зимой.

Объектами исследования были торфяные болота, расположенные в поймах рек или примыкающие к берегам озер. Полевые работы проводились совместно с сотрудниками Института истории и археологии УрО РАН, в связи с поисками и разведкой торфяниковых археологических памятников. Большая часть таких памятников является шлейфами культурных слоев береговых стоянок, располагающимися непосредственно в торфяно-сапропелевых отложениях. Особенностью озерно-болотных отложений является анаэробная среда, в которой хорошо сохраняются органические остатки, в том числе пыльца, споры и вегетативные остатки растений, а в культурных слоях артефакты из дерева, кости, рога, что позволяет эффективно использовать радиоуглеродный, палинологический и другие биоиндикационные методы для палеогеографических реконструкций.

Стратиграфия торфяных отложений, расположенных вблизи памятников, изучалась с целью реконструкции динамики природно-климатических условий и болотообразовательного процесса, влияющего на характер природопользования. Для этого на каждом объекте проводилось зондировочное бурение и отбор образцов разведочным ручным буром ТБГ–66. В процессе зондирования послойно определялись глубины торфяной и сапропелевой залежи, а также характер грунта минерального дна. В результате составлялись профили заболоченных участков. Параллельно проводилось геоботаническое описание современного растительного покрова. Такая работа выполнена на 42 объектах историко-культурного наследия. Из нескольких разрезов отобраны образцы для палинологического, ботанического и

радиоуглеродного анализов. В данной статье рассматриваются результаты анализа двух разрезов. Это торфяники вблизи поселения Большая Умытъя 69 (БУ 69) и у оз. Арантур.

Наиболее глубокая залежь (550 см) была вскрыта в торфянике у памятника БУ 69 (60° 5' с.ш.; 64° 02' в.д.), расположенного на небольшом останце правого берега р. Б. Умытъя. Болото низинное, сильно обводненное, в покрове хвощево-осоковое с примесью вейника (*Calamagrostis langsdorfii* (Link.) Trin), сабельника (*Comarum palustre* L.), клюквы (*Oxycoccus palustris* Pers.). На коренном берегу произрастает сосняк сфагновый, по окраине болота встречаются отдельные куртины березы и ивы.

Для разреза БУ-69 получено две даты: по образцам сапропеля с глубины 490–505 см – 9580±95 лет (СОАН-7635) и торфа с глубины 238–250 см – 3170±75 лет (СОАН-7634).

Палинологический спектр (рис. 1) показывает, что торфяник образовался путем заболачивания стоячего водоема, в котором придонные глинистые осадки сменились накоплением сапропеля и последующим торфообразованием.

На спорово-пыльцевой диаграмме выделено 6 палинозон, которые сопоставлены с хронологической схемой периодизации голоцена (Хотинский, 1977, с.16).

Палинозона 6 (глубина 500–550 см) по динамике кривых пыльцы сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea*) на фоне преобладания пыльцы кустарниковых березок (*Betula* sect. *Nanae* и *Fruticosa*) и травянистых растений отражает фазы потепления и похолодания в предбореальном периоде: березово-сосновые редколесья сменяются лиственнично-еловыми.

Палинозона 5 (460–500 см), очевидно, соответствует бореальному периоду. В ней отразились фазы потепления (резкое увеличение доли пыльцы сосны в начале) и последующего т.н. новосанчуговского похолодания (уменьшение сосны и увеличение кустарниковых берез) на рубеже бореального и атлантического периодов (Кинд, 1974).

Палинозоны 4 и 3 (330–460 см) относятся к атлантическому периоду. В них преобладает пыльца сосны, в меньшем количестве выявлена пыльца березы древовидной (*Betula* sec. *Albae*) и ели, появляется пыльца пихты (*Abies*) и вяза

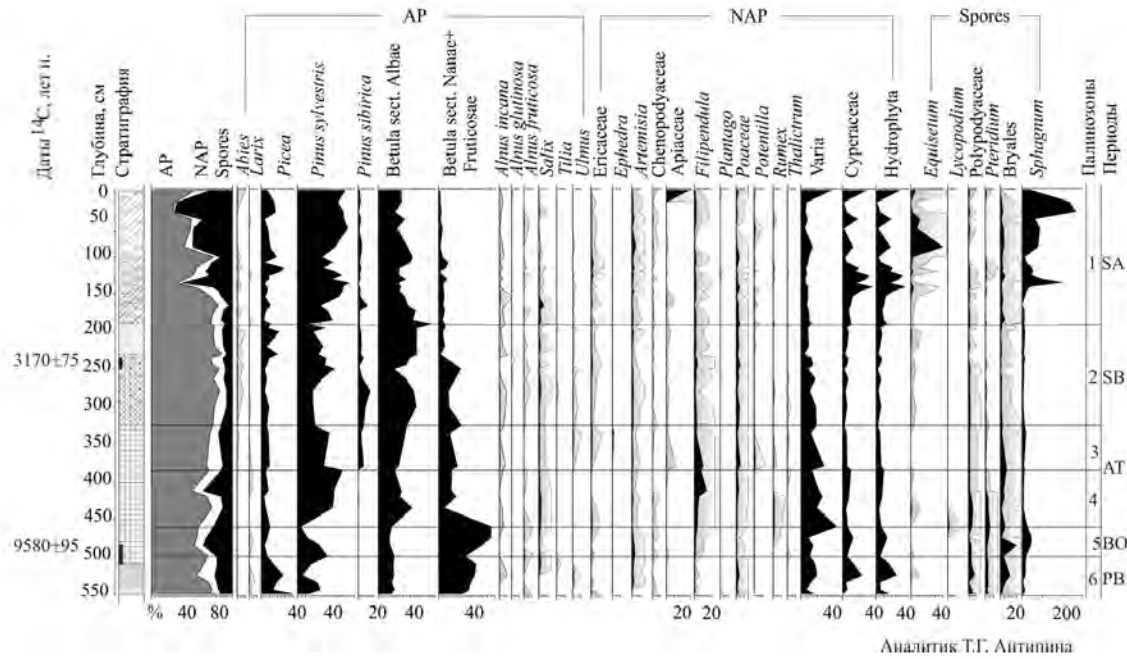


Рис.1. Спорво-пыльцевая диаграмма торфяного разреза Большая Умыт'ья 69. Западная Сибирь

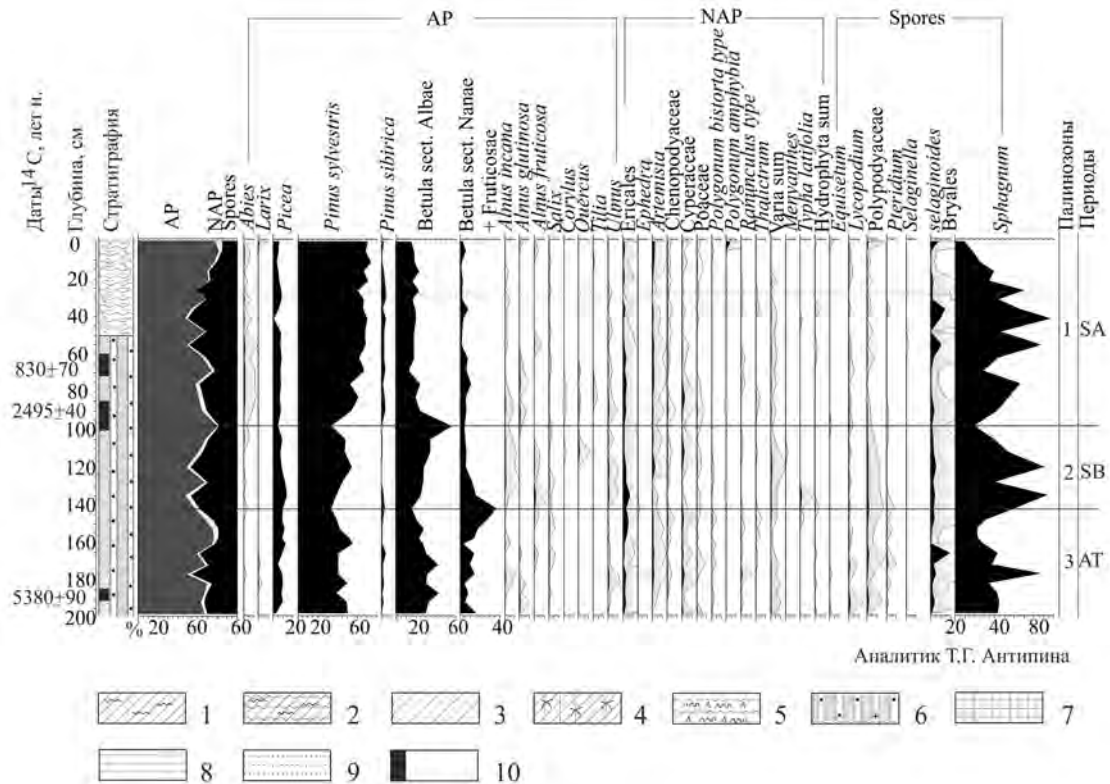


Рис. 2. Спорво-пыльцевая диаграмма торфяного разреза у оз. Арантур. Западная Сибирь. Условные обозначения к рисункам: 1–6 – виды торфа: 1 – осково-сфагновый; 2 – сфагново-пушицево-осоковый; 3 – гипново-осоковый; 4 – древесно-осоковый с хвощем; 5 – кустарничково-пушицево-сфагновый; 6 – древесно-пушицевый; 7 – сапрпель; 8 – глина; 9 – песок; 10 – место отбора проб на 14C. AP – пыльца деревьев и кустарников; NAP – пыльца кустарничков и трав (Ulmus).

Пыльцевые спектры отражают растительность южно-таежных лесов и более мягкие, по сравнению с современными, климатические условия.

Палинозона 2 (190–330 см) сопоставляется с суббореальным периодом. Нижняя его граница определяется пиком пыльцы кустарниковых

берез, уменьшением доли сосны, а также смесью оливкового сапрпеля торфом, что может быть обусловлено климатическими изменениями в начале суббореала в сторону похолодания и сухости (Хотинский, 1977). В вышележащих отложениях преобладает пыльца березы и сосны, постоянно присутствует пыльца ели, пихты

и сосны сибирской (*Pinus sibirica* (Rupr) Mayr), единично – вяза и липы (*Tilia*). Палинокомплекс отражает произрастание лесов южнотаежного облика и условия суббореального термического оптимума (Хотинский, 1987). Ухудшение климата около 3200 лет назад символизирует новый пик пыльцы кустарниковых берез на глубине 250 см.

Палинозона 1 (0–190 см) соответствует субатлантическому периоду. Она характеризуется доминированием пыльцы сосны, меньшим участием берез, ели, пихты, сосны сибирской. В начале зоны еще встречается пыльца вяза. Спектры отражают смену южнотаежных лесов близкими к современным сосновыми лесами среднетаежного облика.

Торфяник у оз. Арантур примыкает к южному берегу озера (60°53.937' с.ш.; 63° 35,305' в.д.).

Болото олиготрофное, сосново-кустарничково-сфагновое. Древостой состоит из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В кустарничковом ярусе преобладает мирт болотный (*Chamaedaphne calyculata*), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), андромеда (*Andromeda polifolia* L.), клюква (*Oxycoccus microcarpus* Turz. Ex Rupr.), изредка брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), багульник (*Ledum palustre* L.). В моховом покрове сфагновые мхи (*Sphagnum magellanicum*, *S. fuscum*). Образцы для анализа отобраны из стенки шурфа. Глубина разреза составляет 2 м. Нижние 150 см сложены сосново-пушицевым торфом, верхние 50 см – кустарничково-пушицево-сфагновым верховым. Судя по ботаническому составу, торфяник образовался путем суходольного заболачивания соснового леса.

На спорово-пыльцевой диаграмме (рис. 2) выделяется 3 основных палинозоны, которые хорошо сопоставляются с соответствующими палинозонами на диаграмме разреза БУ 69.

Палинозона 3 (глубина 140–200 см) характеризует растительность елово-березово-соснового леса с участием вяза в подлеске и, в соответствии с датой 5380±90 лет (СОАН-8931) на глубине 185–194 см, относится к концу атлантического периода.

На глубине 140 см выделяется пик пыльцы кустарниковых берез, исчезает пыльца вяза, уменьшается количество пыльцы сосны и березы древовидной. Спектр отражает похолодание на рубеже атлантического и суббореального периодов (Хотинский, 1977).

Палинозона 2 (100–140 см) характеризует растительность елово-березово-соснового леса с примесью вяза, дуба, лещины в подлеске и соотносится с суббореальным периодом.

Палинозона 1 (от 0 до 100 см) выделяется по доминированию пыльцы сосны и соответствует субатлантическому периоду. Начало периода определяется датой 2495±40 лет (СОАН-8932) по образцу торфа с глубины 85–100 см и знаменуется максимумом пыльцы березы древовидной и непрерывными кривыми пыльцы пихты и сосны сибирской. В начале зоны единично присутствует пыльца широколиственных древесных растений – вяза, липы, дуба (*Quercus*), лещины (*Corylus*), – а в верхних пробах она уже не встречается. В целом палинокомплекс характеризует произрастание сосновых лесов с примесью березы, ели, пихты, сибирского кедра в начале южнотаежного облика, а к концу – среднетаежного.

Итак, по результатам палинологического и ботанического анализов отложений двух разрезов торфяников в верховьях р. Конды реконструируются следующие смены растительности, болотообразовательного процесса и природных условий в голоцене. В начале послеледниковья, около 10 тысяч лет назад, на месте современного торфяника БУ 69 был холодный водоем, окружающая растительность представляла собой листовечно-березово-еловую лесотундру. С потеплением в бореальном периоде (около 9 500 л.н.) началась эвтрофизация озера и отложение в нем сапропелей. На окружающих суходолах распространились елово-березово-сосновые редколесья. В атлантическом периоде (от 8 до 4,5 тысяч лет назад), после кратковременного похолодания в начале, сложились умеренно теплые условия, которые способствовали формированию сомкнутых березово-сосновых и сосново-березовых лесов с елью и пихтой южнотаежного облика. В озере продолжали откладываться сапропели. Кратковременное сухое похолодание на рубеже атлантического и суббореального периодов обусловило понижение уровня водоема, начало его заболачивания и торфообразования. Климатические условия большей части суббореального периода были также умеренно теплыми и влажными, в растительности преобладали сосново-березовые леса с елью и пихтой южнотаежного и подтаежного облика. В течение субатлантического периода сформировались современные среднетаежные леса с преобладанием сосны.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО НАЦ «АВ-КОМ Наследие» и Программы Президиума РАН № 12-П-4-106.

Авторы признательны руководителю археологической экспедиции Н.М. Чаиркиной за сотрудничество и Л.А. Орловой за выполненные радиоуглеродные анализы.

1. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. - М.: Наука, 1974. - 256 с.
2. Комплексное районирование лесов Тюменской области (Методические рекомендации). Авт. Смолоногов Е.П., Вегерин А.М./ Отв. ред. Кирсанов В.А. - Свердловск, 1980. - 88 с.
3. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. - М.: Наука, 1977. - 200 с.
4. Хотинский Н.А. Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогенных рубежей голоцена // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. - М., 1987. - С. 39–45.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ УВЛАЖНЁННОСТИ КЛИМАТА И БОЛОТНОГО МЕСТООБИТАНИЯ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНОГО РАЗРЕЗА ЮЖНО-ТАЁЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**RECONSTRUCTION OF DYNAMIC OF CLIMATE HUMIDITY AND MIRE ENVIRONMENTS USING MULTY PROXI PALAEOECOLOGICAL INVESTIGATION OF PEAT SECTION FROM SOUTH-TAIGA SUBZONE OF WEST SIBERIA**

Т.А. Бляхарчук, И.В. Курьина, Н.Н. Пологова, Н.А. Чернова
T.A. Blyakharchuk*, I.V. Kur'ina, N.N. Pologova, N.A. Chernova*

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia**

*E-mail: tarun5@rambler.ru

Торфяной разрез из центра изолированного болотного массива «Круглое» олиготрофной сосново-кустарничково-сфагновой фации, расположенного на правобережной террасе р.Бакчар в южно-таёжной подзоне Томской области, был изучен с применением комплекса палеоэкологических методов: ботанического анализа торфа, спорово-пыльцевого анализ и анализа раковинных амёб. Для торфяного разреза мощностью 140 см были получены две радиоуглеродные даты: 1500 лет назад с глубины 45–50 см и 4640 лет назад с глубины 135–140 см. Даты были откалиброваны с помощью программы CALIB REV6.00 (<http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/calib.html>). Все дальнейшие палеорекострукции сделаны на основе калиброванного (календарного) возраста.

Кроме перечисленных палеоэкологических методов в нашем исследовании были рассчитаны два интегрированных показателя: по данным пыльцевого анализа – годовое количество осадков, вычисленное с помощью многомерно-статистического метода Букреевой (Букреева и др., 1995); по данным анализа раковинных амёб – уровень грунтовых вод с помощью метода взвешенного среднего (ter Braak, van Dam, 1989; Warner, Charman, 1994). Имеющиеся исторические сведения о динамике увлажнённости пояса «Великой степи» и движении древних народов на территории Сибири за летописный период, суммированные в работе Л.Н. Гумилёва (1993), мы наложили на хронологию и палеоэкологические события болота «Круглое». Это позволило более объективно интерпретировать наблюдаемые изменения растительности и комплексов раковинных амёб, учитывая как эндогенетические болотные процессы, так и вековую ритмику изменения увлажнённости в южно-таёжной, лесостепной и степной зонах Западной Сибири.

Корреляция различных палеоэкологических и исторических данных на одной временной шкале позволила выявить основные этапы развития регионального растительного покрова (по палинологическим данным), локальной болотной растительности (по данным ботанического анализа торфа и локальным компонентам пыльцевого спектра), изменения локальных условий обитания

на уровне микрорельефа (по комплексам раковинных амёб). Выявлена ведущая роль эндогенетического фактора в развитии изолированного болотного массива, наложившего отпечаток как на спорово-пыльцевые спектры, так и на плотность сообществ и видовое богатство выявленных комплексов раковинных амёб. Так, за время торфонакопления, продолжавшееся около 5360 лет, болото в своём развитии прошло три стадии эндогенетического развития. Евтрофное осоково-хвощёвое, а затем осоковое болото с берёзовым древостоем существовало до 3200 кал. лет назад.

В период с 3200 по 2800 кал. лет назад на болоте произошли кардинальные изменения, вследствие которых оно заросло смешанным сосново-берёзовым древостоем. Эти изменения были связаны с переходом в мезотрофную стадию развития вследствие заполнения торфом всего понижения в рельефе. В результате этого в водном питании болота значительно меньшую роль стали играть поверхностно-сточные воды. Обсушение болота, вызванное его эндогенетическим развитием, способствовало образованию пограничного горизонта осоково-пушицево-древесного торфа, сформировавшегося на границе четвертого и третьего тысячелетий назад. Исторические свидетельства (Гумилёв, 1993) указывают на увлажнение Великой степи, имевшее место в X веке до нашей эры. В это период по данным Л.Н. Гумилёва влагоносные циклоны сместились на юг, а в таёжной зоне количество выпадающих осадков уменьшилось. Таким образом, резкая смена осокового болота на древесное на рубеже четвёртого и третьего тысячелетий назад была обусловлена как эндогенетическим переходом в мезотрофную стадию развития, так и уменьшением обилия осадков в южно-таёжной подзоне. Первые комплексы раковинных амёб были выявлены в евтрофных торфах на глубине 100–110 см. Однако в конце евтрофной стадии раковинные амёбы исчезают. Возможно, что обилие микрогольков в этом слое (95 см) свидетельствует о торфяных пожарах, которые могли повлиять на сохранность раковин.

Около 3500 л.н., вероятно вследствие увлажнения климата в таёжной зоне, на исследуемом

болоте распространился пушицевый фитоценоз (70–80 см), что привело к гибели древостоя. Об увлажнении климата в третьем тысячелетии назад свидетельствует увеличение роли темнохвойных пород (пихты, ели и кедра) в южнотаёжных лесах согласно палинологическим данным болота «Круглое». Летописные свидетельства (Гумилёв, 1993) говорят о засухе в Великой степи в V веке до нашей эры (циклоны сместились в лесную зону, где произошло переувлажнение болот, а в лесах усилилась роль более влаголюбивых темнохвойных пород).

С IV века до н.э. по I век (60–70 см) исторические свидетельства говорят об оптимальном увлажнении Великой степи. В этот период атлантические циклоны максимально продвигались на восток и юго-восток, лесная же зона вновь стала испытывать недостаточное увлажнение. На болоте «Круглое» пушицевые сообщества сменились на мезотрофно-олиготрофные кустарничково-сфагновые с *Sphagnum magellanicum*.

Во II-ом – III-ем веках нашей эры, по данным Л.Н. Гумилёва (1993), сильнейшая засуха поразила Великую степь, из-за того, что атлантические циклоны сместились к северу в таёжную зону. В результате этого уровень Каспийского моря повысился (так как оно питается реками, текущими с севера из таёжной зоны), Аральское озеро обмелело настолько, что превратилось в Оксийское болото, а Балхаш высох полностью. На это перераспределение влаги из степей в таёжную зону болото «Круглое» отреагировало новым распространением пушицевых сообществ (50–60 см), а в таёжных лесах вновь усилилась роль пихты. Вероятно, увлажнение локальных условий на болоте благоприятствовало вспышкам плотности сообществ раковинных амёб, среди которых доминировал вид *Schoenbornia humicola*.

Около 1500 календарных лет назад болото «Круглое» перешло в олиготрофную стадию развития, и в его растительном покрове стала доминировать сосново-кустарничково-сфагновая болотная фация – ряб. Хотя переход от мезотрофной стадии в олиготрофную является естественным явлением в эндогенетическом развитии болотного массива, в случае болота «Круглое» смена пушицевых сообществ сфагновым рябом произошла очень быстро, почти катастрофически. Возможно, с резкой сменой доминантов в растительном покрове связана и смена доминанта в комплексах раковинных амёб с вида *Schoenbornia humicola* на вид *Trinema lineare*. Тем не менее мы не находим резких смен растительности в пыльцевой диаграмме на этом

уровне. Реконструкция годового количества осадков на основе данных пыльцевого анализа показывает стабильно высокую влажность климата в этот период. Исторические свидетельства (Гумилёв, 1993) говорят о том, что с VI по XII века нашей эры Великая степная зона Евразии была достаточно увлажнена, за исключением сухих эпизодов в 491 г. нашей эры и в X–XI веках нашей эры. Эти краткие, хотя возможно и резкие, вековые эпизоды аридизации климата не отразились ни на южно-таёжной растительности, ни на локальной болотной растительности болота «Круглое». Вероятно, они полностью компенсировались за счет сформировавшейся буферной системы олиготрофного болота и таёжной растительности. Однако сообщества раковинных амёб, отличающиеся высокой чувствительностью к любым, даже кратковременным изменениям условий водного режима, наиболее вероятно, отреагировали на эпизод увлажнения климата на южной границе лесной зоны, имевший место в XII веке нашей эры (Гумилёв, 1993). Отмечены резкая вспышка плотности сообществ и смена ксерофильного доминанта *Trinema lineare* на более гигрофильный вид *Schoenbornia humicola* в слое торфа синхронном XII веку.

Таким образом, комплексные палеоэкологические исследования изолированного болотного массива в южно-таёжной зоне Западной Сибири позволили сделать следующие выводы:

1. На общую динамику локальной растительности и комплексов раковинных амёб, обитающих на болоте, определяющее влияние оказывало эндогенетическое развитие болотного массива.
2. В южно-таёжной подзоне вековая динамика увлажнённости климата была зафиксирована в растительном покрове болота только в период прохождения им мезотрофной стадии развития, в то время как в евтрофную и олиготрофную стадии болотная растительность не реагировала на неё.
3. По-видимому, комплексы раковинных амёб отреагировали резким увеличением плотности сообществ и сменой доминанта на период повышения увлажнённости климата во время олиготрофной стадии развития болота в отличие от локальной болотной растительности и региональной таёжной растительности.
4. Данные комплексных палеоэкологических исследований изолированного болотного массива в южно-таёжной подзоне Западной Сибири подтвердили гипотезу асинхронности вековой ритмики увлажнённости в лесной и степной зонах Западной Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы СО РАН VIII.77.1 и Проекта РФФИ 13-04-00984

1. Букреева Г.Ф., Архипов С.А., Волкова В.С., Орлова Л.А. Климат Западной Сибири в прошлом и в будущем // Геология и геофизика. - 1995. - № 36(11). - С.3–22.
2. Гумилёв Л.Н. Тысячелетие вокруг Каспия. - Москва: Изд-во «Мишель и Л», 1993. - 336 с.
3. ter Braak C.J.F., van D am H. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods // Hydrobiologia. - 1989. - Vol.178. - P. 209–223.
4. Warner B.G., Charman D. J. Holocene changes on a peatland in Northwestern Ontario interpreted from testate amoebae (Protozoa) analysis // Boreas. - 1994. - Vol. 23. - P. 270–279.

ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА ПО ДАННЫМ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ У ПОСЁЛКА ПОЛЫНЯНКА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**LATE HOLOCENE VEGETATION DYNAMIC OF THE EAST PART OF VASYUGAN MIRE ACCORDING TO PALYNOLOGICAL INVESTIGATION OF PEAT DEPOSITS NEAR POLYNYANKA VILLAGE OF TOMSK DISTRICT**

**Т.А. Бляхарчук*, Н.Н. Пологова
T.A. Blyakharchuk*, N.N. Pologova**

**Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia**

***E-mail: tarun5@rambler.ru**

На восточной окраине Большого Васюганского болота у посёлка Полынянка Томской области был изучен спорово-пыльцевым методом изолированный болотный массив (болото Круглое – 56° 53'01,44"; 34° 34'43,08". Современный растительный покров болота представлен сосново-кустарничково-сфагновой фацией олиготрофного болота (рослым рямом). Для палеопалинологических исследований из наиболее глубокой части болотного массива был отобран разрез торфяных отложений мощностью 140 см. Образцы для спорово-пыльцевого анализа отбирались объёмом 1 см³ через каждые 5 см от поверхности до глубины 125 см и через 2–5 см на глубине 125 см и 145 см. Подготовка образцов для пыльцевого анализа и сам анализ проводились общепринятыми методами. Для разреза были получены 2 радиоуглеродные даты 1510 лет назад (глубина 48–50 см) и 4640 лет назад (глубина 138–140 см). Кроме пыльцы и спор при анализе образцов были подсчитаны микрогольки (Trautmann, 1953) для оценки распространённости пожаров и индекс биоразнообразия в группе пыльцы трав для оценки соотношения лесных и безлесных территорий в окрестностях болота. Методом линейной интерполяции между ближайшими радиоуглеродными датами был подсчитан примерный радиоуглеродный возраст каждого проанализированного образца изученного разреза, считая возраст поверхностного образца в 55 лет. В общей сложности получена палинологическая характеристика последних 4000 лет, которая отражает динамику растительного покрова и климата южно-таёжной зоны центрального сектора Западно-Сибирской равнины.

Выявлено, что в четвёртом тысячелетии назад во всех спорово-пыльцевых спектрах изучаемого разреза доминирующим компонентом являлась пыльца берёзы как древовидных видов (*Betula pendula*, *B. alba*), так и кустарничковая (*B. nana*). Очень малое обилие пыльцы сосны и кедра, характерное для этого периода, указывает

на её дальне заносное происхождение, и отсутствие этих видов в окружающих лесах. В самых древних спектрах возрастом около 4000 лет, кроме того, повышено видовое разнообразие пыльцы трав, в составе которых относительно много пыльцы василистника, встречено два пыльцевых зерна ковыля и одно пыльцевое зерно эфедры. Это может свидетельствовать о сдвиге степной зоны к северу вследствие аридизации климата. Вероятно, климат в четвёртом тысячелетии назад был теплее и суше современного.

В первой половине третьего тысячелетия назад, вероятно вследствие увлажнения климата, на болоте стремительно распространились сфагновые мхи. Это привело к смене евтрофно-мезотрофной болотной фации с осокой и берёзой на мезотрофно-олиготрофную болотную фацию с доминированием кустарничково-сфагнового соснового яма. Это просматривается по смене доминантов в составе локальных компонентов спорово-пыльцевых спектров. Так, обилие пыльцы осок и зелёных мхов в нижележащих слоях торфа сменилось обилием спор сфагнума и пыльцы эрикоидных кустарничков в вышележащих слоях торфа. Всё это происходило на фоне перехода доминирования от берёзовой пыльцы к доминированию сосновой пыльцы в составе древесного пыльцевого спектра. Кроме того, распространению сфагновых мхов предшествовало увеличение роли кедра в окружающих лесах.

Период с середины третьего тысячелетия назад до начала второго тысячелетия известен в палеогеографии как период «Римского потепления климата». На пыльцевой диаграмме в это время отмечается увеличение видового разнообразия пыльцы трав, что, вероятно, отражает благоприятные условия для развития луговых степей. Возрастает обилие пыльцы темнохвойных пород – ели и пихты на фоне повышенного обилия пыльцы берёзы. Данная структура пыльцевых спектров отражает распространение подтаёжных берёзовых лесов с лесными лугами,

участками луговых степей и «ленточными» темнохвойными лесами в поймах рек.

В середине второго тысячелетия назад в так называемый «период тёмных веков», а также в малый ледниковый период первого тысячелетия назад в пыльцевых спектрах изучаемого разреза отмечено увеличение обилия пыльцы полыней. Пыльца полыни является индикатором холодных (континентальных) степей. Её обилие особенно высоко в спорово-пыльцевых спектрах степных районов Казахстана, Тувы и особенно Монголии. Поскольку пыльца полыни может переноситься на очень дальние расстояния, возможно максимумы полыни в нашей пыльцевой диаграмме отражают глобальное увеличение роли степной растительности в регионе вследствие увеличения континентальности климата в центральных районах Евразии в период «тёмных веков» и в малый ледниковый период.

Спорово-пыльцевые спектры периода «тёмных веков» характеризуются также увеличением обилия пыльцы сосны и берёзы при одновременном уменьшении обилия пыльцы темнохвойных пород – ели, пихты и кедра. Такие изменения в лесном покрове могут быть следствием как влияния климата (аридизация, ведущая к учащению пожаров), так и антропогенного фактора (рубка

леса для плавки металла и бытовых нужд, огневое подсечное земледелие).

На рубеже второго и первого тысячелетий назад наступил новый период в развитии ландшафта на юге западной Сибири, основной чертой которого было максимальное за весь изученный период распространение кедровых лесов. Оно сопровождалось также большим распространением ели и пихты. Вероятно, усиление роли темнохвойных пород в лесах происходило за счет увеличения влажности климата во время «средневекового потепления климата».

Во время Малого ледникового периода увеличение обилия пыльцы полыни в спектрах изучаемого разреза может быть свидетельством об экспансии степей в более южных регионах вследствие аридизации климата. С окончанием этого периода в конце 19 века пыльца полыни практически исчезает из современных пыльцевых спектров района исследований.

Существенное снижение роли кедра на исследуемой территории произошло 450 лет назад. Через 50 лет после этого в лесах стала сокращаться роль ели и пихты. С этого времени и по настоящее время в спорово-пыльцевых спектрах исследуемой территории стала доминировать пыльца сосны лесной.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы СО РАН VIII.77.1
и Проекта РФФИ 13-04-00984*

1. Trautmann W. Zur Unterscheidung fossiler Spaltöffnungen der mitteleuropäischen Coniferen // Flora. - 1953. - 140. - P. 524-533.
2. Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемой пыльцы и спор и их использование в палеогеографии. - Москва: изд-во Географиз, 1948.

**МИКРОБИОМОРФНЫЙ КОМПЛЕКС ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ
СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****MICROBIOMORPHIC COMPLEX OF SOD-PODZOLIC SOIL WITH THE SECOND
HUMUS HORIZON IN SOUTHERN TAIGA SUBZONE OF WEST SIBERIA***Д.А. Гаврилов**D.A. Gavrilov*

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г.Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk city, Russia
E-mail: denis_gavrilov@list.ru

Сложность генезиса почв южно-таёжной подзоны в условиях изменении типов ландшафта на протяжении плейстоцен-голоценового отрезка времени делает эти объекты одними из самых интересных для построения схем эволюции почв (Карваева, 1978; Гаджиев, 1982; Дюкарев, 2005; и др.). На данный момент разработанные схемы различаются не только методологическими подходами, но и взглядами на последовательность смен типов почвообразования и ролью экзогенных процессов (денудационно-аккумулятивные, криогенные и т.д.) в формировании современного профиля почв таежной зоны.

Согласно методологическому подходу А.Г. Дюкарева (2005) схема эволюции почв таежной зоны основывается на тезисе о полигенетичности строения почвенного профиля, начало формирования, которого стоит искать не только в отрезке относительного возраста почв (голоцен), но и в пределах абсолютного геолого-почвенного возраста (плейстоцен-голоцен). Автором на примере дерново-подзолистой почвы предложена следующая схема формирования почвенного профиля: 1) в доголоценовый этап почвообразования формирование почвенного профиля шло в направлении подготовки литологической матрицы к почвообразованию. На озерно-аллювиальных отложениях, образованных в криогидроморфных условиях, была сформирована прапочва, у которой верхняя часть профиля была впоследствии размыва в фазу аллювиально-флювиогляциальных процессов и перекрыта озерными отложениями (горизонт BC с гумусово-железистыми пленками, 140–180 см). 2) Второй этап раннеголоценового педогенеза связан с протаиванием многолетнемерзлых пород, криогенным гумусово-глеевым почвообразованием и первичной дифференциацией почвенного покрова (B1 с криогенными трещинами, заполненными гумусовым материалом (Bh, 40–80 см)). 3) Следующий этап, охватывающий верхнюю часть профиля, сопряжен с активизацией в почвах биоаккумулятивных процессов и прогрессивным гумусонакоплением с последующей деградацией гумусового горизонта в постатлантический период под

действием процессов подзолообразования, кислотного гидролиза и элювиального оглеения.

Основываясь на теоретических выкладках А.Г. Дюкарева, нами предпринята попытка выявить признаки бывшего почвообразования и особенности формирования материнской породы в профиле дерново-подзолистой почвы Васюганской наклонной равнины с использованием микробиоморфного метода.

Микробиоморфологическое исследование почв и седиментов в последнее время нашло широкое применение при решении задач генезиса и эволюции ландшафтов (Гольева 2001а, 2001б, 2008; Гаврилов, Гольева, 2014). Предметом подобных работ является микробиоморфный комплекс, который включает в себя микроостатки биогенного происхождения (диатомовые водоросли, спикулы губок, фитолиты, пыльца и споры, детрит, кутикулы растений и т.д.), имеющие определенные узкие экологические диапазоны своего существования. Комплексное использование микробиоморф позволяет не только выявить генезис почв и отложений, а также определить события, повлиявшие на особенности их строения (делювиальные сносы, пожары и т.д.).

Объект исследования расположен в междуречье рек Икса и Ярь на территории Васюганской наклонной равнины (Томская область) под пологом елово-кедрового леса с примесью сосны. Дерново-подзолистая почва имеет сложный полигенетичный профиль: [O (0–3 см) – AY (3–10 см) – EL (10–20 см) – AU[hh] (20–43 см) – AU[hh]BT (43–55 см) – BT1 (55–70 см) – BT2 (70–100 см) – CCA (100–140 см)].

Согласно изученным физико-химическим свойствам почва резко дифференцируется по гранулометрическому составу (рис.1), что обусловлено иллювируанием илистой фракции вниз по профилю в текстурный горизонт в результате процесса подзолообразования и кислотного гидролиза.

Профильное распределение органического углерода характеризуется аккумулятивным типом с резким уменьшением его содержания в горизонте EL (табл.). Реакция среды по

профилю слабокислая ($\text{pH}_{\text{водн.}} 5,2-6,8$) с постепенным увеличением ее значения книзу в сторону щелочной ($\text{pH}_{\text{водн.}} 7,5-8,4$). Данный факт объясняется появлением с глубины 100 см CaCO_3 , наличие которых всеми исследователями связывается с первоначальной окарбоначенностью почвообразующей породы (Гаджиев, 1982). Почвенно-поглощающий комплекс почвы насыщен. В горизонте EL идет замена оснований Ca^{+2} и Mg^{+2} на H^+ . Слабые признаки иллювирирования также отмечаются в распределении окристаллизованной формы несиликатного железа.

В ходе изучения микробиоморфного комплекса горизонта АУ было зафиксировано, что в его составе довольно большое место занимают аэрофильные виды диатомовых водорослей родов *Pinnularia* и *Nitzschia* (рис.2, а–б). Среди фитоцитов имеются представители луговых и лесных злаков при преобладании первых, а также фитоциты мхов и хвойных пород деревьев (рис.1). Во всем горизонте отмечены признаки былых пожаров – обугленные детрит и фитоциты (рис.2, о, р). Кутикулярные слепки растительных тканей в данном горизонте обнаруживаются довольно часто (рис.2, г), что является характерным признаком поверхностных горизонтов почв. Встречено довольно много пыльцы и спор. Наибольший интерес вызывают споры грибов, некоторые виды которых распространены в мезотрофных и олиготрофных болотах в тесном симбиозе со сфагновыми мхами (рис.2, д, е) (van Hove, Hendrikse, 1998; van Geel, Aptroot, 2006).

Таким образом, микробиоморфный комплекс горизонта АУ отражает современный

растительный покров – светлохвойный лес, который периодически выгорает в результате пожаров.

В горизонте EL сохраняется состав микробиоморфов характерный для вышележащего горизонта, но обращает на себя внимание факт увеличения доли фитоцитов луговых злаков при уменьшении количества диатомовых водорослей (рис.1). Это следует интерпретировать как изменение условий в формировании почвенного профиля – в более теплом и менее влажном климате относительно современных его характеристик. Время формирования данного микробиоморфного спектра следует соотносить с концом атлантического и начала суббореального периодов, когда согласно имеющимся данным произошло усложнение растительного покрова в подзоне южной тайги – появление темнохвойных пород деревьев (Волкова, 1989).

В верхней части второго гумусового горизонта содержится большое количество фитоцитов с максимумом на глубине 26–27 см, среди которых преобладают луговые злаки при участии лесных (рис. 1). Имеется небольшое количество спикул губок и диатомовых водорослей. Фитоциты обуглены, что маркирует пожар на данной территории. По микробиоморфному составу можно сказать, что данный горизонт был сформирован в условиях лиственного леса.

В средней части АУ[hh] (31–32 см) также отмечается большое количество микробиоморфов и близость его состава относительно фитоцитного спектра вышележащей части горизонта. Но в микробиоморфной фракции содержатся спикулы губок. Данный состав микробиоморфов позволяет

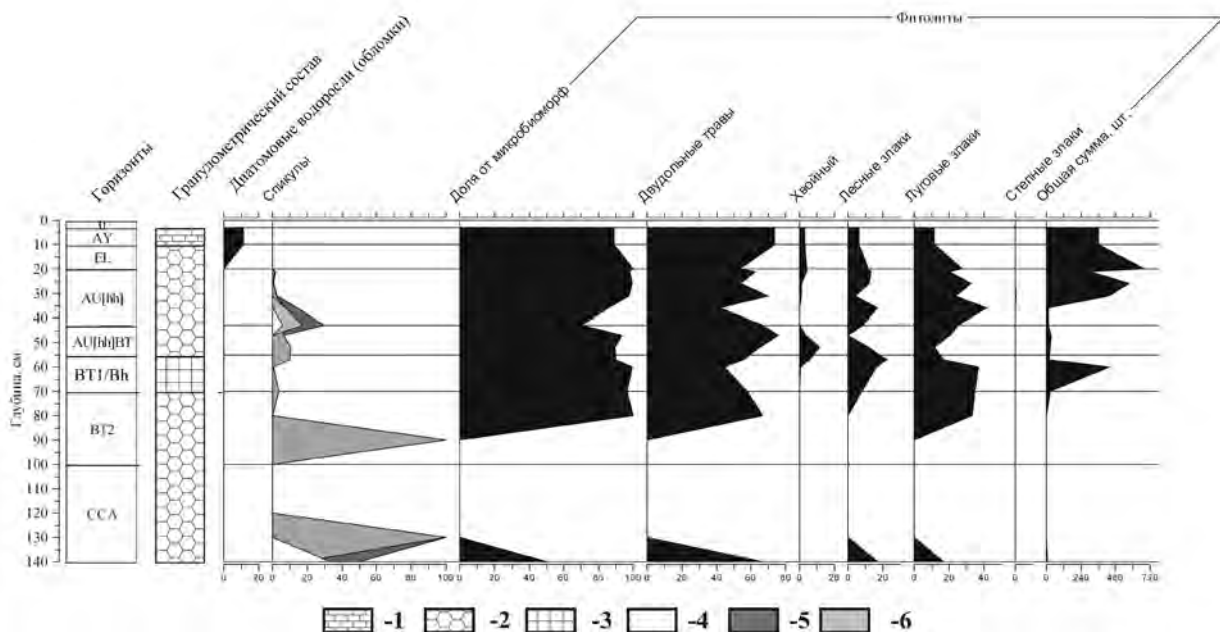


Рис.1. Профильное распределение микробиоморфов дерново-подзолистой почвы (% от общего количества микробиоморфов). Условные обозначения. Гранулометрический состав: 1 – средний суглинок; 2 – легкая глина; 3 – средняя глина. Спикулы: 4 – обломки; 5 – целые; 6 – корродированные

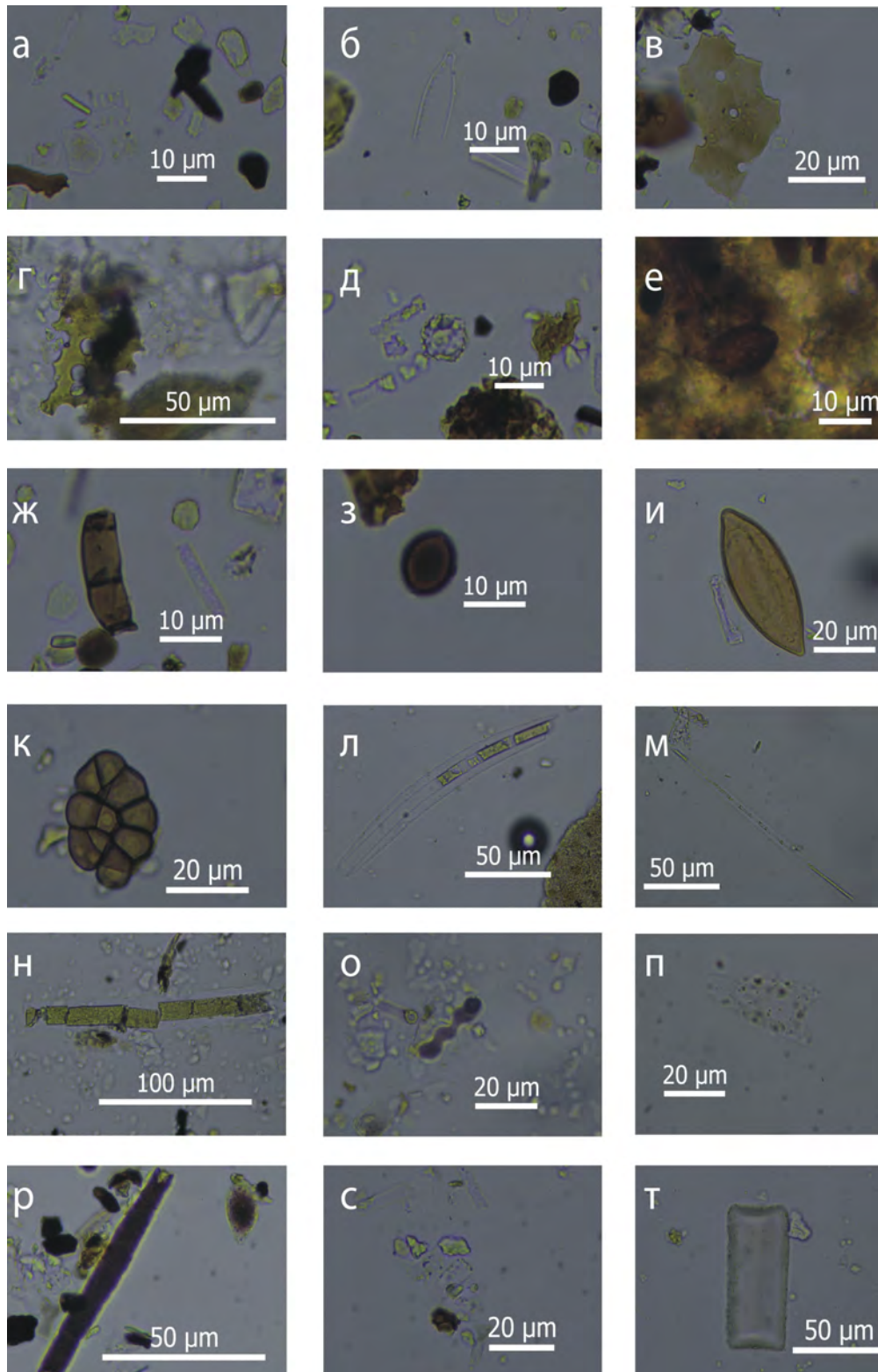


Рис. 2. Микробиоморфный комплекс дерново-подзолистой почвы (x400): Диатомовые водоросли: а – *Pinnularia borealis* (AY, 3–10 см), б – *Hantzschia amphioxys sensu lato* (AY, 3–10 см); Кутукула растения: в – горизонт AY (10–20 см), г – горизонт BT (60–70 см); Споры грибов: д – *Tilletia sphagnum* (AY, 3–10 см); е – *Gelasinospora* sp. (AY, 10–20 см); ж – тип 715 (2) (по van Hovee., Hendrikse, 1998) (AY, 3–10 см), з – *Sordariaceae* sp. (AY, 3–10 см), и – тип 470 (29) (по van Hovee., Hendrikse, 1998); к – *Dictyosporites tirumalacharii* (BT, 70–90 см); Спикулы губок отряда *Cornacuspongii*: л – *Spongilla lacustris* (BT2, 70–80 см); м – *Haliclona* sp. (AU[h], 43–44 см); н – вид не определен (BT, 130–140 см); Фитолиты: о – луговые злаки, п – лесные злаки (трихома), р – двудольные травы, с – хвойные породы деревьев; т – не известная форма фитолита (*Phragmites ps.* (?)) (BT, 70–80 см)

сделать вывод о том, что почвенный горизонт сформирован на аллювиальном субстрате, переработанном процессом лугового почвообразования.

В нижней части горизонта AU[hh] (36–37 и 43–44 см), в иллювиально-гумусовом (47–48 и 52–53 см) и в верхней части текстурного (57–58 см) горизонтах отмечено наличие большого количества спикул губок. Фитолитов мало. Данный состав микробиоморфов отражает аллювиальный генезис почвообразующей породы, а также повышенную увлажненность территории времени предшествующему началу формирования AU[hh].

По мнению большинства исследователей горизонт AU[hh] является сохранившимся реликтом луговых и лугово-болотных почв с мюлевым типом гумуса и более широким отношением $C_{гк}/C_{фк}$ относительно горизонта АУ. Время формирования второго гумусового горизонта по данным радиоуглеродного датирования относится к атлантическому периоду, который характеризовался более теплым и влажным климатом (Добровольский и др., 1969; Виноградов и др., 1969; Ковалев и др., 1975; Точельников 1970; и др.).

В горизонте ВТ1 обнаружены признаки погребения в толщи почвенного профиля слабо развитой аллювиальной почвы (этап лугово-мерзлотного почвообразования – по А.Г., Дюкареву, 2005): наличие кутикул растительной ткани, относительный максимум в распределении фитолитов и присутствие спикул губок (рис. 1, рис.2, г). Образование этой почвы предположительно можно отнести к началу голоцена – предбореальный период, когда отмечается кратковременный этап потепления. Гумусовый горизонт погребенной почвы следует считать частично скальпированным, так как видно из характеристик вышележащего спектра гумусово-иллювиального горизонта вслед за этапом почвообразования наступил этап аллювиальной седиментации.

В горизонте ВТ2 абсолютное большинство микробиоморф принадлежит спикулам губок.

Фитолиты единичны, но обнаружен фитолит предположительно продуцируемый *Phragmites* sp. (рис.2, т). Кроме того, встречены споры ископаемого вида гриба *Dictyosporites tirumalacharii* (рис. 2, к), которые согласно имеющимся публикациям были найдены в отложениях датированные плиоцен-плейстоценовым временем (Saxena, Ranhotra, 2009).

В верхней части горизонта ССА микробиоморфы не обнаружены, что, возможно, следует объяснить ускорением процесса осадконакопления в условиях низкой продуктивности палеоландшафта (лёссовая холодная пустыня (?)). Только в нижней части горизонта вновь появляются спикулы губок и небольшое количество фитолитов, маркирующие новый этап аллювиального седиментогенеза почвообразующей породы.

Таким образом, по данным микробиоморфного анализа дерново-подзолистой почвы со сложным строением органофилия общая схема голоцен-плейстоценового формирования почвенного профиля таежных почв А.Г. Дюкарева находит общее подтверждение. Почвенный профиль был сформирован на породе, которая образована в результате эолового и аллювиального седиментогенеза в позднем плейстоцене и раннем голоцене. Первый этап почвообразования на территории связан с формированием слабо развитых аллювиальных почв, которые в последующем были частично размыты и погребены под аллювием. По мере уменьшения увлажненности территории на аллювиальном субстрате в атлантический период была сформирована луговая или лугово-болотная почва под пологом лиственного леса. В ходе дальнейшего увлажнения и похолодания климата лиственный лес был заменен на светлохвойный, в котором широкое распространение получили дерново-подзолистые почвы, что в постатлантическое время способствует деградации реликтового гумусового горизонта.

Автор выражает глубокую признательность за руководство работой д.б.н. А.А. Гольевой и благодарность за обсуждение результатов Е.Н. Смоленцевой. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-90708 мол_рф_нр).

1. Афанасьева Т.В., Ремезова Г.Л. О реликтовых признаках вторично-подзолистых почв южной тайги Западной Сибири // Вестник МГУ. Сер. биол.-почвовед. - 1974. - №1. - С.118–123.
2. Виноградов А.П., Девириц А.Л., Добкина Э.И., Маркова Н.Г. Новые датировки позднечетвертичных отложений по радиоуглероду // Геохимия. - 1969. - №10. - С.1171–1178.
3. Волкова В.С. Растительность и климат голоцена Западной Сибири // Палеоклиматы позднеднековья и голоцена. - М.: Недра, 1989. - С. 90–96.
4. Гаврилов Д.А., Гольева А.А. Микробиоморфное исследование почв со вторым гумусовым горизонтом южно-таежной подзоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2014. - №2 (26). - С.7–24.
4. Гаджиев И.М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири. - Новосибирск: «Наука», Сиб. отд-ние, 1982. - 455 с.
5. Гольева А.А. Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. - М.: Сыктывкар–Элиста, 2001а. - 140 с.
6. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: генезис, география, информационная роль. - М.: УРСС, 2008. - 256 с.

7. Добровольский Г.В., Афанасьева Т.В. Василенко В.И. О возрасте и реликтовых признаках почв Томского Приобья / Материалы к симпозиуму 4 совещания географов Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск, 1969. - С.117–119.
8. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. - Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2005. - 284 с.
9. Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. Атлас растительных остатков в торфах. - М.: Недра, 1977. - 376 с.
10. Ковалев Р.В., Кленов Б.М., Арсланов Х.А. Вопросы радиоуглеродного датирования органического вещества дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом Томского Приобья // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. - 1972. - Вып. 3. №15. - С.6–9.
11. Основы палеонтологии. Справочник для палеонтологов и геологов СССР. В 15 т. Т.2. Губки, археоциаты, кишечнополостные черви. - М.: Наука, 1962. - 465 с.
12. Точельников Ю.С. К характеристике абсолютного возраста второго гумусового горизонта дерново-подзолистых почв Западной Сибири // Доклады АН СССР. Сер. геолог. - 1970. - Т.191. №5. - С.1151–1152.
13. Golyeva A. Biomorphie analysis as a part of soil morphological investigations // Catena. - 2001б. - №43. - P. 217–230. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00165-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00165-X)
14. Saxena R. K., Ranhotra P. S. Palynofloral study of the intertrappean bed exposed at a new locality in Kutch district, Gujarat and its implications on palaeoenvironment and age // Journal geological society of India. - 2009. - Vol.74. December. - P. 690–696.
15. van Geel, B. and Aptroot, A. Fossil ascomycetes in Quaternary deposits // Nova Hedwigia. 2006. - 82. - P. 313-329. DOI: 10.1127/0029-5035/2006/0082-0313
16. van Hove, M.L., Hendrikse, M., (Eds.) A Study of Non-pollen Objects in Pollen Slides (the Types as Described by Dr. Bas van Geel and Colleagues). - Utrecht, 1998.

ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ PEATLANDS IN NORTHERN FOREST-STEPPE SIBERIA YENISEI RIVER BASIN

А.В. Гренадерова*, А.Б. Родионова**
A.V. Grenaderova*, A.B. Rodionova**

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Sibirian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

*E-mail: grenaderova-anna@mail.ru

**E-mail: rodionovaab@yandex.ru

На территории Красноярского края по данным на 2012 год площадь болот составляла 1114053 га, общий объем балансовых запасов торфа – 3567923 тыс. тонн. Наиболее высокой заторфованностью отличается левобережная равнинная часть бассейна р. Енисей простирающаяся от г. Туруханска до широты г. Енисейска. Характер и степень изученности болотных ландшафтов края различна, наиболее изучены морфология и растительный покров болот Енисейского Севера. В настоящее время наименее исследованными остаются болотные ландшафты лесостепной зоны Красноярского края, одной из наиболее освоенных и важных в экономическом отношении территорий.

Особенностью лесостепи Приенисейской Сибири является островной характер ее распространения. По геоботаническому районированию Л.М. Черепнина (1957) лесостепь подразделяется на две подзоны: северную, включающую два острова (Красноярский и Канский, которые орографически разделены Енисейским кряжем), и южную, занимающую пространства в правобережной части Минусинской котловины (Минусинский лесостепной остров). Ранее нами проводились исследования в пределах Красноярской лесостепи (Гренадерова, 2005), целью данной работы является изучение генезиса и пространственно-временного развития болот Канской лесостепи (правобережье Енисей).

По данным Геолфонда установлено, что торфяные залежи Канской лесостепи являются высокозольными, средней и высокой степени разложения и небольшой мощностью, в среднем 1 м.

Болотные массивы отличаются узкой удлиненной, часто сильно извилистой формой, шириной 0,5–2 км и различной протяженностью. Наиболее крупными болотными массивами являются «Мочажинное» с площадью 5403 га, «Коленчатое» – 3403 га, «Татьяновское» – 1078 га, «Рыбное» – 947 га (Матухин и др., 1997). Нами зафиксированы максимальные по мощности залежи торфа на болотных массивах «Кускун» – 3,00 м, «Пинчинское» – 3,20 м в долине р. Есауловка и «Рыбное» – 3,40 м в долине р. Рыбная. Большинство болот образовалось в результате зарастания стариц, заболачивания пойм и

притеррасных понижений. Болота Канской лесостепи, также как и других островных лесостепей Красноярского края, до сих пор находятся в евтрофной стадии развития (Гренадерова, 2005), в отличие от болот лесостепи Западной Сибири, которые в конце суббореального периода перешли в мезотрофную и олиготрофную стадии развития (Лисс и др., 2001).

Нами на территории Канской лесостепи изучено 7 болотных массивов: три в долине р. Есауловка (правый приток р. Енисей) – «Кускун», «Тертежское», «Пинчинское»; два – в пойме р. Рыбная (правый приток р. Кан) – «Мочажинное», «Рыбное», а также «Уря» в пойме р. Большая Уря (приток р. Рыбная) и болотный массив «Нарва» первой надпойменной террасы р. Мана (правый приток р. Енисей).

Современная растительность представлена в основном лесными сообществами: так, на болотных массивах «Пинчинское», «Кускун», «Уря» произрастает ельник разнотравно-зеленомошный с небольшим участием березы пушистой и сосны обыкновенной, отмечена ольха (*Alnus incana* L.), черная смородина (*Ribes nigrum*); клюква (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr.). В травяном ярусе присутствуют осоки волосистоплодная (*C. lasiocarpa* Ehrh.), топяная (*C. limosa* L.), дернистая и кругловатая (*Carex rostrata* Stokes.), хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), сабельник болотный (*Comarum palustre* L.), подмаренник северный (*Galium boreale* L.). Моховой покров представлен зеленым мхом (*Calliergonella cuspidata* Hedw., *Mnium cuspidatum* Hedw., *Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske, *Brachythecium rivulare* Br. Sch. et Gmb) с небольшими участием сфагнового мха (*Sphagnum warnstorffii* Russ., *Sph. fuscum* Schimp., *Sph. angustifolium* (Russ. ex Russ.) C.Jens., *Sph. centrale* C.Jens. ex H.Arnell et C.Jens.). Также распространен смешанный осокково-зеленомошный лес из ели, сосны, лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) с небольшим участием березы, пихты (*Abies sibirica* Ledeb.) и кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.). Из травянистых отмечены вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata* L.), хвощ, осоки, подмаренник северный. В моховом покрове доминируют гипновые мхи *Tomenthypnum nitens* (Hedw.) Loeske, *Brachythecium rivulare* Br.

Sch. et Gmb. На болотных массивах «Мочажинное» и «Тертежское» развитие получил березняк осоково-разнотравный с хвощем и лабазником вязолистным.

При анализе строения торфяных залежей «Кускун» и «Тертежское» установлена следующая сукцессионная направленность: на начальном этапе развития были распространены лесо-топяные сообщества (елово-кедровый разнотравно-хвощевой лес с березой и сосной и смешанный разнотравно-хвощевой лес с березой, елью и сосной соответственно), далее развитие получил березняк осоково-разнотравный, в последующем сменившийся осоковым и осоково-хвощевым фитоценозом (Гренадерова и др., 2013). Подобная закономерность отмечена и на ранее изученных болотных массивах Красноярской лесостепи (Гренадерова, 2006), где большинство болот образовалось путем заболачивания пойм, покрытых фитоценозами с хорошо развитым древесным ярусом, и последующей их сменой топяными сообществами с очаговым восстановлением древесного яруса.

При детальном изучении отложений пойменного болотного массива «Кускун» установлено, что формирование болота началось с заболачивания поймы реки Есауловка в поздне-суббореальное время (около 2505±35 лет назад, ЛЕ-9400). На начальных этапах развития в поздне-суббореальное время (SB₃) – до 2400 лет назад при сыро-луговом увлажнении (77–88 ступень) (Раменский и др., 1956) и индексе влажности 3–5 (Елина, Юрковская, 1992) был распространен елово-кедровый разнотравно-хвощевый лес с небольшим участием березы и сосны. Моховой покров леса был слаборазвит и состоял из евтрофных зеленых и сфагновых мхов (в волокне торфа в сумме отмечено около 10–15% остатков стеблей и листьев мха); в травяном ярусе встречались папоротник, пушица (*Eriophorum vaginatum* L.), осока дернистая, волосистоплодная (*C. lasiocarpa* Ehrh) и тонкоцветная (*C. tenuiflora* Wahlenb.). В раннесубатлантическое (SA₁ 2400–1650 л.н.) и среднесубатлантическое время (SA₂ 2400–950 л.н.) в строении торфяной залежи наблюдается смена древесных сообществ топяными. Это могло произойти из-за увеличения влажности и похолодания. В составе растительного покрова наблюдалось постепенное увеличение доли осок, и с конца среднесубатлантического периода (около 970 лет назад) развитие получил осоковый фитоценоз, доминирующее положение в котором принадлежало осоке дернистой (в волокне торфа отмечено от 35% – до 70% её остатков). В данный период увлажнение болотного массива достигало болотно-лугового (89–93 ступень), индекс влажности 5–6. С начала поздне-субатлантического периода (SA₃ с 950 л.н. – по настоящее

время) наблюдалось уменьшение увлажнения, в растительном покрове большее развитие получили древесные формы, развивается ельник с небольшим участием кедра, травяным ярусом из хвощей, папоротников и осоки. В конце поздне-субатлантического периода фиксируется появление в составе растительного покрова зеленых и сфагновых мхов (*Sphagnum warnstorffii* Russ, *Brachythecium rivulare* Br. Sch. et Gmb). В настоящее время центральный участок покрыт ельником разнотравно-хвощово-сфагновым с гипновыми мхами, древесный ярус образован елью, в небольшом количестве встречается сосна сибирская, в травяном ярусе отмечены осоки, фиалка одноцветковая (*Viola uniflora* L.), сердечник европейский (*Cardamine impatiens* L.), папоротник, доминирующее положение занимает хвощ болотный; из кустарничков отмечена клюква мелкоплодная. Среди мхов доминирует *Sphagnum warnstorffii* Russ, в небольшом количестве зафиксирован зеленый мох (*Brachythecium rivulare* Br. Sch. et Gmb).

Данное исследование позволило впервые для территории Канской лесостепи определить возраст торфяных отложений. Установлено, что торфонакопление началось в поздне-суббореальное время около 3000 лет назад, средняя скорость торфонакопления составила 0,4 мм/год.

Болотные ландшафты лесостепных зон европейской части России, Западной Сибири и Красноярского края имеют общую особенность – примерно одинаковое время начала заболачивания – не ранее позднеатлантического периода. На территории Красноярского края по ранее проведенным исследованиям было установлено, что в пределах Красноярской лесостепи болота начали формироваться около 5500 лет назад, на территории Минусинской лесостепи (расположенной на 400 км южнее) позже – в конце атлантического – начале суббореального времени (около 4500–3700 лет назад) (Гренадерова, 2009).

На начальных этапах развития болот Красноярской лесостепи, в растительном покрове были развиты топяные фитоценозы из хвощей, рогоза, телиптериса, тростника южного, осоки пузырчатой, дернистой и зеленых мхов (Гренадерова, 2005). В дальнейшем они сменились гипновой группой ассоциаций (на первой надпойменной террасе р. Кача, в пойме р. Тартат), разнотравно-осоковой растительностью и березняком хвощово-осоковым (в пойме р. Кача и междуречье р. Нижняя Подъемная и Талая). На территории северо-восточного района Красноярской лесостепи, в пределах Большемуртинского административного района, по данным Торфоразведочной партии Новосибирской геолого-поисковой экспедиции (1980) все залежи сложены торфами низинного типа преимущественно лесо-топяного

подтипа, а строение торфяных залежей указывает на то, что образование болот происходило по пути заболачивания пойм, покрытых фитонозами с хорошо развитым древесным ярусом. Большинство болот Красноярской лесостепи находится на евтрофной стадии развития.

Как и в ранее проводимых исследованиях на территории лесостепной зоны Красноярского края, основными растениями-торфообразователями на болотах Канской лесостепи являются хвощ и осока, преимущественно дернистая, пузырчатая и шаровидная.

При реконструкции палеогидрологического режима установлено, что развитие болотного массива «Кускун», расположенного на более высокой топографической отметке, проходило при более низкой степени увлажненности, в пределах 78–94 степени увлажнения по шкале

Л.Г. Раменского, средняя степень увлажнения – 86 и индекса влажности 2–7 (Елина, Юрковская, 1992). Увлажнение болотного массива «Тертежское» достигает значений, соответствующих болотному (до 98 степени), средняя величина – 92–93 степень, индекс влажности 3–9.

Так же нами была выделена особенность, которая была отмечена ранее на болотных массивах Красноярской лесостепи и Минусинской лесостепи в конце раннесубатлантического – начале среднесубатлантического периодов: – на общем фоне постепенного увеличения увлажнения, отмечен общий период снижения увлажненности в начале раннесубатлантического периода, что нашло отражение в увеличении доли древесных форм в составе торфяного волокна.

1. Гренадерова А.В. Болотообразование на территории юго-западного района Красноярской лесостепи (на примере Качинского болота) // Болота и биосфера: Материалы Пятой Научной Школы (11–14 сентября 2006 г.). - Томск: Изд-во ЦНТИ, 2006. - С. 175-180.
2. Гренадерова А.В. Генезис болотных ландшафтов Минусинской лесостепи // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: Материалы Международной научно-практической конференции. - Томск: Ветер, 2009. - С. 28–30.
3. Гренадерова А.В. Динамика болот Красноярской и Минусинской лесостепей: дисс. канд. геогр. наук. - Барнаул, 2005. - 22 с.
4. Гренадерова А.В. Современное состояние и динамика растительности болот Канской лесостепи (Красноярский край) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: сборник научных статей по материалам XII международной научно-практической конференции 28–30 октября 2013 г. - Барнаул, 2013. - С.41–44. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20597362>
5. Елина Г.А., Юрковская Т.К. Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Ботанический журнал. - 1992. - №7. - С.120–124.
6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под. ред. д.б.н. профессора В.Б. Куваева. - Тула: Гриф и К^о. 2001. - 584 с.
7. Матухин Р.Г., Матухина В.Г., Алтухов В.М. Справочник торфяных месторождений Красноярского края. - Новосибирск, 1997. - 236 с.
8. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков Н.А., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. - М: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1956. - 480с.
9. Черепнин Л.М. Растительность Красноярского края // Природные условия Красноярского края. - М.: Наука, 1961. - С.161–181.

ГЕНЕЗИС И СТРАТИГРАФИЯ БОЛОТ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СЫМ-ДУБЧЕСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ**GENESIS AND STRATIGRAPHY OF BOGS OF NORTHERN PART OF SYM-DUBCHES INTERFLUVE****Л.В. Карпенко****L.V. Karpenko****Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru**

Район исследования расположен в северной части междуречья Сым-Дубчес в Красноярском крае (высотная мачта проекта ZOTTO). Эта территория относится к Сым-Дубческому среднетаежному кедрово-сосновому району, а в болотоведческом отношении – к району выпуклых верховых болот. Для нее характерен гривисто-ложбинный и бургисто-котловинный типы рельефа, т.к. она сформировалась в результате стока ледниковых вод. Растительный покров водоразделов на междуречье образован болотами и озерами, среди которых разбросаны острова сосновых и темнохвойных лесов. На долю болот и заболоченных лесов приходится более 70% поверхности. Болотные массивы сильно обводнены.

Объектами исследований являлись 12 болот различного типа, геоморфологической приуроченности и генезиса, расположенных на водосборном бассейне правых притоков реки Дубчес – рр. Точес, Хойба, Песчанка. Мощность торфяной залежи болот варьирует от 1,5 до 4,0 м и более. Благодаря комплексному анализу стратиграфии торфяной залежи и радиоуглеродному датированию торфа по ^{14}C удалось реконструировать генезис, возраст и историю развития болот района исследований.

Далее на примере двух болот различного типа рассмотрим генезис и эволюцию торфообразования северной части междуречья. Первый – крупный по площади *верховой болотный массив*, залегающий в левобережной части долины р. Хойбы, географические координаты – 60°45' с.ш., 89°24' в.д., высота над уровнем моря – 69 м. Его окружают песчаные гривы, заросшие сосняками бруснично-лишайниковыми и лишайниковыми. Господствующий фитоценоз на грядах – сосново-кустарничково-сфагновый (сосновый рям), а в мочажинах – травяно-сфагновый. Глубина торфяной залежи – 4,0 м. В основании залегающий песок. Второй болотный массив расположен на расстоянии 500 м на восток от первого и находится в продолговатой депрессии, протянувшейся вдоль песчаного плато, занятого лишайниковым бором. Его географические координаты – 60°45' с.ш., 89°24' в.д., а гипсометрический уровень залегания – 68,0 м. Это крупное по площади *низинное*

болото, господствующий фитоценоз – евтрофный осоково-сфагновый. Мощность торфяной залежи – 3,4 м., подстиляется белесым песком.

На верховом болотном массиве на глубинах 400, 300 и 200 см из залежи были отобраны образцы торфа для радиоуглеродного датирования по ^{14}C . Их абсолютный возраст равен, соответственно, 6225 ± 130 лет назад (л.н.) (СОАН-8107), 3705 ± 140 л.н. (СОАН-8107) и 2900 ± 65 л.н. (СОАН-8106).

Радиоуглеродная датировка придонного слоя торфа свидетельствует о том, что образование болота на месте бурения залежи началось в середине атлантического периода. В строении торфяной залежи болота отчетливо прослеживаются три стадии ее развития. Придонные слои залежи (400–300 см) образованы низинными торфами топяного и лесо-топяного подтипа, травяной и древесно-травяной групп и представлены двумя видами торфа – *травяным* и *древесно-травяным* (Торфяной фонд, 1976). Время аккумуляции торфа – 6225–3705 л.н. На глубине 300 см низинная залежь сменяется переходной. Она сложена топяными торфами травяно-моховой группы и представлена одним видом торфа – *травяно-сфагновым*. Время его отложения 3705–2900 л.н. Начиная с глубины 200 см и до самой поверхности болота залежь сложена верховыми топяными торфами моховой группы и представлена двумя видами торфа – *медиум* и *фускум торфом*. Время образования залежи – 2900–0 л.н.

Как следует из ботанического анализа придонных слоев торфа, заболачивание началось путем зарастания мелководного водоема или старицы евтрофными травяно- и осоково-сфагновыми фитоценозами. Растительность болота имела пестрый состав, что сказалось и на содержании растительного волокна торфа. Оно образовано остатками мезо-евтрофных сфагновых мхов *Sphagnum Warnstorffii*, *S. obtusum*, *S. magellanicum*, на долю которых приходится 20% волокна и гипновых мхов – *Drepanocladus* spp. – 10%. Преобладают же в волокне торфа остатки водно-болотных видов травяной растительности, которые в сумме составляют 70%. Из них

доминируют осоки – дернистая, топяная, шершавоплодная, шейхцерия, рогоз, хвощ, вахта и др. В примеси встречены остатки очеретника белого и пухоноса дернистого. В результате отмирания растительности образовался слой *травяного* торфа мощностью 50 см, степень разложения которого очень высокая – 45%.

Стратиграфия торфяной залежи на глубине 350–300 см свидетельствует о том, что на смену топяному травяно-сфагновому фитоценозу пришел древесно-травяной с разреженным травяным ярусом и хорошо развитым болотным разнотравьем. В волокне торфа древесные остатки коры и древесины березы (ивы, ольхи) составляют 20%. Остатки травянистых растений образованы шейхцерией, осоками, пушицей, хвощом, количество которых не превышает 20% волокна. Моховая часть волокна (20%) образована сфагновыми мхами *S. Warnstorffii*, *S. obtusum*. За это время отложился слой *древесно-травяного* торфа мощностью 50 см. Средняя степень его разложения – 30%.

Таким образом, низинная стадия развития болота продолжалась довольно долго – 2520 лет, а скорость торфонакопления была относительно невысокой – 0,39 мм/год.

Современи 3705 л.н. болото перешло в переходную стадию своего развития. Ботанический анализ торфа свидетельствует о том, что в это время на болоте были развиты мезотрофные шейхцериево- и осоково-сфагновые с примесью пушицы и вахты фитоценозы. Растительное волокно торфа образовано сфагновыми мхами, преимущественно *S. fuscum* и *S. magellanicum* (30%), а также остатками мезотрофных и евтрофных травянистых растений: шейхцерии, осоки, пушицы, вахты. Древесные остатки березы и ивы составляют не более 5%. Степень разложения торфа средняя и составляет 20%. Эта стадия развития болота продолжалась всего 805 лет. Однако скорость торфонакопления в этот период была очень высокой – 1,24 мм/год, что способствовало отложению мощного (100 см) слоя *травяно-сфагнового* торфа.

На суббореально-субатлантическом контакте – 2900 л.н. болото вступило в олиготрофную стадию своего развития. В ее начале (200–175 см) на смену прежним фитоценозам приходят сосново-сфагновые с доминированием в моховом покрове на грядах *S. magellanicum*, с примесью *S. angustifolium*, *S. rubellum*, о чем свидетельствует маломощный слой магелланикум-торфа. В дальнейшем на болоте широко распространились сосново-кустарничково-сфагновые фитоценозы с преобладанием на грядах мохового покрова из *S. fuscum*, в примеси *S. angustifolium*, *S. magellanicum*, *S. rubellum*, а в мочажинах – пушицево-сфагновыми с *S. balticum*, *S. Jensenii*. Об этом

говорит состав волокна торфа на глубине 175–125 см, который на 90% образован вышеперечисленными олиго-мезотрофными сфагновыми мхами с примесью пушицы. Далее, вероятно с усилением дренированности, на грядах и сфагновых буграх *S. fuscum* становится абсолютным доминантом. Доказательством этому является состав растительного волокна верхнего (125–0 см) слоя торфа, который почти на 100% образован одноименным торфом. Скорость его аккумуляции была довольно высокой для верхового болота и составляла 0,68 мм/год.

Другие исследованные нами верховые болотные массивы (в количестве 5) образовались сравнительно недавно (в суббореальный и субатлантический периоды голоцена), о чем свидетельствуют радиоуглеродные датировки придонных слоев торфа – (2245, 4195, 4310, 5060, 5805 л.н.). Они большей частью мелкозалежные – 1,3–2,0 м и развивались иначе. Генезис этих болот начинался, как правило, с лесной стадии, далее развитие болот шло по мезотрофному типу, о чем свидетельствуют придонные и срединные слои переходного древесно-травяного или древесно-осокового торфов. Затем очень быстро эта стадия сменилась олиготрофной и на болотах в настоящее время доминируют сфагновые или фускум-фитоценозы.

Проанализируем далее строение стратиграфии торфяной залежи низинного *осоково-сфагнового болота*. Данных по абсолютному датированию этого болота нет, но его возраст мы подсчитали эмпирически, взяв за основу среднюю скорость прироста торфа в среднетаежной подзоне Западной Сибири, которая составляет 0,57 мм/год (Инишева, 2006). В результате расчетов оказалось, что возраст болота равен 6 140 л.н., т.е. оно образовалось примерно в то же время, что и описанное выше верховое болото. Характерной особенностью строения залежи этого болота является довольно однородный видовой состав генетических пластов, присутствие в растительном волокне торфа значительного количества остатков осок. Торфяная залежь относится к низинному типу, лесотопяному и топяному подтипам, древесно-травяной, травяной и травяно-моховой группам. Залежь имеет трехслойное строение: нижняя ее часть (300–350 см) сложена древесно-травяным торфом. Вышележащий слой (300–25 см) почти полностью образован осоковым торфом. И маломощный поверхностный слой (25–0 см) слагается осоково-сфагновым торфом.

Растительность болота также прошла три стадии смен. Образование болота началось в середине атлантического периода путем заболачивания евтрофного березово-разнотравного фитоценоза. Об этом свидетельствуют данные

ботанического состава торфа, в растительном волокне которого доминируют остатки пушицы (*Eriophorum vaginatum*, 40%), а из разнотравья присутствуют осоки, вахта, хвощ топяной. Древесные остатки торфа в количестве 30% представлены корой березы и ивы. Степень разложения торфа высокая – 40%.

Вторая стадия болота продолжалась продолжительное время (конец атлантического – начало субатлантического периодов). В конце атлантического периода произошла смена березово-разнотравного фитоценоза осоковым. Вероятно, его развитие происходило в благоприятных условиях водно-минерального питания, что способствовало длительному пребыванию болота на евтрофной стадии развития и отложению мощного (2,75 м) слоя осокового торфа. Основная масса его волокна состоит из остатков корневищных осок (*Carex lasiocarpa*, *C. limosa*, *C. inflata*, *C. globularis*), на долю которых приходится 40–85%. Остатки других трав – пушицы, шейхцерии, вахты, хвоща в незначительном количестве, но постоянно, присутствуют в волокне торфа. Древесные остатки в виде коры березы и ивы встречаются в количестве не более 10%. Степень разложения нижних слоев осокового торфа равна 35–25%, а в поверхностных слоях ее величина уменьшается до 20–10%.

В конце субатлантического периода на болоте происходит смена растительности – осоковый фитоценоз сменился осоково-сфагновым. Он представлял собой безлесный слабо обводненный фитоценоз, в котором доминировали мезо-евтрофные сфагновые мхи – *Sphagnum jensenii*, *S. apiculatum*, *S. obtusum*, *S. angustifolium*. Травяной ярус был образован шейхцерией и осоками – *Carex lasiocarpa*, *C. limosa*, *C. inflata*, *C. globularis* и др. На дренированных местообитаниях произрастала ива. Об этом свидетельствует состав торфа, основная масса волокна которого образована сфагновыми мхами (40%), а травянистую массу

торфа образуют остатки шейхцерии и различных осок. В незначительном количестве в торфе присутствует кора ивы. Степень разложения торфа низкая и составляет 5–10%.

На генезис других открытых низинных болот, исследованных нами, вероятно, повлияло их геоморфологическое положение. Они залегают преимущественно в пойме Енисея или на его первой надпойменной террасе. Болота развивались по низинному типу с момента их образования. Сукцессии фитоценозов трех исследованных болот происходили следующим образом: евтрофный древесно-травяной или древесно-осоковый → осоковый → (травяной) → евтрофный сфагновый. Часть низинных болот в настоящее время перешла в мезотрофную фазу своего развития, о чем свидетельствуют поверхностные слои торфа, сложенные сфагновым переходным торфом. Исследованные болота имеют субатлантический или суббореальный возраст (2780 и 3725 л. н.), поэтому мощность их торфяной залежи невелика и варьирует от 1,25 до 2,25 м. А скорость аккумуляции торфа колеблется от 0,8 до 0,4 мм/год.

Заключение. Болотообразование в северной части междуречья Сым-Дубчес началось около 6 тыс. л. н. Средняя скорость торфонакопления в атлантическом периоде составляла 0,4, в суббореальном – 1,2, а в субатлантическом – 0,7 мм/год. Генезис болот района исследований и строение их стратиграфии значительно различаются и зависят, в основном, от типа питания и геоморфологической приуроченности. Установлено, что здесь наиболее широко распространены олиготрофные и евтрофные болота. Мощность торфяных залежей колеблется от 1,2 до 4,0 м. Они сложены, преимущественно, торфами лесотопяной и топяной группы, характеризуются средней и высокой степенью разложения, низкой зольностью и высокой влажностью.

1. Инишева Л.И., Лисс О.Л. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания на Западно-Сибирской равнине // Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии. - Минск, 2006. - С.308–311.
2. Тюрменов С.Н. Торфяные месторождения. - М.: Недра, 1976. - 488 с.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПИГМЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

THE MECHANISM OF FORMATION OF PIGMENT PROFILE OF PEAT DEPOSITS

М.А. Климин

M.A. Klimin

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия.
Institute for Aquatic and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia
E-mail: m_klimin@bk.ru

При изучении такого сложного природного объекта биологического происхождения, каким является торф, любая методика в той или иной степени направлена на освещение вопросов вещественного состава, продуктивности и сохранности органического вещества. Наиболее распространенные методы исследования торфяных отложений как летописей палеогеографической информации – определение ботанического состава и степени разложения торфа, состава спор и пыльцы, радиоуглеродного возраста – позволили сделать широкие обобщения по истории растительности и климата прошлых эпох для различных территорий.

Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что все они не свободны от недостатков, в первую очередь связанных с субъективностью при определениях и интерпретации полученных результатов. Так, между ботаническим составом торфа и растительной группировкой, из которой он образовался, имеется лишь генетическая связь, а не тождество, поскольку различные растения и их отдельные части в неодинаковой степени подвержены разложению (Лиштван, Король, 1975). Показатель степени разложения – весьма приблизительная величина, что подтверждается даже количеством различных методик его определения – от визуальных до сугубо химических (Тюремнов, 1976). Недостатки метода восстановления растительного покрова по пыльцевым анализам обусловлены сложностью выяснения характера образования «пыльцевого дождя», формирования пыльцевых спектров, вопросов сохранности и переотложения пыльцевого материала и т.п. (Удра, 1988). Радиоуглеродное датирование с методической стороны также далеко не безупречно и, кроме того, достаточно трудоемко и дорого.

Таким образом, каждый из четырех упомянутых методов направлен или на определение какого-то одного из свойств торфа, или на изучение включений (пыльцы и спор), имеющих к торфу зачастую лишь опосредованное отношение.

Для получения наиболее полной картины функционирования торфяника необходима методика, изучающая компоненты, во-первых, являющиеся неотъемлемой частью системы торфа, во-вторых, способные по-разному реагировать

на изменения природных условий во время своего образования, отложения, захоронения и сохранения. С практических же позиций они должны быть легко определяемыми качественно и количественно.

С точки зрения такого подхода становится совершенно ясно, что искомые вещества не могут быть ничем иным, кроме как элементами растений-торфообразователей. Наиболее подходящими на эту роль соединениями являются фотосинтетические пигменты, поскольку они: 1) неотъемлемые компоненты растений (Крамер, Козловский, 1983); 2) лабильные соединения, разрушающиеся в окислительной обстановке, но способные длительно сохраняться в восстановительной (Орлов и др., 1996); 3) легко определяемые качественно и количественно (ГОСТ..., 1999) для изучения, например, продуктивности и функционирования различных водных объектов в настоящее время (Сигарева, 2010; Сигарева и др., 2013), а также истории их развития в прошедшие эпохи под влиянием меняющейся природной среды (Чечуга, 1973; Захарков и др., 2007; Kowalewska, 2001). Именно эти вопросы применительно к торфяным и озерным отложениям являются наиболее актуальными для палеогеографии.

Цель работы – выявить основные условия и механизм сохранения фотосинтетических пигментов в торфяных отложениях.

Объектом исследований послужили торфяные отложения голоценового возраста различного генезиса, получившие распространение на территории Нижнего Приамурья.

Методика отбора образцов, их подготовка и модифицированный ход анализа описаны ранее (Климин, Сиротский, 2005).

С учетом методологических подходов А.А. Гольевой (2008) совокупность определяемых пигментов (хлорофиллы *a*, *b*, *c* и общие каротиноиды) в конкретном слое отложений рассматривается как *пигментный комплекс*. Последовательная вертикальная смена пигментных комплексов составляет *пигментный профиль* изучаемого торфяника.

Основным источником поступления фотосинтетических пигментов и их производных (фепигментов) в торфяные отложения являются

высшие растения и различные водоросли. В большинстве из них зеленые пигменты представлены хлорофиллами *a* и *b*, а желтые – каротиноидами. Однако в некоторых широко распространенных водорослях (например, диатомовых) вместо хлорофилла *b* содержится хлорофилл *c* (Хит, 1972).

Известно (Крамер, Козловский, 1983), что количество и соотношение пигментов зависят от вида растений, внешних условий и возраста листьев. Как правило, хлорофилла в зеленых листьях приблизительно в 3 раза больше, чем каротиноидов, а хлорофилла *a* обычно в 2-3 раза больше, чем хлорофилла *b*. С понижением температуры осенью листья перестают образовывать хлорофилл, а имеющийся начинает разрушаться. Поэтому в процессе осеннего распада хлорофилла в листьях происходит возрастание доли более стабильных желто-коричневых каротиноидов. В окислительной обстановке на поверхности почвы хлорофиллы могут разложиться практически полностью. Однако в случае если растительный опад сразу же попадает в среду с недостатком кислорода, будь то обводненное с поверхности болото, или озеро, сохраниться могут не только каротиноиды, но и хлорофиллы.

В торфяных отложениях диапазон содержания пигментов, переходящих в водно-ацетоновую вытяжку, достаточно широк – от первых десятков до 2000 мкг/г сухого торфа. В большинстве случаев соотношение пигментов в пигментных комплексах торфов существенным образом отличается от такового в зеленых растениях, поскольку доминирующая роль в них принадлежит каротиноидам, количество которых иногда в несколько раз превышает сумму хлорофиллов. Для торфов с таким пигментным комплексом, образовавшихся в оптимальных для погребения растительных остатков условиях, установлено, что количество сохранившихся пигментов возрастает от торфов низинного типа (100-300 мкг/г) к торфам переходного (200-500 мкг/г) и верхового типа (400-700 мкг/г сухого торфа). Данные отличия связаны с составом растительности, произрастающей на болотах разного типа (Климин и др., 2013), поэтому при классическом развитии торфяника от низинной к верховой стадии его пигментный профиль должен был бы выглядеть как кривая, монотонно возрастающая к кровле отложений. Однако такие случаи чрезвычайно редки. Обычно пигментный профиль имеет вид пилообразного графика со значительными минимумами и максимумами, наличие которых обусловлено климатическими колебаниями в голоцене (Климин, Сиротский, 2005).

В самом начале исследований, после получения пигментных профилей нескольких торфяных разрезов, была сделана попытка связать места с малым количеством пигментов с потеплениями,

во время которых торф разлагался сильнее и пигменты разрушались в большей степени. Однако сопоставление пигментных профилей с данными спорово-пыльцевых анализов и определений радиоуглеродного возраста показало, что в действительности все происходило наоборот. Именно в периоды потеплений, когда степень разложения торфа повышалась, пигменты в нем накапливались, т.к. их количество было напрямую связано с объемом «переработанных» растительных остатков. Причиной же сохранения пигментов является защитная функция липидной фракции, в кислых условиях торфяного болота способной накапливаться (Лиштван, Король, 1975) и обволакивать микрочастицы торфа, делая их мало доступными для микробной утилизации.

Таким образом, сохранению пигментов в торфяных отложениях способствуют особенности болот Приамурья, установленные разными исследователями – высокая степень разложения (Нейштадт, 1957), повышенная кислотность низинных торфов, близкая к кислотности торфов переходного типа Европейской части России (Прозоров, 1985), а также значительное содержание липидной фракции в торфах низинного типа (Чаков, Климин, 1996), приближающееся к таковому в торфах верхового типа Европы.

Некоторые слои торфяных отложений имеют пигментные комплексы, отличающиеся от описанного – в них присутствуют лишь хлорофилл *a* и каротиноиды, причем иногда даже в равных количествах. Для водно-ацетоновых экстрактов из этих торфяных образцов характерной чертой является высокая экстинкция на длине волны 750 нм.

В результате проведенных исследований было установлено, что торфа с такими пигментными комплексами образовались в весьма специфических условиях – прохладных и настолько влажных, что в составе сохранившихся пигментов, кроме присущих высшей растительности, имеется и некоторое количество бактериохлорофиллов, являющихся следствием развития в мелких водоемах (мочажины, неглубокие озера на болотных массивах) зеленых фотосинтезирующих бактерий (Серебренникова, 1988). Именно наличие бактериохлорофиллов *c* и *d*, имеющих максимумы поглощения в диапазоне 720-760 нм, вносит помехи в расчеты количества пигментов в торфяных слоях (Климин и др., 2013).

Таким образом, в формировании пигментного профиля торфяных отложений участвуют торфяные слои с пигментными комплексами двух различных типов. В условиях, близких к оптимальным для функционирования болотной экосистемы, образуются торфа с пигментными комплексами, в которых представлены все виды пигментов, содержащиеся в растениях-торфообразователях и в водорослях, развивающихся на торфяном субстрате.

В прохладных и влажных условиях состав пигментных комплексов торфов может быть обеднен за счет искусственного выпадения хлорофиллов *b* и *c* вследствие мешающего влияния бактериохлорофиллов. Однако при анализе пигментного профиля эти слои являются хорошими индикаторами влажных похолоданий в голоцене.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ДВО РАН 12-III-A-09-193.

1. Гольева А.А. Микробиоморфные комплексы природных и антропогенных ландшафтов: Генезис, география, информационная роль. - М.: Изд-во ЛКИ, 2008. - 240 с.
2. ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. - М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. - 12 с.
3. Захарков С.П., Босин А.А., Горбаренко С.А. Содержание хлорина в морских осадках как индикатор палеопродуктивности // Вестник ДВО РАН. - 2007. - № 1. - С. 52–58.
4. Климин М.А., Сиротский С.Е. Распределение фотосинтетических пигментов в профиле торфяных отложений как отражение колебаний климата в голоцене // Биогеохимические и геоэкологические процессы в экосистемах. Владивосток: Дальнаука. - 2005. - Вып. 15. - С. 237–248.
5. Климин М.А., Сиротский С.Е., Копотева Т.А. Пигментные характеристики торфяных отложений различного генезиса Нижнего Приамурья // Биогеохимия и гидроэкология наземных и водных экосистем. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН. - 2013. - Вып. 20. - С. 157–166.
6. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений. - М.: Лесная промышленность, 1983. - 464 с.
7. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. - Минск: Наука и техника, 1975. - 320 с.
8. Нейштадт М.И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. - М.: Наука, 1957. - 404 с.
9. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. - М.: Наука, 1996. - 256 с.
10. Прозоров Ю.С. Закономерности развития, классификация и использование болотных биогеоценозов. - М.: Наука, 1985. - 207 с.
11. Серебренникова О.В. Эволюция тетрапиррольных пигментов в осадочных отложениях. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1988. - 141 с.
12. Сигарева Л.Е. Содержание хлорофилла в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища // Биология внутренних вод. - 2010. - № 3. - С. 38–46.
13. Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Тимофеева Н.А., Касьянова В.В. Осадочные пигменты и скорость илонакопления как показатели трофического состояния Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. - 2013. - Т.40, № 1. - С. 62–69.
14. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. - М.: Недра, 1976. - 488 с.
15. Удра П.Ф. Расселение растений и вопросы палео- и биогеографии. - Киев: Наукова думка, 1988. - 200 с.
16. Хит О. Фотосинтез. - М.: Мир, 1972. - 316 с.
17. Чаков В.В., Климин М.А. Эволюция болот Среднеамурской низменности и трансформация состава органического вещества торфа // Биогеохимические и экологические исследования природных и техногенных экосистем Дальнего Востока. - Владивосток: Дальнаука, 1996. - С. 126–134.
18. Чечуга Б. Попытка установления истории озер на основании пыльцевого анализа растительных остатков, органического вещества и неактивного хлорофилла // Палинология голоцена и маринопалинология (Труды III Международной палинологической конференции). - М.: Наука, 1973. - С. 40–43.
19. Kowalewska G. Algal pigments in Baltic sediments as markers of ecosystem and climate changes // Climate Research. - 2001. - V. 18, № 1-2. - P. 89–96.

СТРАТИГРАФИЯ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ И РАЗВИТИЕ МАССИВОВ БОЛОТНЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**THE PEAT STRATIGRAPHY AND DEVELOPMENT OF FORESTED MIRE MASSIFS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA****С.А. Кутенков, Н.В. Стойкина****S.A. Kutenkov, N.V. Stoykina****Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия****Institute of Biology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia****E-mail: effort@krc.karelia.ru**

Лесные сообщества, развивающиеся на болотах, обладают сложной пространственной структурой и богатым составом растительности, в которых находят отражение противоречивый процесс взаимодействия лесного и болотного сообществ. Это мозаичный микрорельеф, многоярусность растительности и сочетание видов растений различной экологии. На них накладываются динамические эффекты различного уровня – сезонные колебания уровня грунтовых вод, ветровая динамика, долговременные смены самих сообществ, рост торфяной залежи и другие.

В период с 2009–2013 годы автором обследован ряд лесо-болотных массивов на нескольких модельных территориях, разнесенных по Европейскому северу России. Составлены несколько полноценных профилей болотных лесов, охватывающих все основные экологические градиенты – от заболачивания минерального берега, до перехода сообществ в открытую и олиготрофную стадию развития.

Подробное геоботаническое исследование на профилях позволило точно выделить различные типы леса. Стратиграфия торфяной залежи – историю развития отдельных участков и всего массива в целом. Таким образом, получены как современные, так и ретроспективные срезы массивов болотных лесов. Профили дают наглядное представление о развитии лесоболотных массивов, растительных сукцессиях на отдельных их участках, движении границ сообществ в прошлом и в настоящий момент, последовательность их смен. Исследование болотных лесов подобным образом позволило выявить ряд закономерностей.

• Подтверждено, что глубокие (5 и более метров) залежи под болотными лесами в центральных частях котловин неоднородны по составу и всегда имеют глубокие слои топяного типа, в некоторых случаях наблюдается неоднократное чередование лесных и топяных торфов. Таким образом, получены свидетельства того, что болотные леса могут развиваться естественным путем на ранее открытых участках болот и данное явление обычно для исследованной территории.

• Выявлено, что в условиях карбонатных пород евтрофная стадия развития может сохраняться неопределенно долго, что связано с постоянным поступлением минеральных веществ как путем поверхностного стока, так и с выклиниваемыми грунтовыми водами. Распределяясь по болоту на сотни метров от берега, обогащенные воды поддерживают существование низинных сообществ на глубоких торфяных залежах. Соотношение поверхностных и родниковых вод в питании определяет развитие ельников и сосняков.

• Исследованные олиготрофные участки болотных лесов, развивающиеся в пределах крупных болотных массивов на карбонатных почвообразующих породах имеют небольшой возраст (порядка 500 лет) и в настоящий момент можно наблюдать активную стадию их развития и экспансии на окружающие участки. Их развитие связано с протекающим при росте залежи перераспределением водного стока ведущем к естественному дренажу прилегающих сообществ и постепенному их выходу из-под влияния богатых грунтовых вод и переходу на атмосферное питание.

• Получены датировки торфа из залежей болотных лесов, позволяющие рассчитать скорости прироста торфа в различных типах болотных лесов и открытых болот. Так, для ельников таволговых характерна самая низкая скорость торфообразования. В сосняках болотно-травяных грунтового ряда питания прирост торфа выше чем в ельниках, но ниже чем на открытых болотах того же трофического статуса.

• Выявлено, что заболачивание котловин с пологими склонами по низинному типу происходило не путем наступления торфяника из центральной, наиболее глубокой части на окружающие территории в результате вертикального нарастания залежи, а путем заболачивания склонов. Возраст базального слоя торфа из болотных лесов у края массивов значительно превышает возраст торфа, залегающего на той же глубине в центральных частях массива. Возраст некоторых ельников таволговых на неглубоких залежах по окраинам болот составляет несколько тысяч лет.

Forest communities developing on peatlands have a complex spatial structure and rich vegetation composition, which is reflected in the contradictory process of interaction between forest and mire communities. They have mosaic microrelief, multi-storey of vegetation and different ecological groups of plant species. Some dynamic effects of different levels such as seasonal fluctuations of groundwater levels, gap dynamics, long-term endogenous change of the communities, the growth of peat deposits and others are also inherent.

A number of forested mires in several model territories at the European North of Russia were surveyed in the period 2009-2013. Several full profiles across forested mires, covering all the major environmental gradients - from paludified mineral margin to the community transitions to open and oligotrophic stage of development were drawn up.

Detailed geobotanical research on the profiles allowed distinguishing different forest types. History of the particular mire sites and the whole massifs was reconstructed by means of the peat deposits stratigraphy. Thus both contemporary and retrospective cross-sections of forested peatlands were obtained. The profiles provide a visual representation of the forested mires development, plant succession on sites, movements of communities' borders in the past and in the present moment, the sequence of their shifts. The studies revealed a number of regularities.

- Deep (5 and more meters) deposits in forested mires in the central parts of depressions are non-uniform on structure and always have deep layers of uliginose type, in some cases with numerous alternation of wood and uliginose peat. Thus evidence that tree stands can develop a natural way

on earlier opened mire sites and this phenomenon is common for the studied territory was obtained

- The eutrophic stage of development in the conditions of carbonate rocks can be remain indefinitely long, due to the constant flow of mineral substances both by surface runoff and seepage of groundwaters. Distributed through the mire for hundreds of meters from the boundary, the enriched waters support the existence of eutrophic communities on deep peat deposits. The ratio of surface and spring water in nutrition determines the development of spruce or pine stands.

- Investigated oligotrophic sites of pine bogs, developing within large mire massifs on calcareous bedrocks have small age (about 500 years) and active stage of their development and expansion of the surrounding area can be seen currently. Their development is connected with the peat deposits growth and water runoff redistribution leading to the natural drainage of the surrounding communities and their gradual release from the rich groundwater influence.

- The calculation of peat increment based on radiocarbon dating of peat samples shows difference between the site types. Thus, the lowest rates of peat accumulation inherent herb-rich (*Filipendula*-) spruce mire type. The peat increment in eutrophic pine swamps is higher than in spruce mires, but lower than in open mires of the same trophic status.

- Age of the basal peat layer of marginal forested mire sites greatly exceeds the age of peat overlying at the same depth in the central parts of the massif, that evidence the sloping pattern of paludification. Age of some herb-rich spruce mires on shallow peat deposits along the margins is a few thousand years.

Автор признателен Е.Ю. Чураковой (САФУ), В.Н. Мамонтову (ИЭПС), Д. Суханову (Красноборское лесничество), И.Б. Кучерову (БИН РАН), В.Л. Миронову (ИБ КарНЦ РАН) за оказанную помощь при проведении полевых работ. Анализ торфа на ботанический состав проведен Н.В. Стойкиной (Лаборатория болотных экосистем ИБ КарНЦРАН). Радиоуглеродное датирование проб торфа проведено в Лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, автор признателен Л.А. Орловой за сотрудничество. Работа проведена при финансовой поддержке ПФИ Президиума РАН "Живая природа: современное состояние и проблемы развития" и РФФИ (грант № 12-04-31024).

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗОТОПНЫХ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
SPHAGNUM FUSCUM (SCHIMP.) KLINGGR. В ЗОНЕ ВЫПУКЛЫХ
ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****PERSPECTIVE OF ISOTOPE PALEOCLIMATE RESEARCH OF *SPHAGNUM
FUSCUM* (SCHIMP.) KLINGGR. IN WEST SIBERIAN OMBROTROPHIC BOG ZONE****М.Г. Магур****M.G. Magur****Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk city, Russia
E-mail: rubzova@rambler.ru**

Знание всего спектра климатических изменений необходимо для моделирования и прогнозирования природно-климатических процессов. Особенно актуально это в индустриальный период, так как глобальное воздействие промышленности на биосферу приводит к трансформации климата в планетарном масштабе (Serreze et al., 2000).

Возможность получения экспериментальных данных динамики климатических параметров на территории Западной Сибири ограничена короткой историей инструментальных измерений, пункты наблюдений неравномерно распределены по территории, а сами наблюдения нерегулярны. Для восполнения отсутствующей информации используют методы биоиндикации.

Соотношения стабильных изотопов углерода и кислорода, связанных и заархивированных растениями (годовые кольца деревьев, растительные остатки и пыльца в торфе), позволяют воспроизвести изменения окружающей среды в прошлом. Преимущество данного показателя состоит в том, что изотопный сигнал в большей степени формируется под влиянием физических процессов. Это увеличивает точность воспроизведения изменений климатических параметров.

Наиболее подходящими в качестве объекта исследований для получения палеоклиматических изотопных данных на территории Западной Сибири являются торфяные отложения, которые запечатлели климатические изменения за весь период голоцена. Большое разнообразие и специфичность климатических условий этой территории вынуждают наиболее тщательно выбирать объект изотопных исследований и местоположение ключевых участков с целью определения точки отбора торфяных образцов для палеоклиматических изотопных исследований.

В течение последних десятилетий были опубликованы работы, в которых описывают накопление стабильных изотопов в моховых остатках торфяных отложений (Ménot-Combes et al., 2001; Sharma et al., 2004; Loader et al., 2007; Skrzypek et al., 2007; Lamentowicz et al., 2008; Daley et al.,

2009; Moschen et al., 2009; Loisel et al., 2009; Moschen et al., 2011).

По данным авторов исследование макроостатков одного вида имеет решающее значение в изучении накоплений стабильных изотопов. В качестве объекта исследования выбран *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. из-за особенности роста сфагновых мхов: неограниченный верхушечный рост стеблей и постоянное отмирание снизу (Грабовик, 1994). Это позволяет анализировать изотопный сигнал, запечатленный в конкретном слое торфа. Кроме этого, *S. fuscum* предпочтителен для климатических исследований на обширных территориях, так как он является наиболее распространенным видом среди сфагновых мхов в высоких широтах Северной Америки, Финноскандинавии и Азии (Абрамова и др., 1961; Игнатова, Игнатова, 2003; Lindholm, 1990; Andersson et al., 1995). Также данный вид сфагнума выдерживает конкуренцию со стороны других видов путем создания толстого ковра высоко над уровнем грунтовых вод, образуя кислые, относительно сухие кочки (Lindholm, 1990; Rydin & Jeglum, 2006). Исходя из этих параметров выбор местоположения ключевых участков обусловлен наличием в верхнем слое залежи фускум-торфа.

В зоне выпуклых олиготрофных болот Западной Сибири характерной чертой торфяной залежи болот является мощный верхний слой из слаборазложившегося фускум-торфа и реже – комплексного торфа.

Формирование торфяных отложений *S. fuscum* в этой зоне происходит в пределах 13 болотных микроландшафтов (Иванов, Новикова, 1976) (табл.).

Таким образом, в зоне выпуклых олиготрофных болот Западной Сибири в качестве ключевых участков для получения изотопных данных пригодно 13 болотных микроландшафтов. Будет ли сформированный изотопный сигнал из данных микроландшафтов коррелировать с метеоданными ближайших метеостанций?

Для ответов на этот вопрос необходимо измерить и сравнить соотношения стабильных

изотопов из *S. fuscum*, собранного из разных болотных микроландшафтов, с данными метеонаблюдений ближайших метеостанций. Построение временного ряда накоплений стабильных изотопов из *S. fuscum* возможно осуществить посредством разбора моховых дерновин в соответствии с ежегодным приростом, опираясь на

«индивидуальные метки» (Косых, 1999) и на изменения морфологических признаков стеблей и веточек (Мульдьяров, Лапшина, 1983).

Полученные данные позволят определить микроландшафты пригодные для отбора торфяных образцов с целью проведения палеоклиматических изотопных исследований.

Таблица. Болотные микроландшафты зоны выпуклых олиготрофных болот Западной Сибири, под которыми залегают в верхнем слое фузкум-торф (Иванов, Новикова, 1976)

Название микроландшафта		Толщина верхнего слоя фузкум-торфа (м)	Общая глубина торфяной залежи (м)	Средняя общая глубина торфяной залежи (м)	
Группа лесных микроландшафтов					
сосново-сфагново-кустарничковый		0,25-1	0,5-4	2,2	
Группа мохово-лесных микроландшафтов					
сфагново-кустарничково-сосновый		0,25-3	0,5-5	2,4	
Группа моховых микроландшафтов					
сфагново-кустарничковый, облесенный сосной		0,25-2	0,5-4,5	2,2	
сфагново-лишайниково-кустарничковый, облесенный сосной		1,25-2,25	2-2,8	2,4	
лишайниково-сфагново-кустарничковый, облесенный сосной		1,5-2	2-2,8	2,4	
сфагново-кустарничково-пушицевый, облесенный сосной с сухостоем		0,25-1,25	0,5-5	2	
Группа комплексных микроландшафтов					
грядово-мочажинный	гряды	а) сфагново-кустарничковые, облесенные сосной	0,5-1,75	0,5-7,5	2,6
		б) сфагново-кустарничково-пушицевые, облесенные сосной	0,25-0,75	0,5-7,5	2,6
		в) сфагново-кустарничково-лишайниковые, облесенные сосной	1,5-3	0,5-7,5	2,6
грядово-мочажино-озерковый	гряды	сфагново-кустарничковые, облесенные сосной	0,5-1	1-6,5	3,2
грядово-озерковый	гряды	а) сфагново-кустарничково-сосновые	1,25-3,25	0,5-6	2,8
		б) сфагново-кустарничковые, облесенные сосной	0,5-0,75	0,5-6	2,8
		в) сфагново-кустарничковые	1,25-1,75	0,5-6	2,8

1. Абрамова А.Л., Савич-Любичская Л.И., Смирнова З.Н. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. - М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. - 712 с.
2. Грабовик С.И. Влияние климатических условий на линейный прирост сфагновых мхов в южной Карелии. // Ботанический журнал. - 1994. - Т.79. № 4. - С.81-86.
3. Иванов К.Е., Новикова С.М. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. - Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 448 с.
4. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части европейской России. Том 1 Sphagnaceae – Hedwigiaceae. - М.: КМС, 2003. - 608 с.
5. Косых Н.П. К методике определения линейного прироста и продукции сфагновых мхов на мезо-олиготрофных болотах Западной Сибири // Материалы конференции «Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования». - М.: ГЕОС, 1999. - С.121-122.

6. Мульдьяров Е.Я., Лапшина Е.Д. Датировка верхних слоев торфяной залежи, используемой для изучения космических аэрозолей // Метеоритные и метеорные исследования. - Томск: Изд-во «Наука» Сибирского отделения, 1983. - С.75–84.
7. Andersson H., Bergqvist S., Blomgren E., Carlsson P., Cronberg N., Dahl A., Ekman J., Ekman S., Flatberg K.I., Fransen S., Gustafsson L., Hallingback T., Johansson P., Kristensson G., Mattsson S., Roth S., Salomonsson S., Soderstrom L., Sogard P. Vitmossor in Norden. Mossornas Vanner, 1995. - 1–124 p.
8. Daley T.J., Street-Perrott F.A., Loader N.J., Barber K.E., Hughes P.D.M., Fisher E.H., Marshall J.D. Terrestrial climate signal of the “8200 yr B.P. cold event” in the Labrador Sea region // *Geology*. - 2009. - Vol. 37. - P. 831–834.
9. Lamentowicz M., Cedro A., Galka M., Goslar T., Miotk-Szpiganowicz G., Mitchell E.A.D., Pawlyta J. Lastmillennium palaeoenvironmental changes from a Baltic bog (Poland) inferred from stable isotopes, pollen, plant macrofossils and testate amoebae // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. - 2008. - Vol. 265. - P. 93–106.
10. Lindholm T. Growth dynamics of the peat moss *Sphagnum fuscum* on hummocks on a raised bog in southern Finland // *Annales Botanici Fennici*. - 1990. - Vol. 27. - P.67–78.
11. Loader N.J., McCarroll D., van der Knaap W.O., Robertson I., Gagen M. Characterizing carbon isotope variability in *Sphagnum* // *Holocene*. - 2007. - № 17 (3). - P.403–410.
12. Loisel J., Garneau M., Helie J.-F. Modern *Sphagnum* $\delta^{13}\text{C}$ signatures follow a surface moisture gradient in two boreal peat bogs, James Bay lowlands. Quebec // *Journal of Quaternary Science*. - 2009. - № 24. - P. 209–214.
13. Ménot-Combes G., Burns S.J. Carbon isotopes in ombrogenic peat bog plants as climatic indicators: calibration from an altitudinal transect in Switzerland // *Organic Geochemistry*. - 2001. - № 32. - P. 233–245.
14. Moschen R., Kühl N., Peters S., Vos H., Lücke A. Temperature variability at Dürres Maar, Germany during the migration period and at high medieval times, inferred from stable carbon isotopes of *Sphagnum* cellulose // *Climate of the Past Discussions*. - 2011. - № 7. P. 535–573
15. Moschen R., Kuhl N., Rehberger I., Lucke A. Stable carbon and oxygen isotopes in sub-fossil *Sphagnum*: assessment of their applicability for palaeoclimatology // *Chemical Geology*. - 2009. - № 259 (3-4). - P. 262–272.
16. Rydin H., Jeglum J. *The Biology of Peatlands*. - Oxford University Press, New York, 2006. - 1–343 p.
17. Sharma S., Mora G., Johnston J.W., Thompson T.A. Stable isotopes ratios in swale sequences of Lake Superior as indicators of climate and lake level fluctuations during the Late Holocene // *Quaternary Science Reviews*. - 2004. - № 24. - P.1941–1951.
18. Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin F.S., Osterkamp T., Dyrgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morison J., Zhang T., Barry R.G. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment // *Climatic Change*. - 2000. - № 46. - P. 159–207.
19. Skrzypek G., Kaluzny A., Wojtun B., Jedrysek M.-O. The carbon stable isotopic composition of mosses: a record of temperature variation // *Organic Geochemistry*. - 2007. - № 38. - P. 1770–1781.

ДЕТАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БОЛОТА КАК ОТКЛИК НА ИЗМЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА ГОЛОЦЕНА (СРЕДНЯЯ ТАЙГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

DETAILED RECONSTRUCTION OF THE BOG FUNCTIONAL STATE AS A RESPONSE TO THE CONTINENTAL CLIMATE CHANGES OF THE HOLOCENE (MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA)

Ю.И. Прейс

Yu.I. Preis

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: preisui@rambler.ru

Отклик болот Западной Сибири на конкретные климатические события голоцена еще недостаточно изучен. На функциональное состояние болот в голоцене континентальный климат Западной Сибири оказывал как прямое влияние через гидротермический режим, так и косвенное через талое-мерзлое состояние почво-грунтов и торфяных отложений. Индикаторами климатических воздействий являются нарушения закономерностей эндогенного развития болот, синхронные уже установленным глобальным или региональным климатическим сигналам. Информация об этих нарушениях сохраняется, прежде всего, в стратиграфии, свойствах и скорости аккумуляции торфов.

Цель работы – детальная реконструкция динамики растительных сообществ, водных режимов и торфонакопления олиготрофного среднетаежного болота в свете отклика на климатические изменения среднего и верхнего голоцена.

Объект исследования – болото Средне-Васюганское, залегающее на первой левобережной надпойменной террасе р. Васюган, в 2 км на С от п. Средний Васюган. Торфяной разрез глубиной 3,92 м заложен в низком среднеобводненном ряме. Отобранные образцы проанализированы на ботанический состав, степень разложения (R), зольность (A), pH, плотность (P), весовую влажность. Хронология торфонакопления основана на 12 радиоуглеродных датах (аналитики Мелков В.Н., Симонова Г.В., ИМКЭС СО РАН), калиброванных программой CALIB5. Реконструкция водного режима выполнена методом расчета индекса влажности - IW (Елина, Юрковская, 1992). Стадии многолетнемерзлые (ММ) и вторичных озер выявлены по косвенным показателям: неправоммерно низкой скорости аккумуляции органического вещества (ОВ) торфа (Vак), резким сменам палеосообществ, инверсиям развития, а для озер – и по низкой плотности торфа предшествующей стадии обсыхания, топяному характеру последующей смены. Рассмотрено два варианта развития при допущениях разного характера торфонакопления: 1) равномерного и 2) с наличием его прекращений. При втором варианте учитывались возраст и вид

палеокриогенных процессов – аналогов, выявленных нами на других болотах района исследования (Прейс, Карпенко, 2004; Прейс и др., 2010; Прейс, Курьина, 2012; Прейс, 2012).

Согласно полученным данным, торфяная залежь исследованного разреза – комплексная верховая, практически на всю глубину сложена верховыми торфами. В целом от дна к поверхности разреза выражена общая тенденция закономерного уменьшения A, R, P в соответствии с нарастанием торфа и возрастанием IW. Нарушениями эндогенного развития являются: многократное чередование слоев разных грядовых и топяных сфагновых торфов, наличие многочисленных тонких прослоек обогащенных остатками пушицы и древесины, пульсирующий и несогласованный характер изменения R, P и IW по глубине залежи.

Модели «глубина – возраст» и «кумулятивная масса – возраст» имеют волнистую форму за счет неоднократных снижений скорости аккумуляции торфа, а модели скорости аккумуляции ОВ торфа – пульсирующий характер (рис. 2).

Наиболее соответствует показателям свойств и Vак торфа следующий сценарий развития. На хорошо дренированной песчаной террасе заболачивание березового леса через олиготрофное ерниково-пушицево-сфагновое сообщество со *Sphagnum fuscum* началось около 6270 л.н. (л.н.) по ¹⁴C, в конце глобального похолодания AT4 (Зубаков, 1986) и инициировалось наличием ММ водоупора. При деградации ММ сформировалась мезотрофная сосново-березово-осоковая согра с рогозом в сильно обводненных межствольных понижениях, затем, по мере возрастания дренирования территории, возросло обилие осок, и около 6150 л.н. торфонакопление прекратилось. В этот кратковременный период развития (около 100 лет) Vак была максимальной – 154 г/м² в год. Возврат на более минеротрофную стадию развития подтверждает наличие ММ водоупора при заболачивании. Следующий 1100-летний период, соответствующий оптимуму голоцена и началу похолодания на границе AT/SB, был неблагоприятен для торфонакопления. Отложилось лишь 10 см торфа с высокими R и P. Vак

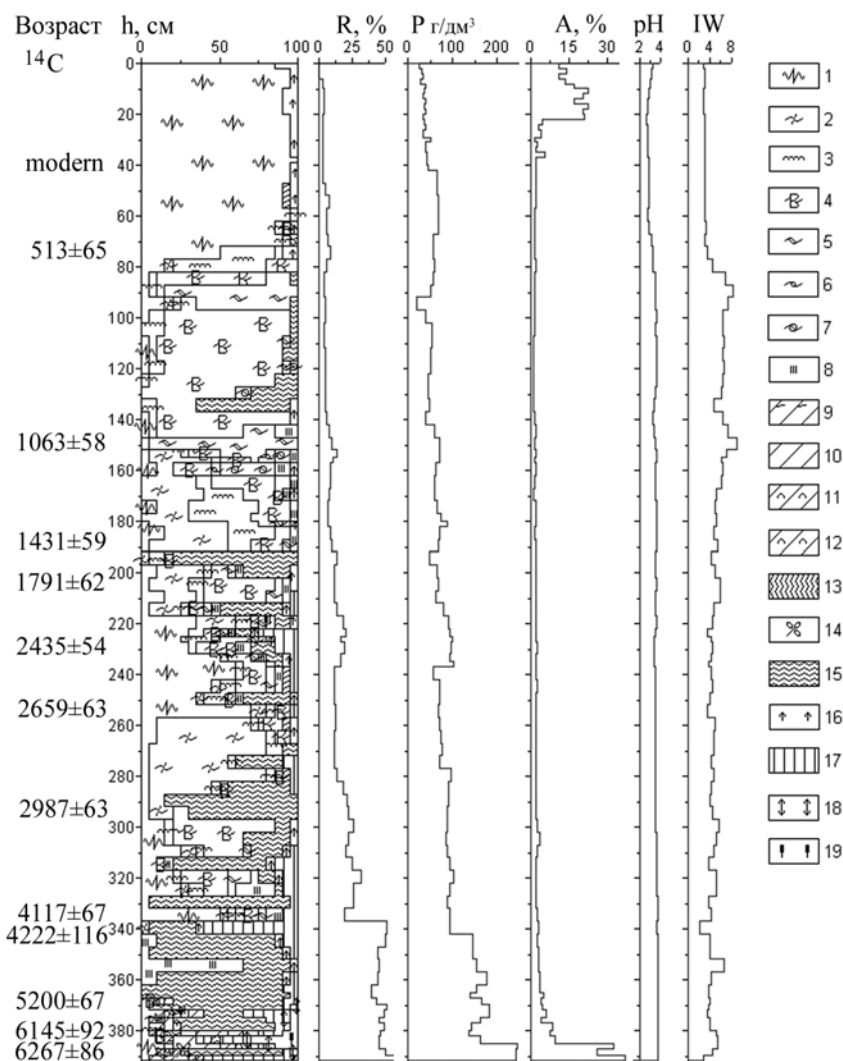


Рис. 1. Стратиграфическая колонка и свойства торфа разреза Средне-Васюганского болота
 Растительные остатки: 1) *Sphagnum fuscum*, 2) *S. angustifolium*, 3) *S. magellanicum*, 4) *S. balticum*, 5) *S. majus*, 6) *S. jensenii*, 7) *S. fallax*, 8) шейхцерия, 9) *Carex rostrata*, 10) *C. lasiocarpa*, 11) *C. cespitosa*, 13) *C. appropinquata*, 13) тростник, 14) вахта, 15) пушица, 16) вересковые кустарнички, 17) древесные остатки, 18) ерник, 19) рогоз

составила 14 г/м^2 в год. Вероятнее всего, торфонакопление возобновилось в мезотрофном облесенном пушицево-сфагновом сообществе во время непродолжительного похолодания около 5700 л.н., а в термический максимум около 5500 л.н. произошло обсыхание поверхности и торфонакопление прекратилось вплоть до следующего похолодания. В холодный, в основном, сухой период конца АТ3 и SB1 (5200–4100 л.н.) Вак повысилась, но оставалась низкой ($35,1 \text{ г/м}^2$ в год). В олиготрофных пушицевых сообществах с единичными соснами и березами в условиях резко-переменного режима увлажнения отлагались торфа с высокими R и P. В середине периода было кратковременное повышение обводненности и формировалась шейхцериевая топь. В последующий период до 3000 л.н., соответствующий теплому, влажному оптимуму – SB2, и началу похолодания SB3, существовала слабо облесенная мозаичная шейхцериево-сфагновая топь. Получена неправоммерно низкая Вак – 26 г/м^2 в

год. Вероятно, дата 4117 ± 67 л.н. является удревненной, и здесь, как и на других болотах лесной зоны Западной Сибири, в максимум похолодания 4300–4100 л.н. происходило пучение крупных ММ бугров, а в последующий период потепления – термокарстовых озер, зараставших сплавинами. Поэтому, для торфа мозаичной сфагновой сплавины (337 см), принят возраст 3755 ± 37 л.н. аналогичной стадии Бакчарского болота (Прейс и др., 2010). При этом Вак составила $36,7 \text{ г/м}^2$ в год, прослойки пушицевых торфов отлагались во время кратковременных сухих похолоданий около 3700 и 3400 л.н., а в прохладных более влажных условиях до 3100 л.н. существовала пушицево-сфагновая топь со *Sphagnum balticum*. Около 2990 л.н., в условиях сухого похолодания, возросло обилие пушицы. Однако, в отличие от других исследованных нами разрезов, торфонакопление не прекратилось. Около 2850 л.н., в результате уменьшения континентальности климата, обводненность повысилась, стал

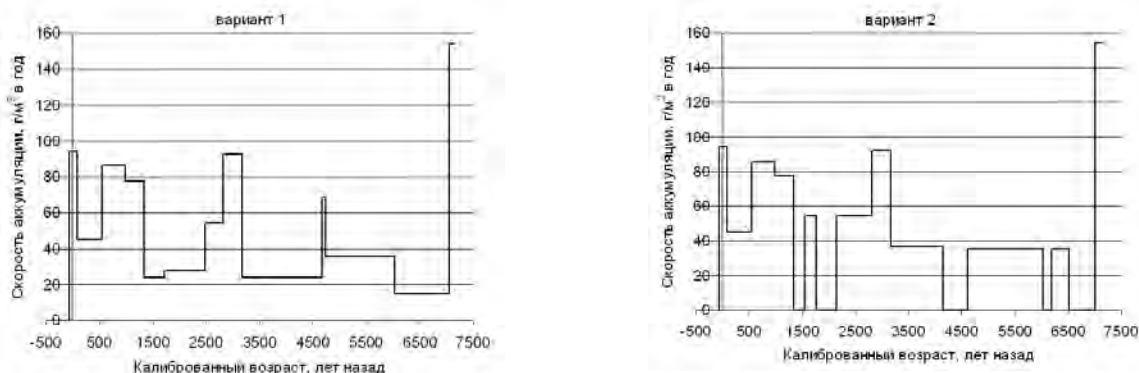


Рис. 2. Модели скорости аккумуляции органического вещества торфа по вариантам расчета: 1 – с равномерным торфонакоплением, 2 – с перерывами торфонакопления

доминировать *Sphagnum angustifolium*. Вак достигла максимальных значений (92 г/м² в год). 2660 л.н. сухое похолодание обусловило быструю смену на сообщество со *Sphagnum fuscum*. Стадия обсыхания была кратковременной. Уже около 2600 л.н. обводненность возросла, появились топяные сфагновые мхи (*S. balticum*, *S. majus*). Вак была высокой – 54,3 г/м² в год. С 2435 до 1790 л.н. и с 1790 до 1430 л.н. Вак составила лишь 27,2 и 23,9 г/м² в год. Приняв за аналог Вак нижезалегающего слоя, было получено, что обсыхание болота с формированием густого яруса сосны, повышением R и P торфа происходило с 2500 по 2250 л.н. Конец этой стадии совпадает с похолоданием, в максимум которого, около 2100 л.н. даже на южнотаежных болотах происходило пучение ММ бугров. Расчетный возраст возобновления торфонакопления (около 1850 л.н.) сфагновой сплавиной также совпадает с возрастом зарастания термокарстовых озер на этих и среднетаежных болотах. Расчетный возраст следующей стадии обсыхания с формированием пушицевого сообщества (197 см), пучением крупного ММ бугра и прекращением торфонакопления совпадает с сухим похолоданием около 1700 л.н. Зарастание озера мозаичной сплавиной из *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum* и *S. balticum*

произошло 1430 л.н., в период кратковременного потепления климата. Эта сплавина просуществовала в условиях прохладного климата практически в неизменном виде до 1180 л.н. В последующий теплый, влажный период климатического оптимума SA3 появился *S. fallax*, а около 1060 л.н. сформировалась проточная топь со *S. majus*. Вак снова стала высокой – 77,6 г/м² в год. В прохладный влажный Малый Ледниковый Период (МЛП) существовала сфагновая топь из *Sphagnum balticum*, затем – из *S. majus*. Вак возросла до 85,2 г/м² в год. Около 510 л.н. в период одного из сухих минимумов МЛП появилось сообщество со *Sphagnum fuscum*, существующее до настоящего времени. Вак понизилась до 45 г/м² в год. Сначала это сообщество было представлено высокими кочками или подушками, а около 115 л.н., сформировался сплошной моховой покров из *S. fuscum*. Вак повысилась до 94,1 г/м² в год.

Таким образом, в средней тайге Западной Сибири, в связи со значительными неоднократными нарушениями эндогенного развития болот криогенными процессами в периоды сухих похолоданий голоцена, получить наиболее объективные детальные реконструкции изменения их функционального состояния возможно лишь при учете прекращений аккумуляции торфа.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 13-05-98048 и ИП № 69

1. Волкова В.С., Гнибиденко З.Н., Горячева А.А. Климатическая ритмика голоцена центральной части Западно-Сибирской равнины (палинология, магнетизм) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. - Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2002. - С.48–57.
2. Елина Г.А., Юрковская Т.К. Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Ботанический журнал. - 1992. - Т. 77. № 7. - С.120–124.
3. Зубаков В.А. Глобальные климатические события плейстоцена. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 288 с.
4. Прейс Ю.И., Карпенко Л.В. Особенности стратиграфии, динамики и генезиса олиготрофных грядово-мочажинных комплексов среднетаежной подзоны Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. - 2005. - Т. 308. № 1. - С. 48–53.
5. Прейс Ю.И., Бобров В.А., Будашкина В.В., Гавшин В.М. Оценка потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. - 2010. - Т. 316. № 1. - С. 43–47.
6. Прейс Ю.И. Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юга лесной зоны Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова. - Томск, 2012. - С. 226–227.
7. Прейс Ю.И., Курьина И.В. Реконструкция высокого разрешения палеозокотопов болот южной тайги Западной Сибири как отклик на изменения климата голоцена // Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота / Под ред. М.В. Кабанова. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. - С.14–38.

ДРЕВНЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ УБСУНУРСКОЙ КОТЛОВИНЫ ANCIENT AGRICULTURE OF THE UBSUNUR BASIN

Т.Н. Прудникова

T.N. Prudnikova

Убсунурский международный центр биосферных исследований, Республика Тыва, Россия
Ubsunur Internatunial Biosphere Research Center, Republic of Tyva, Russia
Ubsunur_Center@mail.ru

Дистанционное зондирование космических снимков позволило обнаружить элементы древних агроирригационных ландшафтов в северо-западной Монголии на территории Убсу-Нурской Котловины - многочисленные очертания полей, оросительные системы и приуроченные к ним следы древних поселений.

Многочисленные очертания земельных наделов достаточно крупных размеров (до 200×500 м) дешифрируются в центре котловины восточнее озера Убсу-Нур на обширных плоских бортах долины Нарийн-Гол. Поля подчинены единому порядку и имеют правильные геометрические очертания.

Дистанционные наблюдения не обнаруживают питательные источники для их полива, но речной источник воды, в отличие, например, от орошаемых участков р. Тес-Хем, здесь отсутствует. Этот факт позволяет предположить существование богарного земледелия на этой территории в ранние исторические периоды.

Земледельческие наделы дешифрируются в верховьях р. Нарийн-Гол, протекающей в центральной части котловины среди развееванных и слабо закрепленных песков, и впадающей в озеро Убсу-Нур в восточной его части. Размеры земельных участков небольшие (от 10×10 м), имеют преимущественно прямолинейные очертания.

Долина р. Нарийн-Гол в своем верхнем течении контролируется зоной Эрзино-Агардагского тектонического разлома.

Эрзино-Агардагский разлом является сложно построенной дизъюнктивной структурой, которая протягивается от Котловины Больших озер Монголии до Бусийнгольской впадины [3].

Дешифрирование космических снимков позволяют понять динамику палеосейсмических дислокаций сегмента Эрзино-Агардагского разлома в районе верховий р. Нарийн-Гол.

В результате взбросовых движений блока земной коры, вмещающего хребет Агардаг-Тайга, произошло подпруживание верховий реки Нарийн-Гол, заболачивание территории, и, возможно, формирование небольшого озера. Река изменила направление своего русла, сместившись на расстояние около 4 км в юго-западном направлении по линии разлома. Старый желоб сухого русла реки шириной до 0.5 км и протяженностью около 20 км отчетливо дешифрируется на космических снимках.

Через какой-то промежуток времени река нашла выход к оз. Убсу-Нур, в результате чего озеро (если оно успело сформироваться) было спущено, болото частично осушено.

Результаты дистанционного зондирования автора согласовываются с результатами исследований Института земной коры СО РАН г. Новосибирска. По данным Аржанникова С.Г., Аржанниковой А.В., «...получены данные, свидетельствующие о сейсмогенной активизации Эрзино-Агардагского разлома в позднечетвертичное время. Так, например, отчетливо дешифрируются разрывные нарушения, деформирующие делювиально-пролювиальные шлейфы предгорной части, долины временных и действующих водотоков, террасовые комплексы [3]». Наиболее ярко взбросовые движения проявились в хребтах Хан-Хухэй, Агардаг-Тайга и Остроконечный Танну-Ола с амплитудой относительных перемещений до 0.5-1 км. [1].

К зоне Эрзино-Агардагского разлома тяготеют немногочисленные оазисы на участках небольших котловин среди эолово-дюнных ландшафтов с отчетливо дешифрируемой планировкой земледельческих участков.

Летом 2013 года состоялась международная монгольско-российская экспедиция по проекту Гранта РФО №31/2013-Н4 «Исследование исчезнувших земледельческих цивилизаций Центральной Азии». Были проведены заверочные работы по дешифрированию, посещены земледельческие участки оазисов, верховья Нарийн-Гол.

Река Нарийн-Гол в верхнем течении до настоящего времени находится в подпруженном состоянии, отдельные ее участки заболочены. С момента подпруживания реки на этой территории начали формироваться низинные торфяники.

Тектоническая активность Эрзино-Агардагского разлома была длительной и многоактной, что подтверждается присутствием в геологических и почвенных разрезах многочисленных слоев торфяников разных уровней и различной мощности.

Торф обладает многими достоинствами: хорошо удерживает влагу, содержит питательные вещества, имеет пористую структуру. В нем отсутствуют семена сорняков. Разлагаясь, торф снабжает растения углекислым газом, содержит биологически активные вещества повышающие устойчивость растений к различным заболеваниям [2].



Рис. Торфяники в верховьях р. Нарийн-Гол, правый борт. Монголия.
Фото Прудниковой Т.Н., 2013

Осушенные низинные торфяники - отличная пашня для выращивания сельскохозяйственных культур [3].

Выявленные при помощи дистанционного зондирования участки земельных наделов в верховье Нарийн-Гола тяготеют к зоне сформировавшихся и осушенных ранее торфяников (рис.).

Возможно, они (торфяники), благодаря своим положительным свойствам, были использованы ранее проживающими на этой территории земледельцами. В настоящее время основной хозяйственной деятельностью местного населения является кочевое скотоводство.

Карпологиический анализ торфяников, выполненный к.б.н. Кошкаровой В.Л. (Институт леса им. В.Н. Сукачева, СО РАН, г.Красноярск) определил характер растительного покрова исследуемой территории в момент накопления торфяников. Местная растительность была представлена елово-лиственничным злаково-осоковым сообществом, окружение было сформировано остепненными сосняками. О видовом составе

растительности свидетельствуют приведенные ниже анализы.

Образец № 13. Монголия, верховье р. Нарийн-Гол, правый борт. Торфяник. Глубина отбора пробы 1 м; дата отбора – 17.06.2013г.

Содержание ископаемых в остаточной фракции: *Picea obovata* Ledeb. (16 фрагментов хв, 8 фрагментов коры)

Pinus sylvestris L. (5 обл. чешуек шишек, 13 мелких угольков древесины)

Larix sibirica Ledeb. (2 фрагмента хв.)

Betula alba L. (1 фрагмент чеш. женской сережки)

Carex pediformis C.A. Mey. (2)

Carex sp. (3)

Arabis pendula L. (2)

Campanula rotundifolia L. (1)

Artemisia commutate Bess. (3)

Bromopsis inermis (Leyss.) Holub (3)

Присутствие леса (елово-лиственнично злаково-осоковые сообщества, остепненные сосняки) в центральной части Убсунурской котловины в позднечетвертичное время говорит о более мягких и влажных природно-климатических условиях этого региона Центральной Азии, благоприятных для земледелия. Помимо карпологиического анализа, присутствие леса на этой территории в недавнем прошлом подтверждается и забытым названием хребта Агардаг-Тайга, «Тайга» – в переводе в тувинского означает «лесистый». В настоящее время склоны хребта совершенно лишены древесной растительности. Присутствие лесов позволяет более уверенно предполагать существование богарного земледелия на этой территории, отмеченное выше. Использование торфяников должно свидетельствовать о «зрелой» культуре земледелия местного населения.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО №31/2013-Н4: «Исследование исчезнувших земледельческих цивилизаций Центральной Азии», а также при поддержке гранта РГНФ-№13-11-17002

1. Аржанников С.Г., Аржанникова А.В. Палеосейсмогенная активизация Большеозерского сегмента Эрзино-Агардагского разлома // Вулканология и сейсмология. Изд-во «Наука» (Москва) ISSN: 0203-0306. - 2009. - № 2. - С. 56-66.

2. Использование торфа в земледелии. prime-flowers.ru›ispolzovanie-torfa

3. Применение торфа в сельском хозяйстве. bioresurs.pulscen.ru›news/169488

ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

LANDSCAPE-CLIMATIC CHANGES ON THE SOUTH OF WEST SIBERIA IN LATE HOLOCENE

И.В. Хазина, Л.Б. Хазин*

I.V. Khazina, L.B. Khazin*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

*E-mail: KhazinaIV@ipgg.sbras.ru

В настоящей статье приведены результаты палинологического и микропалеонтологического изучения ряда разрезов верхнеголоценовых отложений, расположенных на территории лесостепной зоны Западной Сибири.

Многими исследователями было показано, что на границе суббореального и субатлантического периодов голоцена имело место похолодание и увлажнение климата (Хотинский, 1977; Левина, Орлова, 1993; Бляхарчук, 2010; и др.). На примере ряда недавно изученных разрезов мы хотели бы показать, как это изменение климатических условий отразилось на составе ассоциаций остракод и палинологических комплексов.

Объектами исследования являются следующие разрезы: 1 – озерные осадки оз. Малые Чаны (54°33' с.ш.; 77°59' в.д.) (остракоды); 2 – озерные осадки оз. Чича (54°42' с.ш.; 78°34' в.д.) (остракоды и палинология); 3 – сапропелевые и торфяные отложения оз. Белое (55°39' с.ш., 82°70' в.д.) (остракоды и палинология).

Во всех приведенных разрезах имеются радиоуглеродные даты. Интересующий авторов временной отрезок представлен следующими: 3050±50 (Isa100110), 2490±40 (Ica100028) – оз. Малые Чаны; 3160±25 (OS-54429), 3495±50 (AA-60200) – оз. Чича и 3190±40 (Beta-190690) оз. Белое.

Разрез оз. Малые Чаны имеет мощность 360 см и сложен: в нижней части коричневатожелтыми алевритистыми песками (360–260 см), выше по разрезу серыми глинистыми песками, серыми суглинками и суглинистыми сапропелями. В разрезе выделено 4 ассоциации остракод. Первая на глубине 360–170 см состоит из видов *Cyrideistotosa*, *Limnocythereinopinata*, *Sarscypridopsisaculeata*, *Heterocyprisalina*, *Eucyprispareotica*, из которых первые два представлены тысячами створок и раковин. Ассоциация соответствует теплым, солоновато-водным условиям. Вторая ассоциация остракод (170–100 см) с вышеуказанными датами состоит из *Cyrideistotosa*, *Limnocythereinopinata*, *Candonarawsoni*, *C. muelleri*, *C. candida*, *C. weltneri*, *Darwinilastevsoni*, *Ilyocyprisgibba*,

I. bradyi (170–100 см). Похолодание, распространение видов подсемейства *Candoninae*, повышение уровня воды, снижение солёности. В составе третьей ассоциации (100–65 см) наблюдается снижение количеств створок кандонидовой группы, что свидетельствует о непродолжительном потеплении, сопровождающимся падением уровня воды в озере. В интервале 65–0 см в ассоциацию остракод добавились холодолюбивые виды *Fabaeformis candona fabaeformis* и *F. levanderi*, что дает основания предположить понижение температуры и солёности воды, с минимумом на отметке 65 см. Холодный этап продолжился, предположительно, до верхней части слоя 1, где на отметке 20 см сменился на более теплый, близкий к современному.

Разрез оз. Чича имеет мощность 540 см и представлен: в нижней части (540–480 см) светло-серыми песками с обломками раковин моллюсков, в средней части (480–300 см) серыми, коричневато-серыми суглинками с раковинами моллюсков, корнями и остатками растений, далее (300–40 см) слоями серых супесей, суглинков, песков и в верхней части (40–0 см) пойменной почвой. Детально палинологические данные опубликованы ранее (Хазин, Хазина, 2008).

В течение формирования озерных отложений озера растительность района исследований не оставалась стабильной. Начало накопления озерных отложений относится к средней части суббореального периода. В это время на рассматриваемой территории произрастали березовые леса в сочетании с полынно-марево-злаковыми группировками возможно несколько ближе, чем в настоящее время находится граница сосновых лесов. Характер полученных спектров отражает растительность современной лесостепи. Спорово-пыльцевые спектры третьей палинозоны формировались в конце суббореального периода. В это время березовые леса играли меньшую роль, видимо, береза произрастала на разрозненных колках. Озеро было окружено тростниками, на плакорах были распространены полынно-марево-разнотравные ассоциации.

В результате изучения остракодв отложений разреза Чича можно выделить 4 ассоциации. Первая ассоциация остракод (540–500 см) крайне скудна, присутствуют виды *Cytherissalacustris*, *Cyprideistorosa* и *Limnocythereinopinata*. Наличие вида *Cytherissalacustris* свидетельствует о низкой температуре и минерализации воды. Следующая (II) (500–450 см) характеризуется исчезновением *Cytherissalacustris*, увеличением количества створок *Cyprideistorosa*, *Limnocythereinopinata*, появлением видов *Sarscypridopsisaculeata*, *Eucyprismareotica* и *Heterocyprisalina*. Также в середине интервала появляется вид *Ilyocyprisgibba*. В целом ассоциация соответствует условиям неглубокого солоноватоводного бассейна. На глубине 455 см происходит очередная перестройка ассоциации (III) – выпадают теплолюбивые виды *Sarscypridopsisaculeata*, *Eucyprismareotica*, *Heterocyprisalina*, чуть выше этой границы исчезает *Ilyocyprisgibba*, еще немного выше *Limnocythereinopinata*. На их место приходят холодолюбивые виды семейства Candonidae – *Fabaeformiscandonafabaeformis*, *F. harmsworthi*, *C. candida*, *C. neglecta*, *C. rawsoni*, *C. weltneri*. Окончание этого интервала на глубине 375 см ознаменовывается прекращением распространения вида *Candonacandida* и возвращение в спектр теплолюбивых *Ilyocyprisgibba* и *Limnocythereinopinata*. Также вблизи этой границы (немного ниже) появляются *Trajancyprislaevis*, *Cypridopsisvidua* и *Cyclocyprislaevis*, последний получает распространение до самых верхов разреза. Эта ассоциация (IV) распространяется до верхней части озерной толщи, где по литологическим признакам дешифрируются лиманные отложения. В самом верху опять появляется холодолюбивый *Candonacandida*, уменьшается количество створок *Cyprideistorosa*, появляется теплолюбивая форма *Cyprispubera* и увеличивается количество створок *Limnocythereinopinata*.

Разрез оз. Белое имеет мощность 290 см, в разрезе выделяется два слоя: нижний – коричнево-черного цвета (сапропели оторфованные или торфяная гиттия), и верхний – серого цвета (сапропели карбонатные или карбонатная гиттия). Слои различаются по зольности, степени разложения растительных остатков и карбонатности, достигающей в верхнем слое 30%. Нижний слой формировался за счет обилия макрофитов (рдестов, ряски и кувшинковых), диатомовых и зеленых водорослей, осадки верхнего слоя формировались из остатков харовых водорослей и наяд. Смена типа осадконакопления произошла около 3050 лет назад. Подробные данные по этому разрезу опубликованы в статьях (Хазина, 2006; Krivonogov et al., 2012).

Анализ полученных спорово-пыльцевых данных позволяет сделать вывод, что в течение

формирования органогенных отложений озера Белое региональная растительность района исследований была стабильной, озеро, как и в настоящее время, окружали березовые леса. На отдалении находились сосновые леса, откуда в озеро заносилась пыльца *Pinussylvestris*. Локальные же условия водоема претерпевали изменения. В начале суббореального периода (первая палинозона) условия были влажными и теплыми, на что указывает большое количество пыльцы водных растений: рогоза, рдеста, ежеголовника, урути, кувшинки, кубышки, ряски. Берег периодически затапливался водой. Во второй половине суббореального периода (вторая палинозона) озеро окружали заболоченные участки, на которых произрастали папоротники, хвощи, телиптерис болотный, имело место иссушение климата. В самом бассейне произрастало все также много водных трав. Условия озера в это время благоприятствовали широкому развитию диатомовой флоры, что также является показателем теплых обстановок и мелкого водоема.

Начало формирования сапропелей почти совпадает с началом субатлантического периода (третья палинозона). По берегам водоема расселилась кустарничковая березка. Резко уменьшилось разнообразие и количество водных растений. Почти полностью исчезли диатомеи, но появились сообщества остракод, комплекс которых является показателем сравнительно холодных обстановок. Происходило некоторое похолодание и увлажнение климата. Со второй половины субатлантического периода растительность района озера Белое приобрела современные черты. Акватория окружена тростниками, камышами, осоковыми сообществами. В самом озере произрастают рдест, ряска, уруть и другие водные растения. В конце субатлантики начала восстанавливаться диатомовая флора.

Ассоциация остракод оз. Белое состоит из видов *Candonacandida*, *Pseudocandona stagnalis*, *P. sarsi*, Candoninae spp. juv., *Limnocytherinasanctipatricii*, *Darwinulastevensoni*, *Cyclocyprislaevis*, причем все эти виды более или менее равномерно распределены по всему разрезу. В целом ассоциация отвечает условиям существования холодноводного водоема с соленостью в первые промилле.

Выводы. В разрезах оз. Малые Чаны, оз. Чича и оз. Белое получены даты 3050 ± 50 , 3160 ± 25 и 3190 ± 40 лет, соответственно, благодаря чему можно сопоставить события, происходящие с этими водоемами, какодновременные. При сравнении ассоциаций остракод этого временного интервала можно заметить, что выше во всех трех разрезахполучают развитие остракоды холодолюбивой группы кандонид (увеличивается таксономическое разнообразие и количество створок) – во всех разрезах на этой отметке

появляется *Candonacandida*, в оз. Малые Чаны и оз. Чича – *Candonarawsonii* и другие виды этого семейства, увеличивается количество личинок подсемейства *Candoninae*. Очевидно, что во всех этих разрезах отразился период похолодания.

В составах палинологических комплексов этот этап увлажнения и похолодания выразился в отсутствии пыльцы термофильных пород, уменьшении разнообразия и количества пыльцы водных растений (Белое), увеличении содержания (в том числе и количественного) пыльцы кустарничковой березки (Белое, Каякское займище (Левина и др., 1987)), увеличением содержания пыльцы пихты (Жуковское

(Борисова и др., 2005), Гладкое (Фирсов, Волкова и др., 1982)), максимумами спор *Sphagnum* (Жуковское, Каякское займище). Присутствие спор *Sphagnum* в слоях позднего голоцена отражает процесс распространения олиготрофных сфагновых болот. В этот период даже в подзонах подтаежных лесов и лесостепи возникали торфяные массивы (Лисс и др., 2001). Повсеместно возросли скорости торфонакопления, так для разреза Гладкое авторами отмечается, что самый благоприятный период для накопления торфа – суббореальный. Все это еще раз свидетельствует об увеличении влажности климата в конце суббореала.

1. Бляхарчук Т.А. Послеледниковая динамика растительного покрова Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области (по данным спорово-пыльцевого анализа болотных и озёрных отложений). Автореф. дис. на соискание уч. ст. докт. биол. н. - Томск, 2010. - 43 с.
2. Борисова О.К., Зеликсон Э.М., Кременецкий К.В., Новенко Е.Ю. Ландшафтно-климатические изменения в Западной Сибири в позднеледниковье и голоцене в свете новых палинологических данных // Известия РАН. Серия географическая. - 2005. - № 6. - С. 38–49.
4. Левина Т.П., Орлова Л.А. Климатические ритмы голоцена юга Западной Сибири // Геология и геофизика. - 1993. - Т. 34, №3. - С.38–55.
5. Левина Т.П., Орлова Л.А., Паньчев В.А., Пономарева Е.А. Радиохронметрия и пыльцевая стратиграфия голоценового торфяника Каякского займища (Барабинская лесостепь) // Региональная геохронология Сибири и Дальнего Востока / Труды Института геологии и геофизики СО АН СССР. № 690. - Новосибирск: Наука, 1987. - С. 136–143.
6. Лисс О.А., Березина Н.А., Куликова Г.Г. Возраст болот центральной части Западно-Сибирской равнины // Природные условия Западной Сибири. Вып. 6. - М., 1976. - С. 69–85.
7. Фирсов Л.В., Волкова В.С., Левина Т.П., Николаева И.В., Орлова Л.А., Паньчев В.А., Волков И.А. Стратиграфия, геохронология и стандартная спорово-пыльцевая диаграмма голоценового торфяника болота Гладкое в Новосибирске (Правые Чемы) // Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. К XI Конгрессу INQUA в СССР. Москва, 1982 / Труды Института геологии и геофизики СО АН СССР. Вып. 521. - Новосибирск: Наука, 1982. - С.96–107.
8. Хазин Л.Б. Хазина И.В. Микропалеонтологический и палинологический анализы верхне-голоценовых отложений разреза Чича-1 (Новосибирская область) // Новости палеонтологии и стратиграфии: Приложение к журналу Геология и геофизика. - 2008. - Т.49. №10–11. - С. 473–476.
9. Хазина И.В. Реконструкция природно-климатических обстановок среднего - позднего голоцена Новосибирского Приобья (по палинологическим исследованиям озера Белое) // Геология и геофизика. - 2006. - Т.47. № 8. - С.965–972.
10. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. - М.: Наука., 1977. - 197 с.
11. Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamoto M., Preis Yu.I., Khazina I.V., Khazin L.B., Kuzmin Ya.V., Safonova I. Yu., Ignatova N.V. Regional to local environmental changes in Southern Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. - 2012. - Vol. 331–332. - P. 177–193.

Section 4

**Anthropogenic Impact on Mires:
Melioration, Reclamation,
Protection of Mires
and Wetlands**

**Хозяйственное воздействие
на болота: мелиорация,
технологии рекультивации,
охрана болот
и болотных территорий**

RECENT TRANSFORMATION OF PEAT BOGS IN LITHUANIA

Ieva Baužienė, Jonas Mažeika, Julius Taminskas

State Research Institute Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania
E-mail: leva.bauziene@geo.lt

Lithuania is situated in a cool temperate and 5-6 climate hardiness zone. According to several different estimations, peatlands occupy 9.9% of the territory. Mires or peatlands where peat is currently being formed (Joosten & Clarke, 2002) compose 2.7% of the territory of Lithuania. 72% of peatlands are drained and some of them are cultivated. Raised (ombrotrophic) bogs occupy only 7.7% of the overall peatlands' area and about 59% of them are pristine or semi-pristine. Transformation of Lithuanian peatlands by human activities (land drainage) on a national scale was carried out in the second half of the 19th century, when the demand for peat as an energy source grew up (Taminskas et al, 2011). The peat mining during past years is twice as big as at the beginning of the 20th century and it is dated to quarter

of peat extraction in 1960-1980. Presuming annual peat production is about 1 mm, then net primary production (NPP) of all the pristine bogs of Lithuania does not exceed the recent annual peat extraction.

The radioisotope dating method has been applied recently to evaluate the production of all productive peat bogs. The specific activity of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs for dating was determined by gamma spectrometry in peat ash samples (produced from natural peat slices of 1 or 2 cm of initial thickness) and the chronological attribution was performed according to the constant rate of supply (CRS) model (Appleby & Oldfield 1978, Appleby 2001). The peat cores for dating were collected in three different raised bogs: state strict reserve (RAMSAR territory) Čepkeliai, pristine raised bog Žudiškių-Raudonoji and semi-pristine part of exploitable raised bog Rėkyva. The highest resolution of NPP was received for Čepkeliai and Žudiškių-Raudonoji raised bogs, because their production was substantially higher than in Rėkyva till the beginning of the 21st century. The peat production during the 20th century is comparable with data received from radioisotope dating in West part of Lithuania (Mažeika, 2006).

The increased value of NPP for Rėkyva raised bog in 2000-2010 can be the result of fires and changing of the peat and ecosystem composition towards boggy forest. The increased NPP for Žudiškių-Raudonoji raised bog from the beginning till the middle and at the 9th decade of the 20th century (Fig.) coincides with highest wetness index: (P-PET) > 350 mm in series of the following years 1926, 1933, 1955 and 1984.

Despite the spot character of the data obtained from the peatlands with different anthropogenic impact, it can be assumed that the most of the raised bogs are productive. Peat production was increasing during wet periods by several times in comparison to dry years of the 20th century. The natural Čepkeliai and Žudiškių-Raudonosios raised bogs' production is for 1.5-2.1 times more of peat than in Rėkyva during the period of 1925-2000.

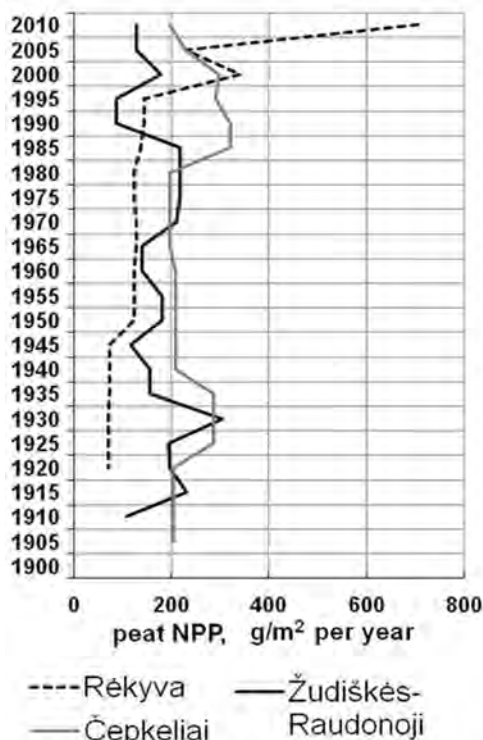


Fig. Peat production of three ombrotrophic raised bogs in Lithuania

1. Appleby, P.G. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. *In.*: Last, W.M. & Smol J.P. (Eds.) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001. - P. 171-203.
2. Appleby P. G., Oldfield F. The calculation of ²¹⁰Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported ²¹⁰Pb to the sediment // *Catena*. - 1978. - 5. - P. 1-8.
3. Joosten, H. & Clarke, D. Wise use of mires and peatlands. International Mire Conservation Group and International Peat Society. - Saarijärvi Offset Oy, Finland, 2002. - 304 p.
4. Mažeika J. Use of lead-210 and carbon-14 in investigations of peat accumulation in Aukštumala raised bog, western Lithuania // *Baltica*. - 2006. - 19(1). - P. 30-37.
5. Taminskas J., Pileckas M., Šimanauskienė, R. Linkevičienė, R. Lithuanian wetlands: classification and distribution // *Baltica*. - 2011. - 24. - P. 151-162.

NATURAL VALUES OF HUNGARIAN MIRES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE: A REVIEW

Sz. Czóbel^{1*}, Cs. Gyuricza², M. Molnár¹, J. Schellenberger¹, P. Trenyik¹, O. Szirmai³, K. Neumann¹, A. Barczí¹

¹ Department of Nature Conservation & Landscape Ecology, Szent István University, 2100 Gödöllő, Hungary

*E-mail: Czobel.Szilard@mkk.szie.hu

² Institute of Plant Production, Szent István University, Gödöllő, Hungary

³ Botanical Garden, Szent István University, Gödöllő, Hungary

Introduction

Peatlands are the most widespread of all wetland types in the world, representing 50 to 70% of global wetlands. They cover over 3% of the land and freshwater surface of the planet. In these ecosystems are found one third of the world's soil carbon and 10% of global freshwater resources. These ecosystems are characterized by the unique ability to accumulate and store dead organic matter from *Sphagnum* and many other non-moss species, as peat, under conditions of almost permanent water saturation. Peatlands are adapted to the extreme conditions of high water and low oxygen content, of toxic elements and low availability of plant nutrients. Their water chemistry varies from alkaline to acidic. Peatlands occur on all continents, from the tropical to boreal and Arctic zones from sea level to high alpine conditions. A mire is a peatland where peat is currently being formed. It is difficult to test in practice whether or not peat is accumulating. The dominance in the vegetation of species, whose remains are also found in peat, can together with the incidence of almost permanent waterlogged conditions, be taken as good indicators of peat formation (Joosten & Clarke, 2002).

Hungary lies in the middle of the Carpathian Basin surrounded by mountains. This unique geographical features, its climate, its hydrological characteristics and topographic and lithologic diversity allowed the evolution of diverse landscapes and a rich flora. The country constitutes a specific ecological unit, making up a substantial part of the Pannonian biogeographical region (http1). The region is connected to the flora of the Carpathians, the Eastern Alps and the West Balkans. This poses a challenge and puts major responsibility on Hungary to maintain these natural assets and facilitate the continued connection with the surrounding biogeographical regions. An evidence for this connection is the significant number of glacial relicts occurring in the mires (Dömsödi, 1980). Hungarian mires have been considered relicts of glacial vegetation (Zólyomi, 1931), but on the basis of new paleoecological studies, the recent vegetation of these mires are considerably younger (Willis et al., 1997). Mires of the Carpathian Basin are associated to ponds, rivers (e.g. oxbows), low-lying, undulating surfaces, landslide areas of hilly and mountainous areas. Their water supply is provided by soil water,

stagnant water or infiltration. They produce sedge, reed, moss and *Sphagnum* peat. They can be floating islands, rich fens, raised bogs, swamp woodlands or flushes. Based on characteristic of peat layer they can be calciferous, ferrous, acidic, neutral or alkaline. Based on morphology lowland mires are characteristic for Hungary, while raised bogs are the rarest (Dömsödi, 1980).

Destruction of mires

According to the competent international scientific literature, one percent of the the World's surface is covered by mires. This figure is roughly the same that characterized coverage of mires in Hungary before water regulation (1,1%). This was not a small area, since climate of the Carpathian Basin is not the most appropriate for classical mire development. The extent of European mires of has shrunk from its estimated 495 000 square km to the present 187 000 square km within a few decades. This means about 62% loss of this habitat. The loss of mires in Hungary is over than an estimated 97%. Our extensive mire systems like e.g. Ecsediláp, Sárrét, and Hanság had been lost during water regulation works in the 19th and 20th centuries. Agricultural intensification forced after the World War II had destroyed those remnants of mires survived adverse influences of water regulation works. Those that had not been ploughed up, were used intensively as hay meadows or grazing areas. Mining had also negative effect on mires. As a consequence of peat mining *Andromeda polifolia* and *Drosera anglica* has become extinct from Hungary. Vegetation of remnants of mires is also threatened by environmental pollution. Because of surplus Nitrogene, certain species (e.g. reed) are spreading or aggressive, invasive species, like *Solidago canadensis* and *S. gigantea* invade mires pushing out true mire dweller species. Dry years of eighties and nineties had serious impact on mires. Concerning naturalness, signs of degradation could be observed in almost half of listed mire sites. These are caused by various reasons, but lack of water is the most important threat to them (Sulyok, 2003).

Conservation of mires

As for paragraph 2 in Article 23 of Act on Nature Conservation No. LIII of 1996, by virtue of the law, all mires are nationally protected in the country. This so-called *ex lege* protected status of mires is destined to provide enhanced protection for the existing fragments of mires and accompanied

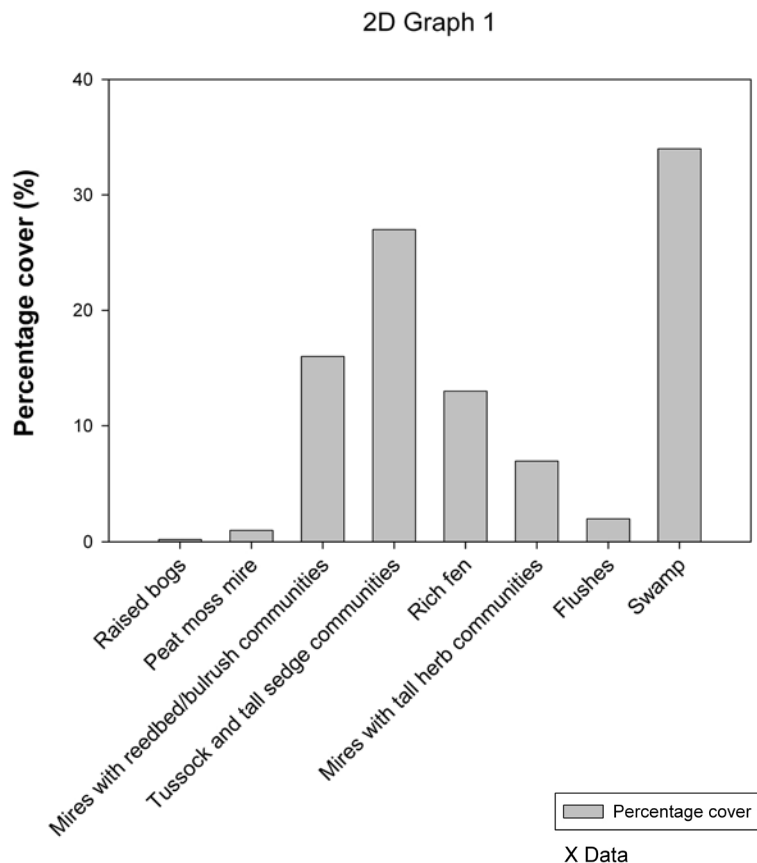


Fig. Mire types in Hungary (source Sulyok, 2003)

communities that are of outstanding value not only in biodiversity. About one third of Hungarian mires are located already in protected areas. Considering the rapid loss of them, a new approach should have been chosen for conservation of mires that are small sized and in many times difficult to recognize. Where it is possible, the next step is to restore former mires or that had been degraded or whose water supply had been damaged. Altogether more than 1000 sites of mires had been registered in the mire inventory project in the territory of the nine national park directorates. Based on the data, the most frequent areas in terms of mires are located in central, southern and southwestern parts of Transdanubia, the western part of sandy area of Danube-Tisza Interfluvial, furthermore in Nyírség. Only one tenth of Hungarian mires fall to rich fen category, while mires with closed reed beds or bulrush beds and tussock sedge communities are quite common in Hungary (Fig.). There are altogether 13 different mire types in Annex I of Habitat Directive (92/43/EEC) of the European Union that came into force in 1992 in countries of EU. All of them are core areas of the of EU's ecological network, namely Natura 2000 network (Sulyok, 2003). Out of the 13 nominated mire types only two occur in Hungary. Transition mires and quaking bogs (Natura 2000 code:7140) are found mainly in the westernmost part of the country and sporadically along the Hungarian Mid-Mountains. The total area of 40 such registered transition mires is less than 10 ha (Király & Szmorad,

2014). The central part of Nyíres Lake (0.3 ha), near Beregdaróc (East Hungary) is the only remaining active raised bog (Natura 2000 code:7110) in Hungary with noticeable number of protected and relict taxa, like *Vaccinium oxycoccus*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum magellanicum*. Based on palinological data the age of the mire is estimated for 9 000 years old (Máté, 2014). Hungarian mires have fairly diverse vegetation. In addition different types can be very close to each other forming a mosaic pattern, enriching the ecosystems of these habitats. Twenty-four *Sphagnum* taxa occur in Hungary (Farkas, 1999). Their major habitat types are small, disjunct mires. The absence of high mountains, the high proportion of calcareous bedrock and the continental climate of Hungary is not suitable for *Sphagna*, hence they are rare and protected by law (Szurdoki & Odor, 2004).

Mires types and their floristic values

Vegetation types of mires are presented including those types having an ability for peat formation. Eutrophic reedbeds are fairly common everywhere in flowing or stagnant water. A net is sometimes formed from the rhizomes and other parts of reed enabling absorbing plant detritus. On this surface other plant species can survive like *Carex pseudocyperus* and *Thelypteris palustris*. As peat formation proceeds, the floating sward becomes floating island on which later shrubs and trees can settle. Floating islands could also be developed in *Typhetum angustifoliae* or other (e.g. *Glycerietum maximae*) communities. Another type of mire vegetations is the tall sedge community composed of taller sedge species. A more or less permanent water level created generally by snow melting. The medium-tall vegetation type can be tussock- or blanket-like. The predominant species of this spectacular habitat are *Carex elata*, *Carex appropinquata* and *Carex paniculata*. Among tussocks, dark brown colored open water patches can be seen that host rare aquatic plant species, like *Sparganium minimum* and *Menyanthes trifoliata* (Lájer, 1998; Sulyok, 2003).

Smaller sedge and *Cypressus* species form lowland peat moss mires and communities of open water patches among tussocks. They are generally characterized by highly-developed moss layer, forming an intact moss cover. Their habitat has permanent water level and nutrient-poor environment. The most representative of them is peat moss mires with the predominant *Sphagnum* species. Principally they are glacial relicts therefore quite vulnerable. Characteristic species are sedges, like *Carex nigra*, *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*. The protected *Eriophorum*

angustifolium is often seen here. Raised bogs that are typical in the boreal life zone, are special type of them. Nevertheless they occur in mountainous, hilly and even in lower elevations. Raised bogs are characterized by thick *Sphagnum* moss layer that raises over the surrounding area with peat material. Even 'peat moss tussocks' can be observed in them. It is a rich habitat in rare and characteristic plant species like *Drosera rotundifolia*, *Vaccinium oxycoccos* and *Eriophorum vaginatum*. These are all typical species in the boreal region, but in Hungary they are glacial relicts. Calcareous rich fens occur on meadowmire soils rich in Calcium ions. This type is usually wet in the beginning of vegetation period and they occur mainly in lowlands and at the feet of hills. The peculiar *Schoenus nigricans* and *Sesleria uliginosa* blooming in spring and many rare orchids are worth to mention. As a species of outstanding nature conservation value, the *Primula farinosa*, a strictly protected relict species of calcareous rich fens should be mentioned. It is certainly worth to describe the hidden aquatic vegetation in brown colored open water bodies of mires, where different carnivorous taxa could be found, like *Utricularia minor*, *Utricularia bremii* and *Aldrovanda vesiculosa*. Due to their rareness, communities of them are also fairly rare and have limited extent in Hungary. Finally wooded mires called as swamps should also be mentioned that have wooded upper layer in their structure. This group consists of swamp woodlands and willow scrubs. In Hungarian swamps *Alnus glutinosa* forms mixed communities with *Fraxinus angustifolia* ssp. *hungarica* and *Fraxinus excelsior* species. The previous is typical in swamps of Great Plain, the latter in mountainous areas. The dark water under the canopy host aquatic species. One of the most attractive ones is *Hottonia palustris* that often creates pink colored carpet in the undergrowths. On the feet of trees ferns live like *Thelypteris palustris*, *Dryopteris carthusiana*, furthermore other species like *Carex elongate*. In birch mire woodlands even high forests composed of lower trees is formed.

Besides Grey Willow, *Salix aurita* and *Salix pentandra* can also be mentioned. A rare relict species of floating islands or mires with proper water supply is *Comarum palustre*. Another rare species are *Trollius europeus*, or *Ligularia sibirica*. The latter is a formerly extinct and reintroduced species (Lájer, 1998; Sulyok, 2003).

The possible impacts of global climate change on the Hungarian mires

Many of the major factors that influence these mires are due to human activities, including increasing atmospheric nitrogen deposition, land-use and landscape fragmentation, changing surface and groundwater nutrients and chemistry, species loss, alien invasive species, and now climate change. Special attention should be paid to the expectedly significant regional impacts of climate change, leading to a higher vulnerability of the natural flora. Effects of decreasing precipitation, drought and extreme weather phenomena can unambiguously be traced in the Hungarian mires. Macro-climatic conditions have already created a critical situation for the remaining mires. A relatively small rise of the temperature and small decrease of precipitation can induce changes that are having an impact on this fragile ecosystem. Definitely degrading impacts are expected, which cannot be rectified by the natural self-regulating mechanisms due to generally small mires, however could be counterbalanced by the human interventions. The increased vulnerability of mires with respect to climate change refers to several impacts, such as accelerated mire degradation, alteration of plant and animal distributions; loss of biodiversity; habitat invasions by non-native species, changes in plant regeneration and ecosystem nitrogen dynamics, increased mortality due to climate stresses; changes in the seasonality and intensity of precipitation, increased probability of severe droughts; decreased health and vitality of mire ecosystems due to the cumulative impacts of multiple stressors.

The research was funded by the project „Excellence in Faculty Research Support-Research. Centre of Excellence, Ministry of 8526-5/2014/TUDPOL”.

1. Dömsödi J. Classification of Hungarian mires and peatlands (In Hungarian) // Földrajzi Értesítő. - 1980. - 29. - P. 485-495.
 2. Farkas S. Protected Wild Flowers in Hungary (In Hungarian). - Mezőgazda publisher, Budapest, 1999. - 416 p.
 3. Joosten H. & Clarke D. Wise use of mires and peatlands: Background and Principles. International Mire Conservation Groups / International Peat Society. Saarijärvi, 2002.
 4. Király G. & Szomorad F. Transition mires and quaking bogs. In: Haraszthy L. (Ed): Natura 2000 species and habitats in Hungary, Pro Vértes Közalapítvány, Csákvár, 2014. - 845-848 p. (In Hungarian)
 5. Lájer K. Introduction to vegetation ecology of Hungarian mires. Tilia 6, 1998. - P. 84-238. (In Hungarian)
 - Máté A. Active raised bogs. In: Haraszthy L. (Ed): Natura 2000 species and habitats in Hungary, Pro Vértes Közalapítvány, Csákvár, 2014. - 849-850 p. (In Hungarian)
 - Sulyok J. Mires. National Ecological Network No. 3. Authority for Nature Conservation, Ministry of Environment and Water, Budapest, 2003.
 - Szurdoki E. & Ódor P. Distribution and expansion of *Sphagnum fimbriatum* in Hungary // Lindbergia. - 2004. - 29. - P. 136-142.
 - Willis K.J., Braun M., Sümegei P., Tóth A. Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary // Ecology. - 1997. - 78. - P. 740-750.
 - Zólyomi B. *Sphagnum* mires of Bükk Mountains and its surrounding // Botanikai Közlemények. - 1931. - 28. - P. 89-121. (In Hungarian)
- http1: <http://www.eea.europa.eu/soer/countries/hu/nature-protection-and-biodiversity-why>
 http2: http://www.termeszetvedelem.hu/_user/downloads/nok/Mires%28angol%29.pdf

ВЛИЯНИЕ ОГНЯ НА ГРУППОВОЙ СОСТАВ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ FIRE INFLUENCE ON GROUP COMPOSITION OF DRAINED PEAT SOILS

И.А. Бадмажапова¹, А.Б. Гынинова²
I.A. Badmazharova¹, A.B. Gyninova²

¹ Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия

¹ Buryat State University, Ulan-Ude, The Republic of Buryatia, Russia

² Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

² Institute of Common and Experimental Biology, Ulan-Ude, The Republic of Buryatia, Russia

Особый интерес для изучения представляет состояние органического вещества осушенных болотных почв. Наиболее изучен состав органического вещества естественных и мелиорированных болотных почв Западной Сибири (Шинкеева, 2009; Ефремова, 2006; Гостищева, 2010), Белоруссии (Бамбалов, 1998), также Дальний Восток (Климин и др., 1995). Между тем, осушение болотных почв наряду с положительным эффектом для сельскохозяйственного производства чревато возрастанием пожарной опасности. В отличие от пожаров на болотах с естественным режимом, они часто сопровождаются целым рядом негативных последствий, в том числе, полным выгоранием плодородных торфяных горизонтов до минерального дна. Слабо изучено гумусное состояние пирогеннопреобразованных почв. На крупнейшей в Бурятии осушительной системе в дельте р. Селенга почти ежегодно происходят пожары, последствия которых до настоящего времени не изучались. В условиях континентальности климата изменения почв, происходящие при пожарах, и пути их восстановления, очевидно, будут иметь региональные особенности. Исследование трансформации болотных почв в результате пожаров актуально как с точки зрения изучения послепожарного состояния, так и особенностей восстановления в условиях Байкальского региона.

Целью работы является исследование влияния огневого фактора на групповой состав органического вещества осушенных торфяных почв.

Объекты и методы

Работы проводились в 2011 г. на территории Посольской мелиоративной системы в Кабанском районе Республики Бурятия. Объекты исследования – низинные осушенные торфяные и торфяно-глеевые почвы Посольского болота и их пирогенные аналоги. Площадь болотного массива – 237,87 км². Активные работы по осушению были проделаны 1960-х гг. Площадь мелиоративной системы – 87,62 км².

На осушенной территории было заложено два ключевых участка с почвами, пройденными пожаром в 2010 г. (ключевой участок №1), и 2004 г. (ключевой участок №2). Для контроля были взяты почвы, не подвергшиеся действию огня. В

полевых условиях проводилось морфологическое описание почвенных разрезов (Бадмажапова, 2012) и отбор образцов почв на химические анализы.

Ключевой участок №1. Профиль мелиорированной торфяной почвы (разр. 2-11) имеет строение: Т1–Т2–Т3–ТМ(торфо-минеральный)–BCG–CG. В результате воздействия огня в 2010 г. профиль приобрел строение: П (пирогенный)–BCG–CG (разр. 3-11). Территория пожарища почти полностью лишена растительности, только местами единично встречаются кипрей и полынь.

Ключевой участок №2. Строение мелиорированной торфяно-глеевой почвы: А0–Т1–Т2–BCG–Апогр–CG (разр. 5-11). Под торфяной толщей обнаруживается насыпной песчаный горизонт BCG, под ним располагается погребенная почва. Профиль пирогенного образования (через 7 лет после пожара): А0–П_{пир}–А1–CG (разр. 4-11) признаков погребения не обнаруживает. Благодаря использованию питательных элементов золы территория пожарища покрыта мощной травянистой растительностью, среди которой преобладали кипрей, вейник, полынь, мятлик, тысячелистник. Кипрей, как один из первых поселенцев гарей, на значительных территориях образует заросли.

Групповой состав исследованных почв определялся методом Кононовой-Бельчиковой (1963). Общий углерод методом Тюрина в модификации Янишевского Ф.В. и др. (2000). Результаты обрабатывались статистически (Microsoft Excel, 2010).

Результаты и обсуждение

Основным процессом в освоенных торфяных почвах является глубокая трансформация органического вещества, приводящая к минерализации (Бамбалов, 1984). Для группового и фракционного состава осушенных почв характерно: высокая степень гумификации, гуматный состав с процентным содержанием ГК 22–24 % и ФК – 3–9 %. Характерно высокое содержание нерастворимого остатка.

Определение группового состава органического вещества низинных торфяных почв показало преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами.

Ключевой участок №1. Почва низинная торфяная. Содержание общего углерода в горизонтах Т1–Т3 составляет

Таблица. Групповой состав гумуса осушаемых торфяных почв и пирогенных образований, % к $C_{\text{общ}}$ почвы

Глубина горизонта, см	C, % в исходной почве	Сорг, извлеч. 0,1 н. H_2SO_4	Сорг, извлеч. $Na_4P_2O_7 + NaOH$	Сгк	Сфк	С гум С фульв.	Нерастворимый остаток	Степень гумификации, %
Р. 2 – 11Д Низинная торфяная								
T1 (0–25)	38,7	не опр.	33,27	23,88	9,39	2,54	66,73	61,7
T2 (25–45)	41,04	-	33,84	25,92	7,92	3,27	66,16	63,16
T3 (45–63)	41,04	-	30,57	21,83	8,74	2,50	69,43	53,19
T4 (63–68)	13,43	-	25,0	22,32	2,68	8,33	75,0	166,19
BCG (68–95)	0,41		29,27	7,32	21,95	0,33	70,73	-
Р. 3 – 11Д Пирогенное образование (пожар г. н.)								
BCG (10–37)	1,8	-	47,22	22,22	25,0	0,89	52,78	-
Р. 5 – 11Д Низинная торфяно-глеевая								
T1 (2–23)	23,14	-	35,10	18,36	16,74	1,10	64,9	79,34
T2 (23–31)	29,41	-	42,59	23,65	18,94	1,25	57,41	80,41
BCG (31–45)	1,32	-	56,82	26,51	30,31	0,87	43,18	-
Апогр (45–69)	1,19	-	71,43	37,81	33,62	1,12	28,57	3177,31
CG (69–95)	0,33	-	23,03	1,82	21,21	0,08	76,97	-
Р. 4 – 11Д Пирогенное образование (пожар 7 л. н.)								
П _{пир} (0–3)	1,71	-	28,04	-	28,04	-	71,96	-
А (3–37)	3,4	-	67,65	38,23	29,42	1,3	32,35	-

38,7–41,04 %, в горизонте Т4, в связи с высокой минерализацией торфа – 13,43 % (см. табл.). Сумма гумусовых веществ, извлекаемых пирофосфатом, в горизонтах Т1–Т4 составляет 25,0–33,84 %. Из них на долю ГК приходится 21,83–25,92 %, ФК – 2,68–9,39 %. Наблюдается резкое убывание ГК с глубиной – 7,32 % (гор. BCG), содержание ФК, напротив, резко возрастает – 21,95 % (гор. BCG). Гумус торфяных горизонтов относится к гуматно-фульватному типу с соотношением Сгк:Сфк=2,5–3,27, в Т4 отношение Сгк:Сфк расширяется до 8,33. Минеральный горизонт BCG по типу гумуса является фульватным. Содержание негидролизующего остатка в верхней части профиля возрастает с глубиной (66,16–75,0 %). Степень гумификации очень высокая – 53,19–166,19 %.

Пирогенное образование. Зольные горизонты пирогенных образований отличает крайне низкое содержание углерода, поэтому провести групповой анализ золы не представилось возможным. Минеральный горизонт BCG пирогенного образования через год после пожара отличается низким содержанием общего углерода – 1,8 %. По сравнению с аналогичным горизонтом BCG торфяной почвы здесь наблюдается явное

накопление ГК – 22,22 %, количество ФК изменилось незначительно – 25,0 %. По данным значениям ГК горизонт BCG можно сопоставить с торфяными непирогенной почвы. Содержание негидролизующего остатка меньше, чем в аналогичном горизонте торфяной почвы – 52,78 %. Также, наблюдается расширение отношения Сгк:Сфк до 0,89, тип гумуса становится гуматно-фульватным. Все это вполне согласуется с исследованиями Ефремовой Т.Т. и др. (2006), которая также отмечала обогащение гумусовыми веществами торфяных почв после пожара и изменение типа гумуса в сторону гуматности.

Ключевой участок №2. Почва низинная торфяно-глеевая. Содержание Собщ снижается вниз по профилю от 23,14–29,41 % в торфах до 0,33–1,32 % - в минеральных. Горизонты BCG и Апогр близки по содержанию углерода – 1,32 и 1,19 %, это происходит потому, что песок в Апогр поступает из вышележащего слоя. Сумма веществ пирофосфатной вытяжки равна 35,10–42,59 %, в минеральной части профиля – 23,03–56,82 %, в Апогр – 71,43 %. В составе гумуса торфов содержание ГК (18,36–23,65 %) незначительное

превышает содержание ФК (16,74–18,94 %). В результате отношение Сгк:Сфк сужается до 1,1–1,25.

Ильин Ю.М. (2011) отмечает увеличение количества фульвокислот при осушении торфяников. Этому способствует медленная гумификация органического вещества, которая, в свою очередь, вызвана неустойчивыми экологическими факторами Прибайкалья (мерзлота, иссушение, переувлажнение, короткий период биологической активности). При этом количество ГК в горизонтах ВСГ и Апогр выше, чем в верхней части профиля – 26,51 и 37,81 %, количество ФК, соответственно, 30,31 и 33,62 %.

Содержание негидролизуемого остатка снижается вниз по профилю, составляя в органической части, 57,41–64,9 %, в минеральных – 43,18–76,97 %, в Апогр – 28,57 %. Степень гумификации торфа очень высокая. Тип гумуса меняется от фульватно-гуматного (Т1, Т2, Апогр) до гуматно-фульватного и фульватного (ВСГ, СГ).

Пирогенное образование. Состав гумуса золы чисто фульватный. Содержание углерода в горизонте А – 3,4 %. Через 7 лет после пожара отмечается накопление гумусовых веществ в основном за счет ГК – 38,23 %, ФК составляет – 29,42. По значению ГК гумусовый горизонт пирогенного образования сходен с Апогр торфяно-глеевой почвы. Соотношение Сгк:Сфк равно 1,3 %. Тип гумуса – фульватно-гуматный. Доля нерастворимого остатка составляет 32,35 %.

Выводы

Для болотных низинных осушенных торфяных почв характерна высокая степень разложённости торфа со значительным содержанием гумусовых веществ. В групповом составе гумуса преобладают гуминовые кислоты. В минеральных глеевых горизонтах содержание гумуса низкое, и он имеет фульватный состав, который обусловлен вертикальной миграцией фульвокислот. После пожара в минеральном горизонте под слоем золы, содержание углерода увеличилось, и гумус приобрел гуматно-фульватный состав.

1. Бадмажапова И. А., Гынинова А. Б. Изменение морфологического строения торфяных почв Прибайкалья в результате пожаров // материалы VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева: в 3 кн. Петрозаводск, 13 – 18 августа 2012 г. Кн. 3: Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования. 2012. - С. 464–465.
2. Бамбалов Н. Н., Беленькая, Т. Я. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв // Почвоведение. - 1998. - № 12. - С. 1431–1437.
3. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. - Минск: Наука и техника, 1984. - 175 с.
4. Гостищева М. В., Инишева Л. И., Щеголихина А. И. Характеристика органического вещества торфяных почв эвтрофного болота Таган Томской области // Вестник ТГПУ. - 2010. - Вып. 3 (93). - С. 114–119.
5. Ефремова Т. Т., Ефремов С. П. Пирогенная трансформация органического вещества почв лесных болот // Почвоведение. - 2006. - № 12. - С. 1441–1450.
6. Ильин Ю. М. Экология осушаемых торфяных почв Прибайкалья. - Улан-Удэ: Изд-во Бурят. сельскохоз. академии им. В.Р. Филлипова, 2011. - 192 с.
7. Климин М. А., Матрошилов Ю. А., Шамов В. В. и др. Трансформация мелиорированных торфяных почв в Приамурье. - Владивосток; Хабаровск: Дальнаука, 1995. - С. 9.
8. Кононова М. М. Органическое вещество почвы (его природа, свойства и методы изучения). - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 313 с.
9. Шинкеева Н. А., Маслов С. Г., Архипов В. С. Характеристика группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири // Вестн. ТГПУ. Томск. - 2009.- Вып. 3 (81). - С. 116–119.
10. Янишевский Ф. В., Королева Т. А., Серегин В. В. Модификация метода Тюрина для определения содержания углерода в растительном материале // Агрохимия. - 2000. - № 3. - С. 69

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РАМСАРСКОГО ВОДНО-БОЛОТНОГО УГОДЬЯ «КАМСКО-БАКАЛДИНСКАЯ ГРУППА БОЛОТ»

ACTUAL PROBLEMS OF BIODIVERSITY CONSERVATION IN THE TERRITORY OF «KAMA-BAKALDINO MIRES»

С.В. Бакка, Н.Ю. Киселева

S.V. Bakka, N.Yu. Kiseleva

Нижегородский государственный педагогический университет им. Козьмы Минина, Россия
Minin State Pedagogical University in Nizhny Novgorod, Russia
E-mail: sopr@dron.ru

Камско-Бакалдинская группа болот в Нижегородской области – единственное в Приволжском федеральном округе Рамсарское водно-болотное угодье, крупнейшее в бассейне р. Волги скопление торфяных болот, разнообразных по условиям образования, микроландшафтам, типам залежей, сохранившееся в естественном состоянии. Водно-болотное угодье площадью 226,5 тыс. га отвечает пяти современным критериям Рамсарской конвенции, будучи эталонным и уникальным для Восточно-Европейской провинции зоны сосново-сфагновых верховых и низинных травяных и лесных болот (Водно-болотные..., т. 2, 1999). Уникальность угодья – в обширности малонарушенной хозяйственной деятельностью территории и разнообразии представленных типов болот. Многие его участки являются эталонами болотных и озерных экосистем разных типов (верхового, переходного и низинного). Среди болот расположены 27 живописных озер золотого, сульфатного и, возможно, карстового происхождения; отдельные озера – остатки древних русел. Представлены мезотрофные, дистрофные, эвтрофные озера. Особый интерес представляют сообщества водных растений с доминированием полушников или ежеголовника злакового.

Водно-болотное угодье служит местообитанием 28 видов живых организмов, занесенных в Красную книгу России и 132 видов, занесенных в Красную книгу Нижегородской области. Анализ значения Камско-Бакалдинских болот в качестве местообитания редких видов животных представлен в табл. Территория обеспечивает существование многих видов живых организмов, имеющих большое значение для поддержания биоразнообразия, например, локальных относительно изолированных популяций чернозобой гагары, беркута, большого кроншнепа в полосе восточно-европейской южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. Здесь гнездится не менее 6 видов птиц, распространение которых ограничено одним таежным биомом.

Общая численность обитающих на территории угодья водоплавающих и околоводных птиц

(гусеобразные, ржанкообразные, журавлеобразные) составляет от 15000 (в начале гнездования) до 50000 (включая молодых). Водно-болотное угодье регулярно поддерживает существование более 1% особей в восточно-европейских популяциях не менее 7 редких видов птиц (беркута, орлана-белохвоста, большого подорлика, серого журавля, большого кроншнепа, большого веретенника, дупеля). Камско-Бакалдинские болота – ключевая орнитологическая территория международного значения (ИВА), которая включена в европейский и российский каталоги (Important..., 2000; Ключевые..., 2000).

Водно-болотное угодье имеет ресурсоохранное значение, в значительной степени обеспечивает удовлетворение жизненных потребностей населения примыкающих сел и поселков (заготовка дров и сена, выпас скопа, сбор грибов и ягод, в том числе на продажу). Это крупнейшее в Нижегородской области место произрастания и сбора клюквы: клюквенная площадь составляет 6,7 тыс. га.

В вопросах сохранения биологического разнообразия Нижегородская область занимает лидирующие позиции в стране. Она остается единственным регионом России, где Стратегия сохранения биологического разнообразия утверждена постановлением губернатора и стала нормативным актом. Территория Камско-Бакалдинских болот стала важнейшим полигоном для решения задач, поставленных Стратегией сохранения биологического разнообразия:

1. Предотвращение дальнейшего сокращения разнообразия экосистем и видового богатства.
2. Восстановление утраченных элементов биологического разнообразия.
3. Оптимизация взаимоотношений человека и живой природы на хозяйственно освоенных и интенсивно используемых человеком территориях.
4. Развитие нормативно-правового обеспечения охраны биоразнообразия.
5. Пропаганда экологических знаний и формирование экологической культуры населения.

В рамках решения первой задачи большая часть водно-болотного угодья была

Таблица. Значение рамсарского водно-болотного угодья «Камско-Бакалдинская группа болот» как местообитания видов животных, занесенных в Красные книги

№	Значение для сохранения вида в регионе	Доля от областной численности, %	Число видов	
			занесенных в Красную книгу Нижегородской области	в том числе занесенных в Красную книгу Российской Федерации
1	незначительное	менее 1	8	2
2	заметное	1-9	21	3
3	существенное	10-29	32	5
4		30-49	15	4
5	принципиальное	50-79	15	3
6		80-99	4	0
7	исключительное	100	7	2
Всего:			102	19

обеспечена территориальной охраной. Здесь созданы государственный природный заповедник «Керженский» и 17 памятников природы. ООПТ и их охранные зоны занимают около 65% территории Камско-Бакалдинских болот.

Наиболее разнообразная и эффективная деятельность осуществлялась в рамках решения второй задачи. На территории рамсарского угодья торфоразработки прежних лет занимают 2770 га (немногим более 1% площади). Экоцентром «Дронт» здесь был успешно реализован модельный проект восстановления болотных экосистем на месте выработанных торфяников.

Впечатляющие успехи достигнуты в результате реализации областной Программы биотехнических мероприятий для редких видов живых организмов. На Камско-Бакалдинских болотах, начиная с 1998 г., установлено 148 гнездовых платформ для крупных хищных птиц: для скопы – 56, для беркута – 74, для орлана-белохвоста – 12, для большого подорлика – 6. Биотехнические мероприятия совместно с территориальной охраной позволили увеличить численность обитающих здесь беркутов от 1 до 20 пар, скоп от 2-3 до 12-15 пар, орланов-белохвостов от 1 до 10 пар (Бакка и др., 2010). Территория Камско-Бакалдинских болот с 1970-х гг. оставалась рефугиумом, где сохранялась изолированная от основного ареала угасающая гнездовая группировка чернозобой гагары (Бакка, Киселева, 2008). Установка искусственных островов на озерах в 2006-2011 гг. способствовала росту численности вида от 8-10 до 20-23 взрослых особей. Начата установка гнездовых ящиков для уток-дуплогнездников, имеющая основной целью восстановление исчезающей гнездовой группировки лутка (Бакка и др., 2013). Керженский заповедник, начиная с 2001 г., успешно реализовал проект по реинтродукции выхухоли в пойму р. Керженец, где этот вид был многочисленным в 1940-е гг., но исчез к началу 1990-х гг. (Bakka & all., 2013).

В настоящее время заповедник осуществляет проект по разведению в питомнике и возвращению в природу среднерусской белой куропатки. Камско-Бакалдинские болота рассматриваются как перспективное место восстановления в регионе лесного северного оленя – гербового животного Нижегородской области (Бакка и др., 2014).

Керженский заповедник стал функциональным центром биосферного резервата «Нижегородское Заволжье», где ведется многоплановая деятельность по разработке методов неистощительного природопользования при ведении лесного и охотничьего хозяйства.

Важным вкладом в развитие нормативно-правового обеспечения охраны рамсарского водно-болотного угодья стало Распоряжение правительства Нижегородской области от 10.08.2006 г. № 591-р «Об особо охраняемых природных территориях», которым утверждены площадь угодья, перечень лесных территорий и торфяных месторождений, входящих в его границы.

Активную работу по пропаганде экологических знаний и формированию экологической культуры ведут как государственные (Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области, государственный природный биосферный заповедник «Керженский»), так и общественные организации (экоцентр «Дронт», Нижегородское отделение Союза охраны птиц России). Материалы о водно-болотном угодье стали важной частью ряда учебных курсов по подготовке студентов-экологов в Нижегородском государственном педагогическом университете им. Козьмы Минина. Во всех четырех административных районах, на территории которых находятся Камско-Бакалдинские болота активно работают группы общественной поддержки ключевых орнитологических и особо охраняемых природных территорий.

В то же время существует ряд проблем, связанных с угрозами биологическому разнообразию на территории водно-болотного угодья.

Серьезную угрозу представляет возможный подъем уровня Чебоксарского водохранилища с существующей отметки 63 м до отметки 68 м. Это приведет к значительному нарушению гидрологического режима, результатом чего станут усыхание участков леса вследствие подтопления, перестройка болотных и водных экосистем на большей части территории угодья. Будет утрачено эталонное значение болотных экосистем, произойдет сокращение численности или исчезновение многих локальных популяций редких видов живых организмов. Проект подъема уровня Чебоксарского водохранилища в 2013 году в очередной раз отклонен государственной экологической экспертизой, но вопрос нельзя считать закрытым окончательно.

Торфоразработки на Камско-Бакалдинских болотах прекращены в начале 1990-х гг., однако периодически рассматриваются проекты по их возобновлению. Международный статус охраны территории становится важнейшим инструментом сохранения торфяников в естественном состоянии. В настоящее время наибольшую угрозу для состояния угодья представляют лесные пожары, а также сплошные и выборочные рубки леса в водоохранных зонах болот (в том числе санитарные рубки в охранных зонах памятников природы). Вдоль южной границы водно-болотного угодья проходит нефтепровод «Уренгой-Помары-Ужгород». Существует потенциальная

угроза техногенной аварии и загрязнения территории нефтью. Существенным негативным фактором в ближайшей перспективе может стать высокая рекреационная нагрузка. В настоящее время существует туристический маршрут по р. Керженец (западной границе угодья). Озера используются для отдыха местным населением и, в меньшей степени, приезжими. Камско-Бакалдинские болота - место сбора клюквы населением Нижегородской области и сопредельных регионов. В сезон сбора клюквы посещаемость территории высока, что приводит к росту числа возгораний и случаев браконьерства, а также усилению влияния фактора беспокойства. Актуальным направлением научных исследований становится точное измерение рекреационной нагрузки и оценка ее влияния на болотные и лесные экосистемы.

В современных условиях задачи по оптимизации природопользования и сохранения живой природы могут быть успешно решены лишь при условии постоянной координации действий всех заинтересованных государственных структур и развитии общественной поддержки. Международный статус охраны данной территории служит катализатором такого объединения в Нижегородской области. Это позволяет надеяться, что проблемы сохранения Камско-Бакалдинских болот будут успешно решены.

1. Бакка С.В., Жданова Е.П., Киселева Н.Ю. Оценка возможности и перспектив реакклиматизации северного оленя в Нижегородской области / Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий: Материалы III Международной научной конференции / Под ред. проф. А.И. Дмитриева. - Нижний Новгород, 2014. - С.225-233.
2. Бакка С.В., Карякин И.В., Киселёва Н.Ю., Денисов Д.А., Карпеев В.Е., Левашкин А.П., Некрасов М.С. Итоги мониторинга состояния и охраны гнездовых группировок редких видов дневных хищных птиц в Нижегородской области в 1988–2009 годах, Россия // Пернатые хищники и их охрана. Raptors conservation. Рабочий бюллетень о пернатых хищниках Восточной Европы и Северной Азии. - 2010. - № 18. - С. 46–67.
4. Бакка С.В., Киселева Н.Ю. Гагары в Приволжском федеральном округе: вековая динамика ареала и пути сохранения // Волжско-Камский орнитологический вестник. Чебоксары. - 2008. - Вып. 1. - С. 7–11
5. Бакка С.В., Киселева Н.Ю., Левашкин А.П. Мониторинг и программа восстановления численности редких видов уток-дуплогнездников в Нижегородской области // Сохранение биоразнообразия животных и охотничье хозяйство России. Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. - М, 2013. - С. 404–406.
6. Водно-болотные угодья России. Том. 2. Ценные болота. - М., 1999. - 88 с.
7. Ключевые орнитологические территории России. Том 1. Ключевые орнитологические территории международного значения в Европейской России. - М., 2000. - 702 с.
8. Bakka S.V., Kiseleva N.Yu., Denisov D.A., Pankratov I.I. Current status of Russian Desman (*Desmana moschata*) in Nizhny Novgorod region / The International Scientific-Practical Conference on the Humanities and the Natural Science ISPC 2013. The International Scientific-Practical Conference on the Humanities and the Natural Science Held by SCIEURO in London, 26. December, 2013. - P. 310–319.
9. Important bird areas in Europe: Priority sites for conservation. V. 1: Northern Europe. (Eds.) Heath, M. F. and Evans, M. I. Cambridge, UK: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No 8). 2000. - 866 p.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ ВОД В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ
CHANGES IN CHEMICAL COMPOSITION OF THE BOG WATER IN THE TOMSK REGION UNDER CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC IMPACT

*E.S. Voistinova, Yu.A. Kharanzhevskaya**
*E.S. Voistinova, Yu.A. Kharanzhevskaya**

ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
Россельхозакадемии, Томск, Россия
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia
*E-mail: kharan@yandex.ru

Таежная зона Западной Сибири характеризуется широким распространением болотных ландшафтов, что во многом определяет специфику геоэкологической обстановки в регионе. Необходимость изучения особенностей химического состава вод болотных ландшафтов Западной Сибири в значительной степени обусловлена усилением техногенного воздействия при хозяйственном освоении территории и развитии нефтегазодобывающего комплекса в регионе. Добыча торфа, нефти и газа, осушение болот, строительство дорог и линий высоковольтных электропередач вызывает изменение и деградацию болотных ландшафтов, что оказывает влияние на состав болотных вод. Поэтому особую важность приобретают гидрохимические исследования болот, которые совместно с гидрологическими, ландшафтными, ботаническими наблюдениями призваны обеспечить достаточный объем информации для оценки экологического состояния болот и заболоченных территорий, нормирования антропогенной нагрузки в регионе и определения границ устойчивости болотных экосистем. В настоящее время основные результаты в области изучения химического состава вод болотных ландшафтов Западной Сибири отражены в работах С.Л. Шварцева, О.Г. Савичева, Л.И. Инишевой, Д.В. Московченко, Е.Г. Нечаевой, М.А. Здвижкова, Е.Э. Езупенок, и др. Однако современный уровень знаний, накопленный при изучении экологического состояния и ландшафтно-геохимических особенностей природных и техногенных ландшафтов Западной Сибири, был и остается недостаточным как для решения вопросов восстановления ландшафтов, так и при проведении экологической оценки территории в предпроектный период. Многие районы остаются слабо исследованными, разнообразие природных условий и широкий спектр загрязняющих веществ делают крайне сложным анализ ответной реакции природных комплексов различного ранга на техногенное воздействие. Зачастую работы по изучению техногенеза и мониторингу загрязнения на обширных заболоченных территориях региона выполняется без четкой

методической основы, а недостаточная изученность болотных ландшафтов и характера изменения химического состава болотных вод при различных видах антропогенного воздействия затрудняет правильную интерпретацию полученных в ходе опробования результатов. Все это приводит к увеличению площади антропогенно нарушенных заболоченных территорий и ухудшению качества болотных вод и рекводоприемников. Поэтому для предупреждения негативной экологической ситуации в регионе при дальнейшем хозяйственном освоении болот и заболоченных территорий Западной Сибири необходимо провести оценку состояния болотных ландшафтов в естественных условиях и при антропогенном воздействии. С учетом этого основной целью данной работы является изучение особенностей химического состава болотных вод на участках добычи нефти и газа, торфодобычи, лесомелиорации, горячих, участках подтопления в зонах влияния транспортных автомагистралей и высоковольтных линий электропередач, задачей - исследование характера антропогенной трансформации состава болотных вод в сравнении с фоновыми концентрациями веществ в болотных водах и нормами предельно допустимых концентраций (ПДК). В качестве фоновых концентраций химического состава болотных вод использованы данные многолетних наблюдений на научно-исследовательском стационаре «Васюганский» ГНУ СибНИИСХиТ (бассейны рек Бакчар и Икса) в районе удаленном от антропогенного воздействия и отличающимся слабым развитием транспортной инфраструктуры.

Отбор проб для исследования химического состава болотных вод проводился в границах Томской области на семи типичных болотных массивах в условиях антропогенной нагрузки в рамках экспедиционных исследований: на древесно-кустарничковом мохово-разнотравном переходном болоте в пределах разрабатываемого нефтяного месторождения Верхне-Салатское на водоразделе рек Салат и Запорная, на низинном болоте Аркадьёво, осушенном и частично выработанным на второй левобережной террасе реки

Обь, осушенном частично выгоревшем сосново-кустарничково-сфагновом верховом болоте в бассейне реки Икса, кустарничково-моховом переходном болоте на первой надпойменной левобережной террасе реки Кеть, расположенном под ЛЭП, древесно-кустарничково-травяном низинном болоте, расположенном на первой надпойменной террасе реки Кеть в зоне подтопления от автодороги, грядово-мочажинно-озерковом болоте на второй надпойменной террасе реки Кеть в 50 м от свалки бытового мусора, а также в котловине озера на берёзово-травяном низинном осушенном и частично выработанном болоте Кандинское в пойме реки Томь.

Отбор проб в районе удалённом от антропогенного воздействия и отличающимся слабым развитием транспортной инфраструктуры проводился в тот же период на верховом болотном массиве в бассейне р. Ключ в пределах

сосново-кустарничково-сфагнового болота с низкой сосной (низкий рям) и низинного березово-осоково-гипнового болота Самара, расположенного на террасе р. Бакчар.

Материалом для исследования являются данные по химическому анализу проб болотных вод, отбор которых проводился в рамках экспедиционных исследований антропогенно нарушенных болот в летний период 2011 года. Химический анализ болотных вод выполнялся в Лабораторно-аналитическом центре ГНУ СибНИИСХИТ Россельхозакадемии.

Проведенные исследования показали, что по химическому составу болотные воды антропогенно нарушенных территорий в пределах Томской области характеризуются кислой и нейтральной реакцией среды, низкой минерализацией, преобладанием ионов кальция в катионном составе (таблица).

Таблица. Химический состав болотных вод, мг/л

	Низинное болото Аркадьёво (участок торфодобычи)	Осушенное выгоревшее верховое болото в бассейне р. Икса	Переходное болото на террасе р. Кеть в районе ЛЭП	Низинное болото на террасе р. Кеть в зоне подтопления	Переходное болото в районе добычи нефти и газа	Верховое грядово- мочажинно-озерковое болото на террасе р. Кеть (свалка мусора)	Низинное болото Кандинское (участок торфодобычи)	Верховое болото в бассейне р. Ключ	Низинное болото Самара на террасе р. Бакчар	ПДК ¹ вод-хоз
pH	6,87	3,77	3,55	6,90	4,15	4,19	-	3,63	5,06	6-9
NH ₄ ⁺	1,61	6,95	9,30	0,71	2,02	1,20	0,31	6,40	3,66	1,5
K ⁺	0,70	1,70	2,50	0,60	4,8	0,80	1,80	1,20	0,50	30
Na ⁺	8,40	1,80	1,40	3,20	135,1	0,60	7,10	1,10	4,20	200
Ca ²⁺	77,8	11,2	12,8	24,3	45,1	6,01	53,1	4,81	18,4	200
Mg ²⁺	14,2	4,86	1,82	5,59	16,4	2,67	27,3	1,09	5,10	50
Fe _{общ}	0,71	3,61	5,58	3,10	1,35	0,45	0,90	1,90	2,97	0,3
Cl ⁻	8,08	5,29	7,32	0,98	315	1,89	1,66	4,15	5,21	350
SO ₄ ²⁻	4,80	3,09	2,54	2,95	43,65	4,05	2,47	3,36	1,85	500
HCO ₃ ⁻	346,2	35,8	24,8	108,6	<10	30,9	239,6	14,3	79,3	-
CO ₂	20,9	56,8	64,3	10,5	-	34,4	17,9	52,4	23,9	-
ХПК	88,3	189,7	248,6	52,3	120	91,6	3,93	117,7	124,3	15
ГК	2,39	13,5	17,6	2,49	-	1,58	1,45	6,74	8,47	н/н ²
ФК	11,8	74,7	88,6	12,2	-	21,7	6,77	60,5	56,8	н/н
C _{вдр}	46,4	87,4	112,1	20,3	-	46,4	24,6	62,2	60,3	н/н
Σ _и	289,6	57,1	56,3	95,8	565,05	33,2	214,5	31,6	81,9	1000
Zn	0,04	0,016	0,017	0,0013	0,072	0,011	0,005	0,028	0,15	1
Pb	0,0008	0,015	0,005	0,0005	<0,002	0,0030	0,0003	0,0006	0,005	0,01
Cu	0,0033	0,0018	0,0008	0,0005	0,0030	0,0010	0,007	0,0010	0,005	1
Cd	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	-	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,001

1 – в соответствии с (СанПин, 2000, 2004, ГН, 2003), 2- не нормируется

Превышение предельно допустимых концентраций установленных для хозяйственно-питьевого водопользования отмечается по содержанию органических веществ, железа, ионов аммония и по величине pH, что также характерно и для естественных болот фоновых территорий.

Проведенные исследования показали, что осушение и добыча торфа на низинных болотах Аркадьево и Кандинское не привели к увеличению содержания органических веществ, железа, тяжёлых металлов в болотных водах и ухудшению качества вод водоёмов и водотоков. Свалки мусора на сосново-кустарничково-сфагновом грядово-мочажинном-озерковом болоте на второй надпойменной террасе реки Кеть незначительно повлияли на химический состав болотных вод вследствие их небольших размеров и состава представленного мусора. Подтопление болот в результате строительства дорог вызвало уменьшение концентрации органических веществ, NH_4^+ и растворённого углекислого газа в водах древесно-кустарничково-травяного низинного болота расположенного на первой надпойменной террасе реки Кеть. Пожар на участке верхового болота в бассейне реки Икса способствовал появлению в водах высоких концентраций органических веществ, железа и ионов аммония, а также свинца (1,5 ПДК). Накопление свинца в торфяной залежи и поступление в болотные воды можно объяснить близостью автодороги и атмосферным переносом загрязняющих веществ. Кроме того, возгорание торфяной залежи способствовали переходу свинца в более подвижные формы путём образования комплексов с гуминовыми веществами болотных вод. Наибольшее изменение состава вод, связанное с многократным увеличением натрия и хлорид ионов, отмечено на участке переходного болота расположенного в границах разрабатываемого нефтяного месторождения Верхне-Салатское. Согласно классификации О.А. Алёкина воды переходного болота расположенного в границах разрабатываемого нефтяного месторождения

Верхне-Салатское пресные сульфатного класса кальциевой группы четвёртого типа $\text{S}_{\text{IV}}^{\text{Ca}}$ кислые. Однако в районе куста преобладающим анионом становится хлорид ион, а катионом - ион натрия с увеличением суммы главных ионов более чем в 10 раз. По данным многолетних наблюдений на научно-исследовательском стационаре «Васюганский» такое разнообразие химического состава болотных вод в рамках одного биогеоценоза в естественных условиях не отмечается. Вызвано это может быть сбросом пластовых вод, поверхностным смывом с буровых площадок и фильтрацией из шламовых амбаров. Отличительной особенностью химического состава вод загрязнённого участка является повышенное содержание нефтепродуктов, меди, алюминия и цинка. Как и в естественных условиях воды переходного болота богаты органическими веществами, ионами аммония и железа превышающими ПДК хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения. Поэтому такой показатель как ХПК, содержание растворного кислорода в заболоченных регионах не отражают характер антропогенной нагрузки.

По результатам сравнения состава болотных вод естественных и антропогенно нарушенных территорий можно сделать вывод о том, что в естественных условиях воды болот содержат органические вещества, железо, ионы аммония в количествах многократно превышающих ПДК хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения. Поэтому применение концепции ПДК и основанных на ней оценок антропогенного воздействия, на наш взгляд, некорректно. Высокая цветность и большие концентрации органических соединений осложняют проведение аналитических исследований химического состава болотных вод. Поэтому, по нашему мнению, более полно процессы антропогенной трансформации вод болотных ландшафтов позволит оценить метод фоновых показателей, учитывающий содержание химических элементов в естественных условиях.

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Вода. Санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения: сборник документов / Российская Федерация, Министерство здравоохранения и социального развития (Минздравсоцразвития России). 2-е изд., перераб. и доп. - М. : ИнтерСЭН, 2004. - 868 с.
2. Сан ПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Введ. 2001-01-01. - М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. - 24 с.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Введ. 15.06. - М., 2003. - 77 с.

О МЕСТЕ СФАГНОВЫХ БОЛОТ В СИСТЕМЕ СУКЦЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ABOUT THE PLACE OF SPHAGNUM BOGS IN SUCCESSION MODELS SYSTEM

М.Я. Войтехов

M.Ya. Voytehov

Талдомская администрация особо охраняемых природных территорий, г. Талдом

Московской области, Россия

The Taldom local administration for the nature reserve, Taldom, Moscow region, Russia

E-mail: Mihail-Voytehov@yandex.ru

Идея моделей сукцессий впервые была изложена в работе Connell, Slatyer (1977) и в дальнейшем развита другими авторами. Авторы идеи рассматривали изменения всех факторов в ходе сукцессии. Мы рассматриваем лишь изменение в ходе эндозоогенеза доступности минерального питания для наземных автотрофных продуцентов.

1. При сукцессии по “модели благоприятствования” ресурсы биогенных элементов в биогеоценозе возрастают, либо снижается влияние неблагоприятных факторов, влияющих на их доступность (влажность, рН и др.). Это ведёт к росту конкуренции за другие ресурсы, прежде всего, за свет.

2. При “модели толерантности” для каждого нового поколения поселенцев доступность ресурсов снижается, и доминант каждой следующей стадии по отношению к доминанту предыдущего – более слабый конкурент и может занять господствующую роль лишь в случае, если его выносливость к бедности среды выше, чем у предыдущего.

3. При “модели ингибирования” первые поселенцы создают условия, препятствующие поселению видов следующей фазы, и она может наступать только в случае выпадения или ослабления видов предшествующей фазы.

4. “Модель нейтральности” – в ходе сукцессии выраженный тренд изменений доступности ресурсов биогеоценоза не наблюдается.

В таёжной зоне России наиболее характерными примерами модели благоприятствования являются те, на климаксной стадии которых доминируют тёмнохвойные или широколиственные породы. Наиболее массовым примером модели толерантности являются сфагновые сообщества – для сфагнов направление сукцессии по модели толерантности стало сукцессионной стратегией. Убеждённый противник “организмистской” концепции в фитоценологии Б.М. Миркин (1985) признавал, что сильными эдификаторами, активно и глубоко трансформирующими факторы среды, могут быть только деревья и сфагновые мхи.

К сукцессиям в аспекте их воздействия на ресурсы энтопия в наибольшей степени справедливы слова К.А. Куркина (1980), который,

анализируя подходы к изучению трофических потоков в экосистемах, заметил: “в биогенных круговоротах действительной «экологической валютой» является не энергия, а те из элементов-биогенов, которые находятся в минимуме”. Главное отличие в рассматриваемом аспекте моделей благоприятствования и толерантности заключается в том, что сосудистые растения активно перемещают биогенные элементы на поверхность субстрата, а мхи направляют изменения среды к геохимической автономности занимаемых ими элементов ландшафта, при этом в первом случае создаётся замкнутый цикл биогенных элементов, а во втором – разомкнутый. Выбор модели сукцессии в значительной мере определяют исходные условия. Сукцессии по модели благоприятствования более характерны для мезосерий на относительно богатом питанием субстрате (С3 и выше) в умеренных и тёплых климатических поясах, а на бедных влажных почвах и в более холодных природных зонах повышается конкурентоспособность мхов, направляющих сукцессию по модели толерантности.

Б.А. Юрцев (1986) предложил модернизацию системы фитоценоципов Раменского – Грайма: виоленты подразделяются на виолентов благоприятных условий (соответствующих классической концепции виолента) и неблагоприятных условий. Аналогично эксплеренты подразделяются на эксплерентов благоприятных условий (классический случай по Л.Г. Раменскому) и неблагоприятных условий; пациентами именуется лишь ценопациенты в смысле Т.А. Работнова (1985) – т.е. сопутствующие виды сообществ, мирящиеся с господством более сильного доминанта или эдификатора; различаются пациенты благоприятных и неблагоприятных условий и выделяется ценотип ультрапациента – к нему относятся растения наиболее жёстких условий, где ценоциковая связь между растениями отсутствует.

Однако при рассмотрении “модели толерантности” не следует забывать замечание В.Д. Лопатина (1958. С. 133): “Увеличение крайности условий существования растений может идти в 2-х направлениях: 1) ухудшение среды для существования всех растений вообще и 2) ухудшение среды для большинства жизненных

форм кроме одной". Ухудшая условия существования для всех прочих сообществ, которые могут претендовать на данную территорию, сфагны в зоне интенсивного торфонакопления создают фитогенную среду, которая далее способна развиваться самостоятельно, продолжая тенденцию, заданную ранее сфагнами, в направлении снижения пригодности уже для них самих, и на дистрофной (сенильной) стадии сукцессии сфагновые мхи частично сменяются ультрапатентами (по Б.А. Юрцеву (1986)), которые не являются эдификаторами, а выполняют скорее роль редуцентов, утилизирующих, в первую очередь, не аккумулярованную в органике энергию, а биогены, и использующих поверхность, малоприспособленную для всех прочих сообществ. Как обращал внимание В.К. Бахнов (1986) смена доминантов в ходе сукцессии по модели толерантности (цветковые → хвойные → сфагновые мхи → печёночники + лишайники → водоросли) происходит в обратном к последовательности появления на Земле этих групп растений направлении. Эндогенные биоценотические механизмы преодоления сенильной стадии развития сфагновых сообществ неизвестны. С этим связано отсутствие единой точки зрения о том, считать ли сфагновые сообщества климаксом. Возможно, понятие климакс применимо лишь к биогеоценозам, развивающимся по модели благоприятствования.

Наиболее неоднозначной (или даже спорной) представляется "модель ингибирования". Б.М. Миркин (1985) приводит пример ингибирования мхами первых стадий сукцессии сосудистых растений и предполагает, что в дальнейшем они всё же преодолеют ингибирующее воздействие мхов, но при определённых условиях мхи могут не допустить их господства. Однако, из приведённого Б.М. Миркиным примера не ясно, подразумевает ли "модель ингибирования" лишь инициальную стадию, на которой имеет место конкуренция потенциальных эдификаторов за определение модели сукцессии, либо это самостоятельная модель со своим алгоритмом дальнейшего развития.

Connell, Slatyer (1977) и В.И. Василевич (1993) привели ряд примеров ингибирования отдельных стадий сукцессий древесных и травяных сообществ, соответственно, древесными и травяными видами, в т.ч. путём аллелопатических воздействий.

В коллективной монографии "Методические..." (2010) как и авторами идеи моделей сукцессий (Connell, Slatyer, 1977)), модель толерантности рассматривается как "мягкий вариант модели ингибирования", что может трактоваться как стабилизация ранних стадий сукцессии с позиции моноклимакса. Наиболее прямо приверженность авторов коллективной монографии парадигме

моноклимакса выражена в утверждении: "Модели толерантности и ингибирования объясняют лишь отдельные этапы развития фитоценоза (растительного сообщества, т.е. образованной растениями подсистемы в составе биогеоценоза), анализируемые в отрыве от экосистемных процессов в целом. Использование этих представлений для объяснения хода аутогенной сукцессии в экосистемах нецелесообразно, поскольку при этом неправомерно переносят понятия, разработанные для одного класса объектов (фитоценозов) на другой класс (экосистемы)" (С. 30). С этих позиций сукцессии сфагновых сообществ – "внеэкосистемный" процесс, но если рассматривать сукцессию сфагнов по модели толерантности как равноправную в рамках парадигмы поликлимакса, то экосистему переходного болота также можно расценить как пример модели ингибирования, где древесный ярус ингибирует сукцессию сфагновых сообществ по модели толерантности (или две сукцессионные системы взаимно ингибируют друг друга с переменным успехом).

Таким образом, рассмотрение модели ингибирования разными авторами можно трактовать и как разные механизмы конкуренции видов или особей внутри одной сукцессионной системы, и как конкуренцию разных сукцессионных систем.

Как указано в приведённом Б.М. Миркиным (1985) примере модели ингибирования, сукцессия сосудистых растений может продолжиться в случае, если их внедрению "окажут помощь животные, которые ослабят виды предшествующей фазы, или иные внешние воздействия". Среди "иных внешних воздействий" к наиболее мощным и частым (т.е. к факторам, имеющим эволюционное значение) следует отнести пожары. Как показано в ряде работ (Санников, 1992; Wein, 1983; и др.), многие виды сосудистых растений, в т.ч. ряд эдификаторов неблагоприятных условий, эволюционно выработали тип сукцессионной стратегии (основанной на устойчивости к пожарам тех или иных онтогенетических стадий), позволяющий использовать циклические пожары как средство преодоления ингибирования мхами развития лесной экосистемы.

Эффективность сукцессии по модели благоприятствования многих групп сосудистых растений, возможно, первоначально была невысока, как невысока она у современных хвойных, опад которых медленно разлагается и подкисляет почву (мор), чем косвенно способствует успеху конкурентов из числа мохообразных, и уже на древних стадиях филоценогенеза появилась адаптация ряда групп голосемянных к использованию пирогенного фактора как средства преодоления "ингибирования" их развития мхами, направляющими сукцессию по модели толерантности (согласно имеющимся гипотезам, циклические, с

интервалом около 100 лет, пожары в лесах имели место уже с середины Девона (Fossil ...), сочетание ископаемых хвойных и напочвенных мхов известно с Юры (Krassilov, 2003)). Образование другими группами растений более быстро разлагающегося опада (модер, муль) могло иметь эволюционное значение в развитии более эффективной (как обеспечивающей замкнутый автотенный круговорот биогенов) модели благоприятствования в конкуренции с сукцессионными системами, развивающимися по модели толерантности. Однако, эти механизмы не универсальны, и в климатических условиях бореальной зоны не для всех экотопов эволюционировали эффективные эдификаторы, способные направить сукцессию по модели благоприятствования.

Сфагновые сообщества, видимо, являются наиболее специализированным примером основанной на развитии по модели толерантности сукцессионной стратегии до-сосудистых наземных растений, способной эффективно конкурировать с развивающейся по модели благоприятствования сукцессией сосудистых растений в бореальной зоне, где единственным эффективным эволюционно выработанным средством преодоления ингибирования мхами сукцессии многих лесных экосистем является также примитивный механизм – адаптация к пирогенному климату (рецидивному субклимату по С.М. Разумовскому (1981)), который можно считать примером «циклической, с переменным успехом, модели ингибирования».

1. Бахнов В.К. Биохимические аспекты болотообразовательного процесса. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1986. - 193 с.
2. Василевич В. И. Некоторые новые направления в изучении динамики растительности // Ботанический журнал. - 1993. - Т. 78. № 10. - С. 1-15.
3. Куркин К. А. Параметры биогеоценозов и системный подход к их определению // Бюл. МОИП. Отд. Биол. - 1980. - Т. 85. Вып. 3. - С. 40-56.
4. Лопатин В. Д. О микрокомплексности растительного покрова // Сообщения Сахалинского комплексного Научно-Исследовательского Института Сибирского Отделения АН СССР. - 1958. - Вып. 6. - С. 131-142.
5. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / Отв. ред. Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. - М: КМК, 2010. - 382 с.
6. Миркин Б.М. Теоретические основы современной фитоценологии. - М.: Наука, 1985. - 137 с.
7. Работнов Т.А. О типах стратегии растений // Экология. - 1985. - № 3. - С. 3–11.
8. Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов. - М.: Наука, 1981. - 231 с.
8. Санников С.Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. - М.: Наука, 1992. - 263 с.
9. Юрцев Б.А. Продукционные стратегии и жизненные формы растений // Жизненные формы и экология сосудистых растений: Межвуз. сб.науч.тр. - М.: МГПИ им. В.И. Ленина, 1986. - С. 9-23.
10. Connell J.H., Slatyer R.O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organisation // Am. Nat. Vol. - 1977. - 111. - P. 1119-1144.
11. Fossil record of fire//Wikipedia // http://en.wikipedia.org/wiki/Fossil_record_of_fire
12. Krassilov V.A. Terrestrial palaeoecology and global change. Sophia: Pensoft, 2003. - 464 p.
13. Wein, R.W. and MacLean D.A. (Eds.) The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems. – New York: John Wiley & Sons, 1983. - 322 p.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ ОТОРФОВАННОСТИ И ЗАПАСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ

INFLUENCE OF MODERN CLIMATE AND FORESTRY MEASURES ON CHANGES OF PEAT DEPTH AND STORAGE OF ORGANIC MATTER IN SOILS OF PALUDIFIED FORESTS IN SOUTH TAIGA

**С.Э. Вомперский, М.И. Вомперская, Т.В. Глухова, Н.А. Валяева
S.E. Vompersky, M.I. Vomperskaya, T.V. Glukhova, N.A. Valyaeva**

Институт лесоведения РАН, Московская обл., Россия.
Institute of Forest Science, Moscow region, Russia
E-mail: root@ilan.ras.ru

В работе рассматриваются результаты прямого наблюдения за мощностью и запасом органического вещества (ОВ) в торфянистом горизонте Ат заболоченных лесов в естественных условиях в начале и конце опыта (контроль) и при поверхностном осушении через 23-28 лет. Увеличение запаса ОВ было доказательством повышения увлажненности почв и роста торфонакопления, а его уменьшение – показателем разболачивания и усиления лесообразовательных процессов.

В условиях бореального климата северного полушария избыточно увлажненные местопроизрастания широко представлены торфянистыми и торфяно-болотными почвами. При этом заболоченных, со слоем торфа до 30 см, земель в России 230 млн. га, это в 1,7 раза больше, чем собственно торфяных болот (Вомперский и др., 1994). В зависимости от влагообеспеченности тех или иных участков, оторфованность их колеблется, может исчезать, восстанавливаться вновь и существовать неопределенно долго (Кощеев, 1955; Вомперский, 1991). Состояние болотообразовательного процесса таких местопроизрастаний обычно основывается на характеристиках травяно-мохового покрова, описаниях профиля и химических свойств почв в момент исследования. Это не позволяет говорить о направленности болотообразования, интенсивности аккумуляции, потерях запасов органического углерода экосистемами, которые отражают их влагообеспеченность. Кроме того, сведения о воздействии поверхностного осушения на торфянистые почвы немногочисленны (Комаров, 1953; Писарьков, Тимофеев, 1955).

Исследуемый регион относится к зоне избыточного увлажнения, но с нередкими годами, близкими к нормальной или даже недостаточной влагообеспеченности.

Наблюдения проводили в трех лесничествах Рыбинского района Ярославской области на 4-х опытных участках. Участки I и II были расположены на выровненных водоразделах. Благодаря

верхнему, более водопроницаемому слою почвы, они дренируются соответственно уклону поверхности, повторяющему залегание его водоупора (Орлов и др., 1974). Почва на этих участках торфянисто-подзолисто-глеявая, легкосуглинистая, на глубине 60 см подстилаемая тяжелым суглинком, служащим водоупором. Мощность торфянистого горизонта Ат – 12 (14) см, который состоял из трёх различающихся слоёв: Ат^I (0-4 см), Ат^{II} (4-9 см) и Ат^{III} (9-14 см). Два верхних слоя объединены в один Ат^{I-II}. Участок I осушен бороздами глубиной 0,3 м через 5, 10, 15 метров друг от друга, а участок II – мелкими канавами, глубиной 0,5 м с расстоянием между ними 10, 20, 30, 40 м. На участке I наблюдения проводили в ельниках чернично-сфагновом и долгомошном с уклонами поверхности почвы 0,0035 и 0,0050 соответственно, на участке II – в ельниках ивово-долгомошном и долгомошном с уклонами поверхности 0,0035 и 0,0050 соответственно.

Опытные участки III и IV располагались на слегка пологих склонах и выровненных пространствах между грядами. Просачивание влаги здесь тормозилось уплотненными супесчаными и суглинистыми прослойками на глубине от 0,5 до 1,0 м. Характерным признаком этих местопроизрастаний являлось наличие мощного ковра из кукушкина льна.

На этих участках почва торфянисто-сильно-подзолисто-глеявая, песчаная, неоднородная по профилю, торфянистый горизонт Ат мощностью 13 см, состоял из трёх слоёв: Ат^I (0-4 см), Ат^{II} (4-9 см) и Ат^{III} (4-13 см). Два верхних слоя объединены в один Ат^{I-II}. Участки осушены мелкими канавами глубиной 0,5 м с вариантами межканавных полос 10, 20, 40 м.

На участке III наблюдения проводили в 40-летнем сосняке долгомошном, а на участке IV – в сосняке долгомошном (культуры сосны) с уклонами поверхности 0,0050 на обоих участках.

Контролем служили участки, где проводились все вышеперечисленные лесоводственные

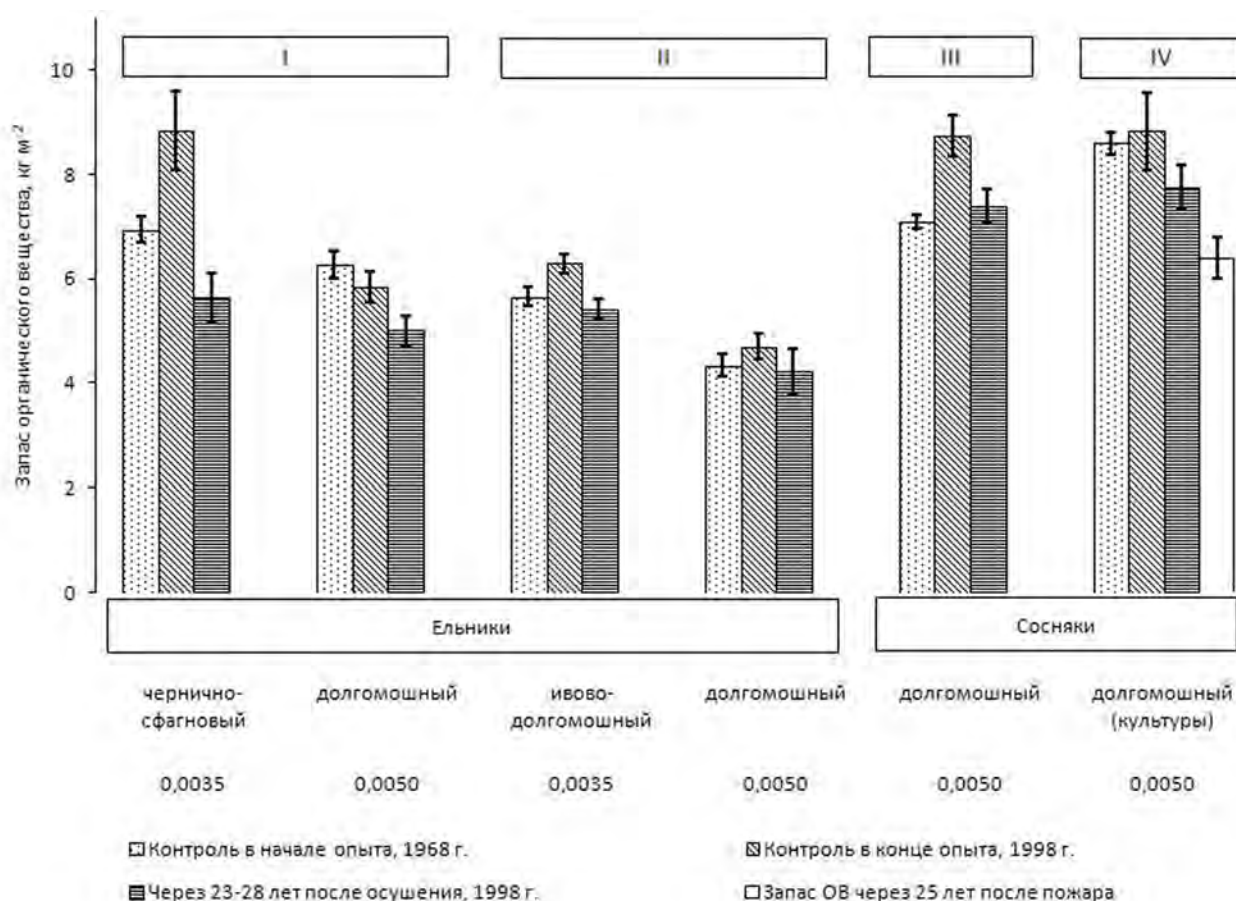


Рис. 1. Изменение запасов органического вещества в торфянистом горизонте А1 почв заболоченных лесов в естественных условиях и при поверхностном осушении. I-IV – номера участков; 0,0035 и 0,0050 – уклоны поверхности почвы (то же на рис. 2)

приемы, кроме осушения почвы бороздами и мелкими канавами. Подробнее об объектах и схемах осушения опубликовано ранее (Вомперская, 1989). На участке IV (контроль) в августе 1973 г. произошел пожар. Торфянистый горизонт А1 выгорел полностью до подзолистого горизонта А2, над которым образовался слой золы 2-3 см.

Запас обеззоленного органического вещества. Полученные данные (рис.1) показывают, что в естественных условиях увеличение обеззоленной абсолютно сухой органической массы торфа в горизонте А1 на тяжелом суглинке отмечено при уклонах поверхности почвы 0,0035: в ельниках чернично-сфагновом и ивово-долгомошном соответственно на 68 и 22 г м⁻² год⁻¹. Примерно такой же темп роста запаса ОВ на 72 г м⁻² год⁻¹ наблюдался в сосняке долгомошном, подстилаемым песком при уклоне поверхности 0,0050. Это говорит о положительном знаке процессов заболачивания в 60-90-х годах XX столетия в перечисленных типах леса.

В этот же период в ельниках долгомошных и культурах сосны при уклонах поверхности 0,0050 процессы болотообразования были

сбалансированными, так как запасы ОВ торфянистого горизонта почти не изменились.

Малую изменчивость запаса органического вещества в А1 в ельниках долгомошных можно объяснить двумя причинами: 1) невысокой в среднем избыточной влажностью климата последних двух-трех десятилетий района исследований, коэффициент увлажнения за май – сентябрь был 1,11 – 1,15. Количество выпавших осадков за исследуемый период на 91 мм превышало их количество за предыдущие 30 лет (данные гидрометобсерватории г. Рыбинска). Относительно более дренированные ельники долгомошные на этом временном интервале с таким избытком влаги вполне «справились» из-за лучшего у них стока или меньшего притока к ним поверхностных вод; 2) принятой повторностью определений небольшие изменения в запасах ОВ за период опыта нельзя было доказать.

При этом на контрольных участках всех типов леса (независимо от уклона поверхности почвы) рост основной массы ОВ на 10-54% отмечен в верхнем слое А1^{II} торфянистого горизонта.

Тенденция прироста ОВ на 12-19% наблюдалась и в слое A_t^{III} в ельниках с уклоном 0,0035.

И наоборот, запас органического вещества в ельниках и сосняках долгомошных с уклоном 0,0050 в слое A_t^{III} резко сократился на 21-38%.

Увеличение накопления ОВ в ельниках (с уклоном поверхности 0,0035): чернично-сфагновом, ивово-долгомошном, в обоих слоях торфянистого горизонта A_t говорит о преобладании в этих типах леса процесса заболачивания в период исследований. В ельниках и сосняках с уклоном поверхности 0,0050 рост запаса органического вещества отмечен только в верхнем слое A_t^{II} при резком сокращении его в слое A_t^{III} , что свидетельствует о наличии двух процессов: заболачивания-разболачивания.

Особенно большой прирост грубой органической массы – очеса из кукушкина льна ($255 \text{ г м}^{-2} \text{ год}^{-1}$) обнаружен спустя 25 лет после пожара в заболоченных долгомошных культурах сосны (на контрольном участке). Это соответствует теоретическим представлениям о повышенной скорости накопления ОВ при первичном болото- и почвообразовании.

Поверхностное осушение бороздами или мелкими канавами, расположенными на

расстоянии 10 м друг от друга, сократило накопление ОВ (разность с контролем начала опыта) в торфянистом горизонте A_t в разных типах леса на 3-20%. Исключение составил сосняк долгомошный, где произошло небольшое накопление ОВ на 4%. Показано, что поверхностное осушение частой, через 10 м, сетью борозд или мелких канав уменьшило запас органического вещества в торфянистом горизонте A_t заболоченных лесов в основном за счет сокращения запаса органического вещества в нижнем слое A_t^{III} .

Мощность торфянистого горизонта. Мощность A_t (рис.2) в естественных условиях по разному изменилась в зависимости от механического состава почв и уклона поверхности. На суглинках отмечен рост мощности A_t на 14-29% во всех исследуемых типах леса (кроме ивово-долгомошного, где мощность A_t осталась прежней). В основном это произошло за счет увеличения мощности A_t^{II} . В ельнике чернично-сфагновом с уклоном поверхности 0,0035 прирост в этом слое составил 1,6 см, а в ельниках долгомошных с уклоном поверхности 0,0050 до 2,9 см. В сосняках на песчаных почвах мощность горизонта A_t за 25 лет напротив, уменьшилась в сосняке долгомошном на 1,2 см, а в культурах сосны на

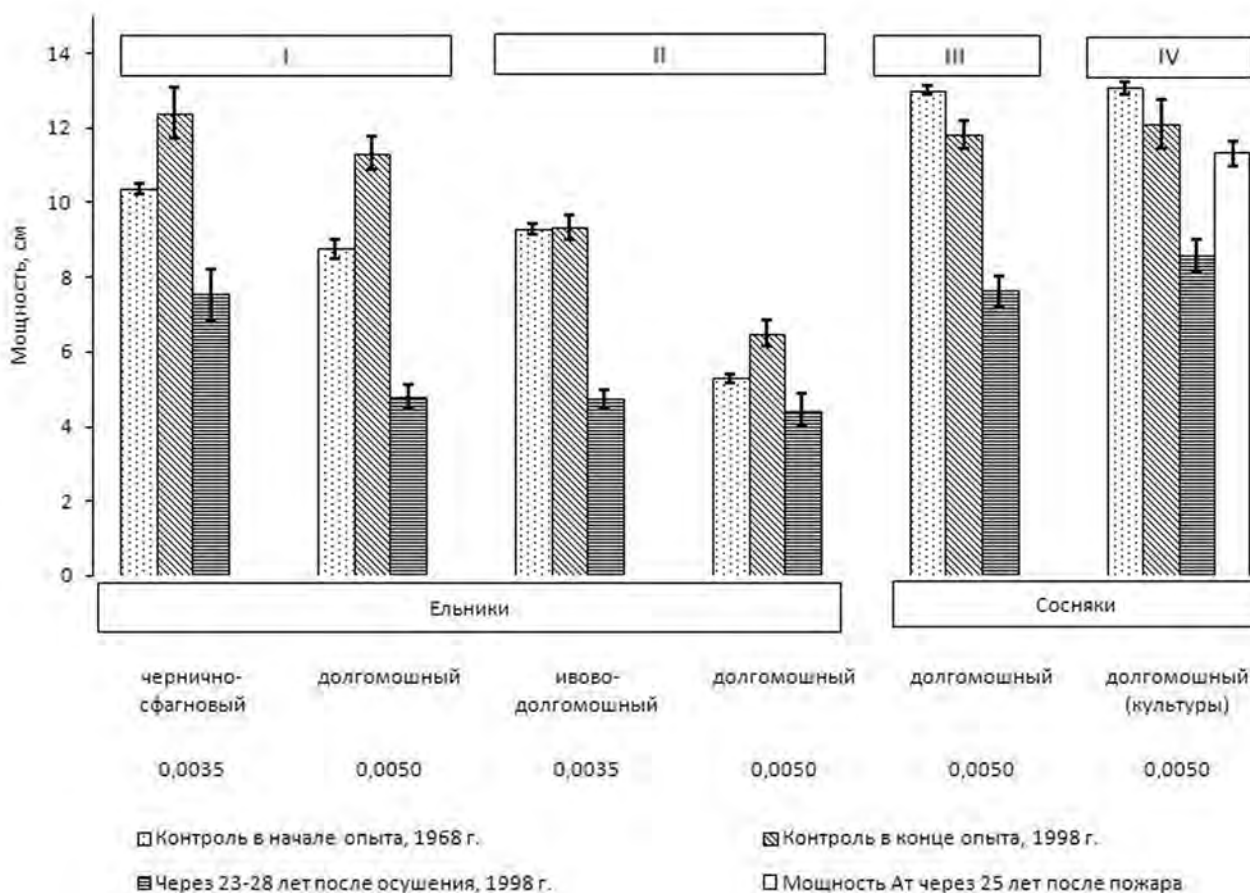


Рис. 2. Изменение мощности торфянистого горизонта A_t в заболоченных лесах в естественных условиях и при поверхностном осушении

1 см. Сокращение мощности торфянистого горизонта произошло и в слое Ат^{II}. В культурах сосны через 25 лет после пожара мощность горизонта Ат восстановилась до 11,3 см.

Поверхностное осушение достоверно уменьшило исходную мощность торфянистого горизонта Ат на 27-49% во всех исследуемых типах леса. Роль подстилания торфянистого горизонта легким суглинком или песком не выявлена. В большей мере изменения мощности Ат относятся к подгоризонту Ат^I, в меньшей – к подгоризонту Ат^{III}.

Выводы. За последние 2-3 десятилетия произошло заболачивание ельников на тяжелых суглинках при уклонах поверхности почвы 0,0035, они увеличили запас ОБ в торфянистом горизонте Ат со среднегодовыми темпами 22-68 г м⁻². При больших уклонах (0,0050) достоверного увеличения заболачивания ельников и культур сосны не обнаружено, что свидетельствует о наличии процессов заболачивания - разболачивания. Сосняк долгомошный за этот же период при уклонах 0,0050 показал достоверное увеличение запаса ОБ торфянистого слоя до 72 г м⁻² год⁻¹.

Особенно большой прирост грубой органической массы, очеса из кукушкина льна, 255 г м⁻² год⁻¹ обнаружен после пожара в заболоченных долгомошных сосняках. Это соответствует повышенной скорости накопления органического вещества при первичном болото- и почвообразовании. Имело значение также отсутствие задержания осадков древесным пологом в первые годы, а возможно, и экологическая приуроченность кукушкина льна к пожарищам.

Поверхностное осушение заболоченных лесов мелкой сетью канав или борозд в большинстве случаев уменьшило запас органического вещества в торфянистом горизонте Ат, однако достоверным, со средней скоростью 32-46 г м⁻² год⁻¹, оно было в 3-х из 6 исследуемых типов леса. Потери запаса органического вещества достоверно происходили, главным образом, за счет подгоризонта Ат^{III} с темпом 32-51 г м⁻² год⁻¹.

Гидролесомелиорация достоверно уменьшила исходный слой торфа Ат во всех типах леса на 27-49%. В большей мере изменения относятся к подгоризонту Ат^I, в меньшей – к Ат^{III}. Роль подстилания горизонта Ат легким суглинком или песком не выявлена.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий».

1. Вомперская М.И. Поверхностное осушение временно переувлажненных лесных почв. - М.: Наука, 1989. - 134 с.
2. Вомперский С.Э. Лес и болото: особенности круговорота веществ и проявления биосферной роли // Лесоведение. - 1991. - № 6. - С.54-64.
3. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В. и др. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах // Почвоведение. - 1994. - № 12. - С.17-25.
4. Комаров Ю.М. Мелкая мелиорация заболачиваемых лесных земель // Лесное хозяйство. - 1953. - № 10. - С.29-32.
5. Кошечев А.Л. Заболачивание вырубков и меры борьбы с ним. - М.: Наука, 1966. - 167 с.
6. Орлов А.Я., Кошельков С.П., Осипов В.В., Соколов А.А. Типы лесных биогеоценозов южной тайги. - М.: Наука, 1974. - 226 с.
7. Писарьков Х.А., Тимофеев А.Ф. Эффективность осушения сосняков и ельников-черничников // Лесное хозяйство. - 1955. - № 10. - С.19-23.

ОБЗОР СОЮЗА CARICION DAVALLIANAE KLIKA 1934 В УКРАИНЕ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ЕГО СООБЩЕСТВ

REVIEW OF UNION CARICION DAVALLIANAE KLIKA 1934 IN UKRAINE AND PROBLEMS OF CONSERVATION OF ITS ASSOCIATIONS

В.В. Дацюк

V.V. Datsiuk

Институт ботаники имени Н.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина

Holodny Institute of Botany NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

E-mail vdacuk@ukr.net

Союз *Caricion davallianae* Klika 1934 представляет интерес в фитоценологическом и флористическом аспектах, поскольку распространен на очень большой территории, преимущественно в Центральной Европе. Единого мнения о количестве ассоциаций в составе союза на сегодня нет, поскольку трактовка объема ассоциации разными учеными отличается, а также значительно различается наличие диагностических видов в каждом отдельном случае.

Для Европейской части России известный исследователь болот и синтаксономист болотной растительности Смагин В.А. выделяет три ассоциации этого союза: *Primulo-Schoenetum ferruginei*, *Caricetum hostianae*, *Caricetum paniceo-lepidocarpae*, *Carici flavae-Eriophoretum latifolii*, автор обработок указывает на их отличие от характерного для Центральной Европы (Боч, Смагин, 1987; Смагин, 2008;).

Болотные сообщества с *Schoenus ferrugineus* L. отмечены в Челябинской области, и сделана классификационная схема растительности болот данного типа (Ивченко, 2012).

В Польше приводят *Valeriano-Caricetum flavae* Pawłowski 1949, *Caricetum davallianae* Dutoit 1924 *Orchido-Schoenetum nigricantis* Oberdorfer 1957, *Schoenetum ferrugineus* (Fijałkowski D. 1960) Pałczyński A. 1964 (Matuszkiewicz, 2001).

Распространение в Украине сообществ очень неравномерное, преимущественно в западных регионах, Прикарпатье и Карпатах, что связано с геоморфологическими та климатическими особенностями болотных ценозов. Болота союза называют центральноевропейскими, они редкие для территории Украины, их охрана и детальное изучение является очень важным в аспекте сохранения биоразнообразия. По своему флористическому составу болотные сообщества отличаются большим количеством видов, и во многих случаях они являются редкими растительными сообществами Европы и Украины.

Сообщества карбонатных или известковых болот в Украине под влияние крупномасштабной мелиорации почти исчезли, отмечены незначительные участки сообществ. Однако на

современном этапе исследования обнаруживаются новые локалитеты болот этого типа, что является положительным моментом в аспекте охраны и исследования природы. В большинстве случаев данные болота приурочены к поймам рек или отдельным заболоченным участкам территории, которые очень минерализованы со значительным водным питанием.

В верхней части реки Западного Буга отмечены следующие сообщества этого союза: *Caricetum davallianae* Dutoit 1924, *Valeriano-Caricetum flavae* Pawłowski B. (1949 n.n.) 1960, *Juncetum subnodulosi* Koch 1926 (Кузьярин, 2001)

В Закарпатской низменности в бассейне реки Тиса в пределах Украинских Карпат союз *Caricion davallianae* Klika 1934 представлен ассоциациями: *Caricetum davallianae* Dutoit 1924 em. Görs 1963, *Valeriano-Caricetum flavae* Pawłowski B. (1949 n.n.) 1960, *Carici-Blysmetum compressi* Egger 1933, *Carici flave-Eriophoretum latifoliae* Soó 1944 (Фельбаба -Клушина, Л.М., 2010).

На Волынской возвышенности приведено ассоциации редких карбонатных болот с преобладанием ассоциаций: *Caricetum davallianae* Dutoit 1924 em. Görs 1963, *Schoenetum ferrugineus* (Fijałkowski D. 1960) Pałczyński A. 1964, *Valeriano-Caricetum flavae* Pawłowski B. (1949 n.n.) 1960 (Дацюк, 2013).

В лесостепи Украины, на основе исследований, выделены ассоциации: *Schoenetum ferrugineus* Du Rietz 1925, *Caricetum davallianae* (Görs 1977) Dirsen 1982, *Cladietum marisci* Allorge 1922 (Чорна, 2013).

Предварительный продромус союза *Caricion davallianae* Klika 1934 в Украине представлен следующим образом:

SCHEUCHZERIO PALUSTRIS-CARICETEA NIGRAE R.TÜXEN 1937

Caricetalia davallianae Braun-Blanquet 1949

Caricion davallianae Klika 1934

1. *Caricetum davallianae* Dutoit 1924,
2. *Valeriano simplicifoliae-Caricetum flavae* Pawłowski et al. 1960,
3. *Schoenetum ferrugineus* (Fijałkowski D. 1960) Pałczyński A. 1964

4. *Carici flavae-Eriophoretum latifolii* Soó 1944;
5. *Carici-Blysmetum compressi* Eggler 1933,
6. *Juncetum subnodulosi* Koch 1926

Современное синтаксономическое разнообразие болотных ценозов союза *Caricion davallianae* Klika 1934 в Украине на этапе разработки, для этого очень важно и необходимо унифицировать имеющийся материал и согласовать разногласия по поводу понимания и выделения сообществ этого союза.

Растительные сообщества данного типа болот, охраняемые по принципам Красной книги Украины (2009) и Зелёной книги Украины (2009), подлежат охране на популяционном и фитоценоотическом уровне.

Согласно с Красной книгой Украины (2009), на болотах, принадлежащих союзу *Caricion davallianae* Klika, охраняются 14 видов растений: *Betula humilis* Schrank, *Carex baxbaumii* (Wahlenb.), *Carex davallianna* Smith, *Carex dioica* L., *Carex hostiana* DC, *Dactylorhiza incarnate* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsia* (Druce) Soo, *Epipactis palustris* (L.) Crantz., *Ligularia sibirica* Cass, *Liparis loeselii* (L.) Rich, *Pinguicula vulgaris* L., *Salix myrtilloides* L., *Salix starkeana* Willd, *Schoenus ferrugineus* L., *Swertia perennis* L.

На фитоценоотическом уровне охраны, в соответствии с Зелёной книгой

Украины (2009), нами выделены следующие редкие растительные сообщества: *Caricetum (davallianae) hypnosum*; *Caricetum davallianae purum*; *Caricetum (davallianae) Schoenetum (ferruginei)*; *Schoenetum (ferruginei) hypnosum*; *Molinieto (caeruleae)–Schoenetum (ferruginei) hypnosum*; *Phragmiteto (australis)–Schoenetum (ferruginei) hypnosum*; *Betuletum (humilis) caricoso (lasiocarpae) sphagnosum*.

Нами сделана попытка обобщить информацию о распространении союза *Caricion davallianae* Klika 1934 в Украине, выделено 5 ассоциаций. Сообщества союза (8 ассоциаций) охраняются в соответствии с Зелёной книгой Украины. Редкие виды растений, образующие сообщества и, в большинстве случаев, являющиеся диагностическими видами, составляют 14 видов сосудистых растений. Приводится предварительный анализ союза, в дальнейшем необходимо сравнить изучаемые сообщества с таковыми для смежных государств (Польша, Румыния, Россия), что позволит выяснить генетические связи и сходство в флористическом и фитоценоотическом аспектах на уровне ценофлор. Также нами заложены мониторинговые площадки для изучения динамики растительности этих редких и ценных в созологическом плане болотных сообществ.

1. Боч М.С., Смагин В.А. Редкие ассоциации болот Северо-Запада европейской части СССР // Бюл. МОИП. Отд. Биол. - 1987. - Т.92. Вып. 1. - С. 106 – 116.
2. Дацюк В.В. Рідкісні карбонатні болота Волинської височини: поширення та охорона / Екологія водно-болотних угідь і торфовищ (збірник наукових статей) // Гол. ред. В.В. Коніщук. - Київ: ДІА, 2013. - С.73–78.
3. Зелена книга України // Під заг. ред. Дідуха Я.П. - Київ: Альтерпрес, 2009. - 448 с
4. Ивченко Т.Г. Редкие болотные сообщества с *Schoenus ferrugineus* L. на территории Челябинской области (Южный Урал) // Ботанический журнал. - 2012. - Т. 97. № 6. - С. 79 – 86.
5. Кузярін О. Т. Раритетні рослини та фітоценози заплав Західного Бугу // Наук. зап. держ. природозн. музею. - 2001 - Т. 16. - С. 87–102.
6. Смагин В.А. Союз *Caricion davallianae* на Северо-Западе Европейской России / Ботанический журнал. - 2008. - Т. 93. № 7. - С. 1029–1082
7. Фельбаба-Клушина Л. М. Рослинний покрив боліт і водойм верхів'я басейну р. Тиса (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони. - Ужгород: Поліграфцентр «Ліра», 2010. - 192с
8. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Дідух Я.П. – Київ.: Глобалконсалтинг, 2009. - 900 с.
10. Чорна Г.А. Рослинність водойм і боліт Лісостепу України. Умань. Жовтий. 2013. - 304с
11. Matuszkiewicz Władysław. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. - Warszawa, 2001. - 536 с.

НОВЫЙ СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ NEW METHOD OF LOCALIZATION OF PEAT FIRES

А.М.Ерицов¹, В.Г. Гусев²
A. Eritcov¹, V. Gusev²

¹ ФБУ «Авиалесоохрана», Московская область, Россия

¹ «Avialesookhrana», Moscow region, Russia

E-mail: aeritsov@mail.ru

² ФБУ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Россия

² Saint-Petersburg Forestry Research Institute, Russia

E-mail: gusev.v.g@mail.ru

В последние годы все чаще в тех или иных регионах Российской Федерации возникают пожары, которые охватывают все компоненты природного ландшафта, переходят на объекты экономики, населенные пункты, особенно опасно, когда пожары действуют продолжительное время на осушенных торфяниках. В 2010 году в России был зарегистрирован самый засушливый лесопожарный сезон в Европейской части России. Было зарегистрировано несколько температурных рекордов в период с 21 июня до 19 августа. Отсутствие осадков при высокой температуре воздуха (до 40 °С) и сильном ветре со скоростью более 30 м/с позволили пожарам выйти из под контроля. В общей сложности в стране 2,3 млн. гектаров земель лесного фонда было пройдено пожарами, а на активно охраняемой территории было зарегистрировано 32,3 тысячи пожаров. Они унесли жизни 62 человек. Около 100 000 человек было эвакуировано, огнем было уничтожено более 3 000 домов, в более чем 100 населенных пунктах в 19 регионах России. Количество торфяных пожаров в сравнении с лесными пожарами составило менее 1 %, однако от них существенно пострадало население таких мегаполисов как Москва, Нижний Новгород, Чебоксары, Новочебоксарск и другие населенные пункты, которые оказались в зоне задымления около месяца, что вызывало аллергию, легочные заболевания и болезни сердца. В соответствии со среднестатистическим показателями только в Москве смертность превысила многолетние значения на 56 тысяч человеческих жизней. Большинство пожаров возникло по вине людей. На тушении пожаров было привлечено более чем 200 000 пожарных, 30 тысяч пожарных машин и тракторов, приблизительно 200 воздушных судов. 14 государств оказали помощь в тушении пожаров. После пожароопасного сезона 2010 года Правительством Российской Федерации были приняты беспрецедентные меры по обводнению торфяников в Московской, Владимирской, Тверской и Рязанской областях, было выделено целевое финансирование для обновления лесопожарной техники в субъектах

Российской Федерации, приобретено около 3 тыс. машин и механизмов для предупреждения и тушения лесных пожаров.

Возгорание торфа возможно в течение всего года. Однако наибольшее число торфяных пожаров отмечается во второй половине лета, после длительной засухи. Основными причинами возгораний торфяников являются попадание на него искр от работающих машин, грозовые разряды, неосторожное обращение с огнем вблизи торфяников, иногда и самовозгорание. Кроме того, достаточно часто почвенные торфяные пожары являются развитием низового лесного пожара. В слой торфа в этих случаях огонь заглубляется у стволов деревьев (рис 1).

Горение торфа обычно происходит в режиме «тления», то есть в беспламенной фазе как за счет кислорода, поступающего вместе с воздухом, так и за счет его выделения при термическом разложении сгораемого материала.

Процесс горения в нижней части происходит значительно интенсивней, чем сверху. Это объясняется тем, что свежий холодный воздух, как более тяжелый, поступает в нижнюю часть зоны горения, где реагирует с горящим торфом. Углекислый и угарный газы, а также продукты пиролиза (термическое разложение органических соединений при недостатке кислорода) торфа в нагретом виде омывают верхнюю часть зоны горения, препятствуя доступу к ней кислорода. Также распространению горения на верхние слои почвы препятствует повышенная влажность в задернелом корнеобитаемом слое почвы, хорошо удерживающем влагу от выпадения осадков и капиллярного подъема грунтовых вод.

Заглубляясь в нижние слои торфа до минерального грунта или уровня грунтовых вод, горение может распространяться на десятки и сотни метров от входного отверстия, лишь местами выходя на поверхность. При заглублении очага горения происходит аккумуляция выделяющегося в слое торфа тепла и его распространение в направлении участков с повышенной влажностью, воспламеняющихся после испарения содержащейся в них влаги.

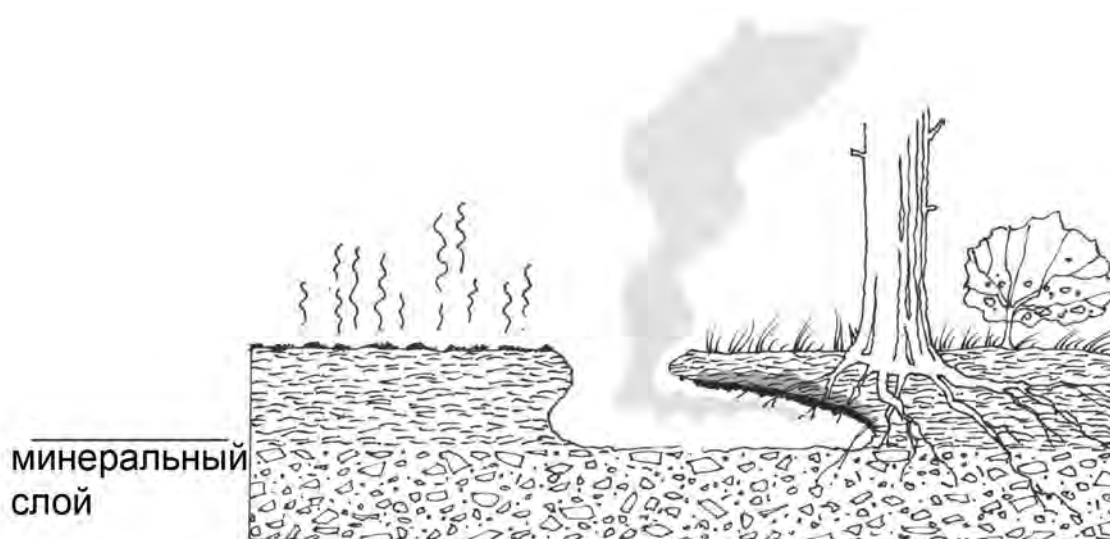


Рис.1. Типичный торфяной пожар в лесу

Хотя скорость продвижения кромки торфяного пожара составляет не более нескольких метров в сутки, они отличаются устойчивостью горения, которое при заглублении на 1,0 - 1,5 м не могут ликвидировать даже обильные осадки.

При выпадении осадков битумированные частицы торфа не намокают, влага уходит между них в грунтовые воды, и торфяная залежь может гореть годами до полного выгорания месторождения.

Наиболее распространенным способом борьбы с торфяными пожарами является тушение горящего торфа водой. Для бесперебойной подачи значительного количества воды в очаги торфяных пожаров широко используют осушительные каналы. Вода в них нагнетается из естественных водоемов с помощью центробежных насосов или пускается самотеком. Для подачи воды непосредственно в очаги пожара на бровках каналов на расстоянии 250-300 м друг от друга сооружают водозаборные колодцы.

На торфяных месторождениях, где подстилающие грунты обладают хорошей фильтрующей способностью, используют грунтовые воды. Для этого на всей площади полей добычи торфа на расстоянии 300-500 м одна от другой оборудуют водозаборные скважины, из которых воду для тушения пожара забирают с помощью пожарных насосов или мотопомп. Для повышения коэффициента использования воды в нее добавляют небольшое количество смачивателей, благодаря которым резко снижается расход воды, время тушения торфяных пожаров уменьшается в 4-5 раз, а глубина пропитки увеличивается в 8-10 раз, что предотвращает повторное загорание торфа.

Для локализации очагов пожаров устраивают заградительные полосы или канавы на путях распространения огня. Ширина этих полос на головном фронте пожара должна достигать 10-20 м,

на флангах она может быть 1.5-2 м, поскольку на этих направлениях перелет искр через полосу маловероятен. Для устройства намеченных заградительных полос с поверхности земли удаляют верхний слой торфа или увлажняют его до состояния, при котором торф в полевых условиях не горит. Для тушения торфяных пожаров следует проводить их опашку или окапывание, а также тушить, действуя мощными струями воды с помощью насосных установок. В связи с медленным распространением пожара последовательность обработки его тактических частей (фронт, фланги, тыл) значения не имеет.

Для тушения неглубоких торфяных пожаров есть способ, предложенный Пермским ученым В.Сретенским. При таком способе тушения торфяных пожаров горящий слой торфа, имеющий температуру горения 600°C, перемешивается с помощью бульдозера с верхним слоем, имеющим температуру не более 10°C. Этой операцией температура горящего торфа понижается до температуры ниже температуры возгорания торфа. Этот метод успешно применен в различных регионах России. По этой методике вода не требуется. Необходимы только бульдозеры. С их помощью, при наличии навыков, горящие месяцами торфяные пожары тушатся за несколько дней.

Для тушения торфяных пожаров водой применяются торфяные стволы. Модели стволов: ТС-1 — состоит из латунной трубки с внутренним диаметром 16 мм, наконечника и крана-ручки с накидной гайкой. В нижней части имеет 40 отверстий диаметром до 3 мм. Вода со смачивателем поступает от мотопомпы в ствол под давлением 3-4 атмосфер через отверстия в почву. Масса ТС-1 — 2.2 кг. Общая длина — 1,3 м. Расход жидкости — 35-42 л/мин; ТС-2 — применяется для тушения торфяных пожаров при глубине

прогорания до 2 м. Общая длина ствола — 2,1 м. В нижней части имеется 80 отверстий. Масса ствола — 3,2 кг. Торфяные стволы вонзают в почву, поворотом ручки открывают доступ раствора и выдерживают 32-40 секунд до появления пены у прокола. Закрывают кран и переносят ствол на другое место. Следующий прокол делают на расстоянии 35-40 см от предыдущего. При применении торфяных стволов ТС-1 и ТС-2 для полной ликвидации очага пожара необходимо обработать полосу шириной 0.7-0.8 м, прилегающую к кромке очага. Для создания такой полосы скважины следует располагать в два ряда. Первый ряд прокладывают на расстоянии 0.1 - 0.2 м от видимой кромки, а второй - на 0.3 - 0.4 м от первого. При нагнетании в стволы воды под давлением 3-4 атм. расход воды со смачивателем составляет от 35 до 42 л/мин. При отсутствии водного источника вблизи очага пожара его можно локализовать канавой. В случаях многоочаговых торфяных пожаров, обычно возникающих на торфянистых почвах в результате заглужения низового пожара, тушение возможно лишь путем локализации всей площади, на которой находятся очаги. Такую локализацию следует производить с помощью канавокопателей или взрывчатых материалов с подачей затем в проложенную канаву воды из местных водных источников. При наличии достаточного количества воды одновременно следует обрабатывать водой поверхность горящего торфа.

Все вышеперечисленные способы тушения торфяных пожаров требуют наличия водных источников, отличаются трудоемкостью создания

минерализованных полос и канав достаточной глубины ручным или механизированным способом. Взрывной способ в настоящее время почти не используется в связи с жесткими требованиями по учету, хранению, перевозке и применению, а также в связи с существенной дороговизной взрывчатых материалов.

Наиболее эффективный способ тушения торфяных пожаров предложен учеными ФБУ «СПбНИИЛХ», основанный на создании вертикальной преграды продвижению кромки пожара. Преграда прерывает все механизмы теплопередачи (теплопроводность, излучение, конвекцию) от кромки горения к расположенному перед ней растительному покрову. В качестве такой преграды используется противопожарный экран многократного применения из негорючей кремнезёмной ткани, которая долговременно выдерживает температуру 1000 °С, а кратковременно до 1400 °С. Этот способ является дальнейшим развитием разработанного в институте метода борьбы с низовыми пожарами, который уже прошёл экспериментальную проверку и апробацию (рис. 2 и 3).

Для тушения торфяных пожаров траншеекопатель прокладывает траншею (щель) по периметру торфяного пожара. Вдоль стенки траншеи на глубину до минерального слоя или до уровня грунтовых вод устанавливают огнезащитный экран, возвышающийся над поверхностью земли на высоту 0,4 метра. Находящаяся над траншей частью экрана закрепляется на лёгких негорючих стойках. Для ускорения развертывания огнезащитного экрана и опускания его в щель, нижнюю его часть утяжеляют.

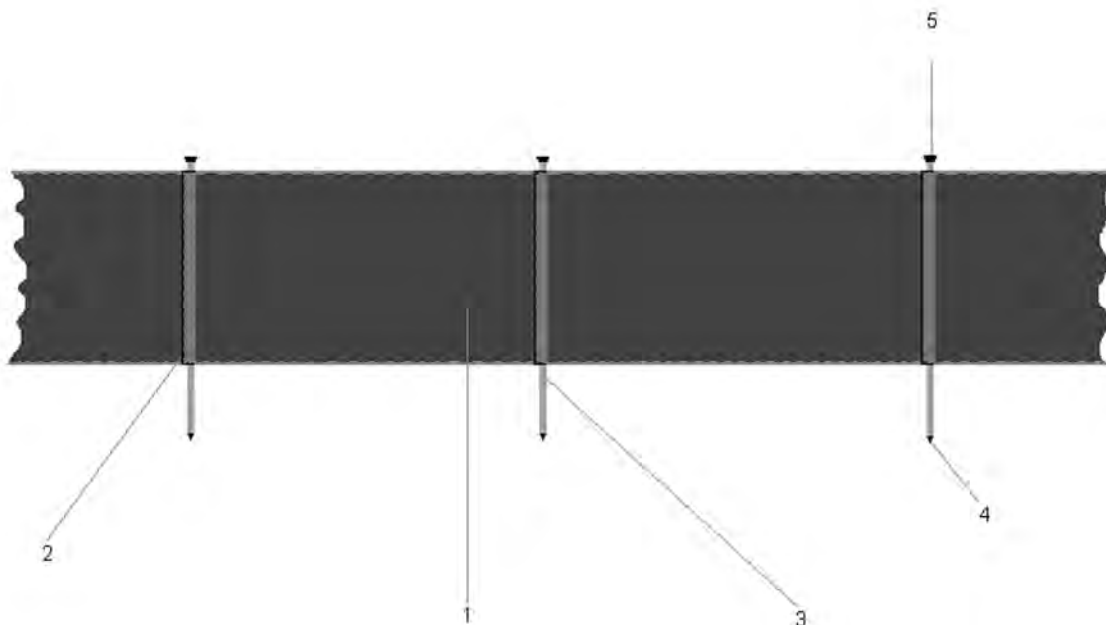


Рис.2. Схема противопожарного экрана:

- 1 – огнестойкая ткань; 2 – напуски для стоек; 3 - лёгкие негорючие стойки; 4. – металлический наконечник; 5 – металлический колпачок.



Рис. 3. Остановка кромки пожара у экрана

Огнезащитный экран и воздушный зазор в траншее изолируют находящийся за ними слой торфа от непосредственного воздействия огня, передачи тепла конвекцией и излучением. Также огнезащитный экран исключает перенос тлеющей торфяной крошки и других горящих частиц за траншею. После установки экрана достигается не распространение очага горения торфа.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет локализовывать торфяные пожары в отсутствие воды, которой как правило не хватает при борьбе с торфяными пожарами, осуществлять оперативную переустановку экрана на других

опасных направлениях, а также многократное его использование на других пожарах. При этом не требуется доставка сил и средств пожаротушения непосредственно в зону торфяного пожара, что является существенным в отношении соблюдения техники безопасности.

Простота, удобство, дешевизна, защита от переноса горящих растительных частиц и торфяной крошки являются безусловным преимуществом применения данного способа тушения торфяных пожаров в сравнении с традиционными способами.

1. Сборник организационно-распорядительных документов по охране лесов от пожаров. - М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1997. - 119с.
2. Стародумов А.М. О целевом назначении и эффективности защитных минерализованных полос. // В бюлл. ДальНИИЛХ. - 1959. - Вып.6.
3. Гусев В.Г., Арцыбашев Е.С., Степанов В.Н., Ерицов А.М. Новые способы тушения низовых и торфяных лесных пожаров, Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: материалы международной научно-практической конференции, Гомель, 09–11 октября 2013 г. / Институт леса НАН Беларуси, 2013. -13 с.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ БОЛОТИСТЫХ ПОЧВ

BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO RECLAMATION OF THE PETROPOLLUTED MARSHY SOILS

Л.А. Ерофеевская

L.A. Erofeevskaya

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

Institute of problems of oil and gas of the SB RAS, Yakutsk, Russia

E-mail: lora-07.65@mail.ru

Земельный фонд Республики Саха (Якутия) лишь на 0,5 % (1640,7 тыс. га) состоит из сельскохозяйственных угодий; 99,5% (306711,6 тыс. га) занимают земли не пригодные для аграрного развития, при этом 32 867,6 тыс. га из них заняты землями, находящимися под водой болотами.

В силу природно-климатических условий, болотные экосистемы Якутии отличаются слабой эколого-геохимической устойчивостью к нефтяному загрязнению. Низкий потенциал к самовосстановлению в условиях короткого вегетационного периода и низких температур, обуславливает необходимость экологических исследований, направленных на поиск технологий ликвидации нефтезагрязнений, позволяющих максимально добиться восстановления естественных сообществ нарушенных экосистем болотистых местностей.

В рамках лабораторно-полевых экспериментов ГК № 845 «Изыскание способов и средств нейтрализации аварийных разливов нефти на нефтепроводах в местах подводных переходов, болотистых мест в условиях низких температур Якутии» проведены испытания природных и искусственных материалов в качестве стимуляторов процесса очищения болотистых почв от нефтезагрязнений.

Материалом для исследований служили:

- рабочая коллекция штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ), выделенных из мерзлотных почв и грунтов Якутии;
- природный цеолит месторождения Хонгуруу (Западная Якутия);
- вермикулит месторождения Инагли (Южная Якутия);
- сапропель озера Сугун (Центральная Якутия);
- сорбирующее полотно «Экосорб» (ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ»);
- светокорректирующая стабилизированная полиэтиленовая плёнка (Северск);
- светостабилизированное полотно «Агротекс» (Новосибирск).

Результаты исследований.

1. Испытание сорбирующего полотна «Экосорб», производитель ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ», Москва.

Экосорб выполнен в виде полотна, сформированного в единую, объемную гофрированную

структуру из термически скрепленных между собой гидрофобных полимерных волокон. Диаметр волокна не более 10-300 мкм. Плотность материала волокна 50-100 кг/м³. Сорбционная емкость нефти в режиме сбора с поверхности воды 8,0-12,0 кг/кг. Имеющиеся ёмкие полости, образованные на сорбирующем полотне при термическом скреплении между собой полимерных волокон, в процессе изготовления материала, позволили нам использовать это свойство для иммобилизации суспензии нефтеокисляющей микрофлоры в сорбент.

Испытания модифицированного «Экосорба» провели в опытах по изучению деструкции нефтепродуктов в почве, в воде и донных отложениях. Для этого иммобилизованный штаммами УОМ сорбент помещали на поверхность нефтезагрязнённой почвы и воды. Перед проведением опытов и через 100 дней после начала экспериментов были изучены микробиологические процессы и степень деструкции нефтепродуктов под влиянием «Экосорба».

Установлено, что использование в опытах сорбента, иммобилизованного УОМ, позволило очистить от нефтепродуктов за 100 дней почву на 69,56% и воду на 96,10%. Содержание НП в донных осадках котлована после снятия с водной поверхности модифицированного «Экосорба», за этот же промежуток времени уменьшилось на 79,26% (таблица).

Общее количество микрофлоры в почве с использованием «Экосорба», иммобилизованного УОМ, за период проведения эксперимента увеличилось с 260 тыс. до 39 млрд. кл/г АСВ; в донных осадках этот показатель практически не изменился. Нефтеокисляющая микрофлора к окончанию эксперимента была на 1-2 порядка ниже, чем в других опытах, что связано с недостатком аэрации опытного участка.

Микрофлора воды после опыта была представлена главным образом гнилостными бактериями рода *Proteus vulgaris* и аллергогенными аскомицетами с чёрным воздушным мицелием. Грибы рода *Aspergillus niger* также были выделены из почв опытного участка варианта «Экосорб», иммобилизованного УОМ. Вероятно, сорбция нефти полотном спровоцировала

Таблица. Результаты исследования модифицированного полотна «Экосорб» на деструкцию нефтезагрязнения

№ пробы по каталогу	Объект исследований	Содержание НП, %		Деструкция НП, через 100 дней, %
		До опыта	После опыта	
ДТ-2	Вода	15,2750	0,5950	96,10
ДТ-2	Донные отложения	0,5108	0,1059	79,26
С-14	Почва	0,2323	0,7070	69,56

создание мокнущего эффекта, что и явилось причиной размножения плесневых грибов и гнилостных бактерий, предпочитающих теплые и влажные условия. Возможность использования промышленного сорбента «Экосорб» в качестве носителя УОМ исследована впервые и требует дополнительных испытаний.

2. Испытание стимулирующего воздействия светокорректирующей плёнки и укрывного полотна «Агротекс» на микробиологический процесс деструкции нефти в условиях болотистой местности

В регионах с пониженной температурой воздуха и почвы биodeградация углеводов, загрязняющих почву, происходит с помощью естественной углеводородокисляющей микрофлоры в течение длительного времени. Без управления процессов биodeградации, направленных прежде всего, на активизацию биохимических процессов жизнедеятельности микробных сообществ, добиться возвращения экосистемы в устойчивое равновесие за короткий период (1-2 года) практически невозможно, поскольку северная экосистема отличается особой ранимостью, а якутское лето характеризуется коротким вегетационным периодом.

Для удлинения вегетационного периода и улучшения температурного режима мерзлотной почвы в условиях болотистой местности, рассмотрена возможность применения полимерной пленки, обладающей «полисветановым» эффектом со светокорректирующими свойствами и укрывного светостабилизированного полотна «Агротекс», структура которого позволяет проникать солнечному свету, воде, воздуху, что обеспечивает равномерный тепло- и влагообмен. Эксперименты проведены в тех же условиях, что и опыты, описанные выше.

Сравнительный анализ структуры микробных сообществ показал, что в опытах с использованием светокорректирующей пленки и светостабилизированного полотна, к окончанию эксперимента в почвах сократилась численность аллергогенных почвенных грибов, что привело к преобладанию сапрофитных бактерий и улучшению санитарного состояния экспериментальных участков.

Согревающий эффект укрывного материала и плёнки сказались и на численности разрушителей целлюлозы: в опыте со светокорректирующей

плёнкой численность возросла в 3 раза, с «Агротексом» в 2 раза, по сравнению с опытами с использованием цеолита и вермикулита. Таким образом, в почвах данных участков, гумификация за счёт деструкции растительных остатков происходила интенсивнее, чем в опытах без укрывающих материалов.

Представители целлюлозолитиков опытных участков были отнесены, главным образом, к сапрофитной плесени рода *Ulocladium* spp. Микрофлора, потребляющая минеральные формы азота при посеве на крахмал-аммиачный агар практически не изменилась и была на одном уровне до и после проведения опытов.

Защита «Агротекса» и светокорректирующей плёнки от неблагоприятных погодных условий, позволила увеличить количество нефтеокисляющей микрофлоры на порядок выше, чем в других опытных участках, что обеспечило более высокий коэффициент деградации нефтезагрязнений за 100 дней (77,99-90,22%) в сравнении с опытами с цеолитом и вермикулитом.

Таким образом, показана возможность интенсификации биохимического окисления углеводов нефти в болотистой почве при использовании светокорректирующей полимерной пленки и светораспределяющего укрывного полотна «Агротекс». Применение данных материалов позволило увеличить на 3 порядка численность основных физиологических групп микрофлоры, участвующей в процессах восстановления нефтезагрязненных почв. При этом процессы биodeградации нефтяных загрязнений протекают в 3 раза быстрее, чем при использовании цеолита и в 1,5 раза быстрее, чем в варианте с использованием «Экосорба», иммобилизованного УОМ.

Обнаруженный эффект фотолюминесцентной активации может быть использован при разработке экологически безопасных методов восстановления нефтезагрязненных почв на ограниченных площадях.

3. Испытание стимулирующего воздействия природных материалов на микробиологический процесс деструкции нефти в условиях болотистой местности

С целью оценки стимулирующего воздействия природных материалов на процесс микробиологической деструкции нефтяных углеводов проведен опыт, в котором в нефтезагрязненную почву вносили цеолит месторождения Хонгуруу

(Западная Якутия), термовспученный вермикулит месторождения Инагли (Южная Якутия) и механоактивированный сапропель оз. Сугун (Центральная Якутия), иммобилизованных клетками почвенных микроорганизмов, участвующих в процессах восстановления нефтезагрязненных почв.

Исходное содержание нефти в почвах опытных участков с цеолитом составляло 7348 мг/кг; с вермикулитом – 3840 мг/кг; с сапропелем 2374-2841 мг/кг.

В работе использованы механоактивированные: вермикулит и цеолит фракциями 2 мм и сапропель фракциями 2 и 5 мм. Доза внесения цеолита - 100 г/кв.м; вермикулита и сапропеля – 50 г/кв.м почвы. Количество иммобилизованных клеток почвенных микроорганизмов на поверхность механоактивированных материалов составила $1 \cdot 10^6$ кл/г. Для поддержания оптимальной влажности и создания условий аэрации проведён полив и рыхление почвы.

Микробиологический анализ, проведенный через 100 дней после внесения в нефтезагрязненную почву минералов, показал сокращение численности аммонификаторов. Это связано с тем, что природные минералы обладают не только сорбционной способностью, но также способностью к дезинфекции гнилостных бактерий и оздоровлению почв, в случае застойного увлажнения, что характерно для болотистых почв. В условиях проведения экспериментов группа аммонификаторов была представлена споровыми палочками родов *Bacillus* и *Pseudomonas*.

Степень очистки от нефтезагрязнения в опыте с цеолитом, иммобилизованным УОМ составила 74,6%, в то время, как внесение цеолитовой крошки, не иммобилизованной УОМ составила всего 24,08 %, за тот же период времени (см. табл.2.4.2). По данным других авторов (Терещенко Н.Н. и др. 2002, 2004), применение цеолитов различных месторождений (Шивыртуйского (Красноярский край), Пегасского (Кемерово) и Чанканайского (Казахстан)) для рекультивации дерново-подзолистых почв обеспечивает 15-24% деструкции нефтепродуктов за 2 месяца, что соответствует результатам наших исследований.

Внесение в нефтезагрязненную торфяноболотистую почву сапропеля оз. Сугун, иммобилизованного УОМ снизили биологическую активность торфяной залежи. В данном опыте нефть не окислилась, а фитотоксичность увеличилась, что привело к полной гибели растений,

высаженных на данных участках и распространению микромицетов предпочитающих подкисленный субстрат. Это было связано с подкислением почв, поскольку рН в данных участках за время проведения опытов снизилась с 6,68-6,78 до 5,82-5,84. Эти же клетки бактерий, но иммобилизованных на механоактивированный вермикулит и цеолит позволили снизить фитотоксичность и утилизировать нефть на 74,6% в варианте с цеолитом и на 73,6% в варианте с вермикулитом. Уровень кислотности в участках увеличился с рН 6,00-6,19 до опыта до 6,85-6,92 через 100 дней (табл. 2.4.2).

Таким образом, в результате исследований показана возможность интенсификации биологического окисления углеводородов нефти в торфяноболотистой почве при использовании светокорректирующей полимерной пленки; светораспределяющего укрывного полотна «Агротекс», сорбирующего полотна «Экосорб» и природных минералов - вермикулита и цеолита, что проявляется в увеличении численности почвенных микроорганизмов, активно участвующих в процессах самовосстановления почвы и утилизации нефти. Использование данных материалов показало, что в опытных участках за 1 вегетационный период деградировало 90,22% нефти в опыте со светокорректирующей пленкой; 77,90% - в опыте с использованием полотна «Агротекс»; 69,57% - в опыте с использованием полотна «Экосорб». Внесение вермикулита и цеолита, иммобилизованных УОМ позволило окислить 73,59-74,60% нефти за тот же период времени. Кроме того, механоактивированный цеолит и вермикулит можно использовать для подщелачивания кислых почв.

Микробиологические показатели состояния почвы показали ее потенциальную активность на каждом из этапов восстановления или самовосстановления. С их помощью можно обосновать планируемые работы, что приведет не только к экономии средств на природоохранные мероприятия, но и даст возможность определить оптимальный комплекс технологических приемов рекультивации для получения наилучшего результата. На этапе завершения рекультивационных работ и приемки земель применение методов микробиологического контроля позволяет оценить потенциал дальнейшего самовосстановления объекта и степень его воздействия на окружающую среду.

1. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Пышьева Е.В. Рекультивация нефтезагрязненных почв. // Экология и промышленность России, 2002. - С.17–20.
2. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Пышьева Е.В. Биологическая азотфиксация как фактор ускорения микробной деструкции нефтяных углеводородов в почве и способы ее стимулирования // Биотехнология. - 2004. - №5. - С.41–44.

ПЕРСПЕКТИВА БИОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПОНЕНТОВ НЕФТИ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЕЕ В ПОЧВУ

PERSPECTIVES OF BIOLOGICAL UTILIZATION OF THE HIGHLY MOLECULAR OIL COMPONENTS UNDER SOIL APPLICATION

Л.А. Игнатьев

L.A. Ignat'ev

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

E-mail: ignatev37@ngs.ru

Источниками высокомолекулярных («тяжелых») компонентов нефти являются нефтешламы, образуемые при разрыве трубопроводов нефтесборной сети, значительное их содержание в шламовых амбарах и выбросах геля на дневную поверхность в процессе гидравлического разрыва нефтеносных пластов.

Легкие фракции нефти испаряются в первые часы и дни с появлением на открытой поверхности. Так при исследовании в области рекультивации загрязненных лесо-болотных экосистем нефтью одного из месторождений среднего Приобья Западной Сибири, приводятся сведения о групповом ее составе (Алексеева и др., 2010). Авторами установлено, что на долю парафино-нафтеновых углеводородов приходится 72%, ароматических – 13%, смол 11% и асфальтенов – 4%, т.е. на долю нефтяных углеводородов, которые могут относительно быстро подвергаться биологическому разложению, приходится 85% (кроме смол и асфальтенов).

Молекулярный состав используемой нефти в данном исследовании ограничивался качественной оценкой по высоте и площади пик на хроматограммах, существенное увеличение высоты и площади которых наблюдалось, начиная с компонентов по числу углеродных атомов от 23-25 до 28-30. Это определение осуществлялось методом хроматографического анализа на хроматографе Clarus 500 с пламенно-ионизационным детектором. В качестве растворителей при экстракции углеводородов использовались: для низкокипящих алканов (C7 - C15) н-гексан, а высококипящих компонентов (C30 - C35) н-пентатриоктанол. Дополнительно проводилось определение объемного ее веса, который находился в пределах 940-960 мг/л.

Одним из современных способов утилизации «тяжелых» фракций нефти состоит в ее высокотемпературном сжигании, что связано с большими энергозатратами и загрязнением атмосферы поллютантами. Это вызывает необходимость разработки менее затратной и экологически безопасной технологии, на основе, предположительно, биологического способа ее окисления посредством использования в качестве мелиоративного субстрата минеральных почв на повышенных элементах рельефа, для чего необходимо было проведение исследований по влиянию такой нефти (нефтешламов) на состояние почвы и высших растений.

Полевые опыты с размером элементарной делянки 3-6 м² проводились на олиготрофных дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава в 2009-2011 г.г. на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

В 2012 г. был заложен вегетационно-полевой опыт в окрестностях г. Новосибирска с луговым красным клевером на серой лесной почве среднего гранулометрического состава. Закладка вариантов в обеих сериях опытов осуществлялась в 3-кратной повторности с задачей поиска концентрации нефти в почве, не вызывающей повреждающего воздействия на состояние растений.

Так в 2009 году был проведен рекогносцировочный полевой опыт на территории Мамонтовского месторождения нефти «РН-Юганскнефтегаз» (куст 596). На делянках площадью 6 кв. м вносилась нефть, взятая с водной поверхности шламового амбара, под перекопку почвы из расчета 1,0; 2,0, 4,0% по объему к верхнему горизонту 0-20 см. На возделываемых делянках культивировались растения картофеля.

Показателем влияния «тяжелой» нефти на почву служила биологическая активность почвы, для чего на почвенных образцах проводилось определение величины микробной биомассы (Brookes O.C. and others, 1985). Было установлено, что при концентрации нефти, равной 1% и 4%, существенные различия по величине этого показателя в опытных вариантах по сравнению с контролем м (вариант без внесения нефти) отсутствовали. Резкое увеличение микробной биомассы (8,4 мг/кг сухой почвы против 3,8 мг/кг в контрольном варианте) наблюдалось при концентрации нефти, равной 2%, что можно было отнести за счет углеродоокисляющей способности микроорганизмов почвы.

В этой связи при усилении биологической активности почвы можно было ожидать увеличение продуктивности растений картофеля. Однако урожай клубней картофеля оставался на уровне контрольного варианта при содержании нефти, равном только 1,0%. Увеличение ее содержания до 2% вызывало существенное снижение продуктивности растений, особенно в варианте с содержанием нефти до 4,0%, что могло свидетельствовать о повреждающем действии нефти на растения с возрастом ее концентрации от 1.0 до 4,0%.

Этот результат подтвердился в опытах 2010 и 2011 г.г., проведенных в идентичных с опытом

Таблица 1. Продуктивность растений картофеля, выращенного на почве с различным содержанием «тяжелой» нефти, полевой опыт 2010 г.

Вариант, % нефти в почве	Общая сырая биомасса (вегетативные органы + клубни)		Масса клубней		Отношение масс: клубни / общая биомасса
	г/1 куст	% к контролю	г/1 куст	% к контролю	
0	200	100	110	100	0,55
0,5	249	124	137	126	0,55
1,0	177	88	106	96	0,60
2,0	115	57	60	55	0,52
НСП 05	-	-	34	-	-
Cd*	-	-	14	-	-

*Cd – среднее квадратичное отклонение от среднеарифметических величин

2009 года почвенно-экологических условиях. В опыте 2010 года исследовалось влияние на растения концентраций нефти 0,5, 1,0 и 2,0%. И в этом случае урожай клубней в расчете на 1 куст составил всего 55% относительно контроля при содержании нефти в почве, равном 2% (табл.1). При индифферентном влиянии на продуктивность растений 1-процентной концентрации увеличение урожая клубней на 26% относительно контроля было только при ее содержании 0,5%.

Наблюдения показывают, что скопление «тяжелой» нефти в больших объемах на дневной поверхности при аварийных разливах или на водной поверхности шламовых амбаров не происходит ее минерализация (окисления) в естественных условиях очень продолжительное время.

Однако дисперсное распределение относительно невысокой дозы нефти в большом объеме почвы улучшает условия аэрации, что должно бы способствовать ее окислению. Для проверки этого допущения в 2011 году на тех же делянках опыта 2010 года была проведена повторная посадка картофеля. Проведенный учет урожая клубней выявил тенденцию его увеличения на 13,5% в варианте с концентрацией нефти, равной уже 1%, Концентрация, равная 2,0% в год ее внесения (2010 г.) вызывала снижение урожая клубней на 45% (табл.1), а через 1 год, - уже на 31%. Такие результаты могли быть следствием окисления нефти в течение 1 года и реального снижения содержания алкано-нафтеновых ее компонентов во всех вариантах опыта даже в условиях бореальной зоны Западной Сибири. Это подтверждается исследованиями, проведенными на территории Ямало-Ненецкого автономного округа [Алексеев и др., 2011], в результате которых было показано, что для практически полного окисления нефти в почве требуется 1 месяц при температуре 25-30°C с одновременным внесением микробиологического препарата и 2 года - в естественных условиях при летних температурах, равных 10-15°C.

Об этом свидетельствуют и результаты опыта с внесением «тяжелой» нефти под посевы лугового красного клевера в условиях северной лесостепи. В этом опыте проводилось определение содержания углеводов через 1 и 3 месяца после внесения нефти в верхний горизонт (0-40 см) серой лесной почвы. Оказалось, что за 2 летних месяца (июль-август) содержание углеводов снизилось с 0,25 до 0,08 и с 0,35 до 0,14%, соответственно, при внесении в почву 0,5 и 1,0% к ее объему. При этом всхожесть семян в вариантах на этих концентрациях была выше, чем в контрольном варианте (без внесения нефти в почву).

Что касается повышенной продуктивности картофеля в вариантах с содержанием нефти 0,5 и 1,0% в опыте 2010 и 2011 г.г., то этот эффект можно объяснить изменением почвенно-агрохимических ее свойств почвы в опытных вариантах. Так, при отсутствии существенных различий с контролем по содержанию валового азота, 1- и 2-валентных элементов минерального питания растений, наблюдалось увеличение органического углерода и подвижных форм фосфора, что могло оказать положительное влияние на физические свойства почвы и оптимизацию трофического обеспечения растений. Повышение концентрации нефти до 2,0% также способствовало улучшению условий минерального питания растений, но положительное влияние на продуктивность растений этих изменений нивелировалось токсичностью данной концентрации нефти даже на второй год после ее внесения в почву.

Таким образом, в целом положительное влияние на состояние растений и свойства почвы высокомолекулярных компонентов нефти при содержании ее в почве до 1,0 % создает обоснованную предпосылку для организации производственных испытаний на территории лесного и сельскохозяйственного землепользования, как основы для разработки и внедрения биологического способа утилизации нефтяных отходов в качестве мелиоративного субстрата.

1. Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Сысоева Л.Н., Трунова Н.М., Стахина Л.Д. Влияние состава и способов применения торфяных мелиорантов на деструкцию нефтяных углеводов // Нефтяное хозяйство. - 2010. - № 1. - С. 111-114.
2. Алексеев А.Ю., Забелин В.А., Шестопапов А.М. Опыт биологической рекультивации болот, подвергшихся воздействию разливов нефти / Сб.: Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. - Новосибирск, 2011. - С. 158-159.
3. Brookes O.C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D.S. Chlorofom fumigation and the release of soil nitrogenia rapid extraction method to measure microbial biomass in the soil // Soilbiology and Biochemistry. - 1985. - № 17. - P. 837-842.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОХРАНЫ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ QUESTION OF PROTECTION OF WETLAND ECOSYSTEMS

Е.И. Ковалева^{1,2}, А.С. Яковлев¹*

E.I. Kovaleva^{1,2}, A.S. Yakovlev¹*

¹ Факультет почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

¹ Soil Science Faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, Russia

² АНО «Экотерра», Россия

² ЕАС «Ecoterra»

*E-mail: katekov@mail.ru

Болотные экосистемы играют важную роль в биосфере, выполняя функции регулятора климата, накопления углерода, влаги; принимая участие в формировании гидрологического режима речных систем. Болота занимают свыше 20% территории России (Вомперский и др., 1999), встречаясь во всех природных зонах, при этом наибольшее распространение болота получили в тундровой, лесотундровой и таежной зонах. Из них болота (с глубиной торфа более 0,3 м) занимают – 139 млн. га, а вместе с заболоченными землями (глубина торфа менее 0,3 м) – 369 млн. га (Вомперский и др., 1999). По данным торфяного фонда, общая площадь торфяных болот в Западной Сибири 400 тыс. км², а с учетом всех других типов заболоченности от 780 тыс. до 1 млн. км².

В настоящее время болотные экосистемы испытывают большое антропогенное воздействие. Обширные площади болот приурочены к регионам, где ведется интенсивная добыча нефти. Объекты нефтедобывающей промышленности являются основными источниками поступления загрязняющих веществ в болота: нефти, нефтепродуктов и сопутствующих веществ (тяжелые металлы, соли) несмотря на существующие требования в области охраны окружающей среды. Как следствие – хозяйственная деятельность производственных объектов нефтедобывающего комплекса способна нанести ущерб болотным экосистемам, что проявляется в изменении условий существования болот, изменение трофности болот, нарушении ландшафтных взаимосвязей на территории в целом, возникновению несвойственных экосистем.

Поэтому, актуальными вопросами являются охрана болот, оценка антропогенного воздействия на почвы болот, научно-обоснованное регулирование хозяйственной деятельности на заболоченных территориях.

Хозяйственная деятельность природопользователей на территориях, покрытых болотами, регулируется одновременно земельным и водным законодательством. Согласно Водному кодексу РФ болота относятся к поверхностным водным объектам, состоящих из поверхностных

вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии. Правовой режим земель обозначен в Земельном кодексе РФ, статья 102 которого относит земли, покрытые поверхностными водами, сосредоточенными в водных объектах, к категории земель водного фонда. Следовательно, земли, находящиеся под болотами, относятся к категории земель водного фонда. Водный кодекс РФ предусматривает ограничения хозяйственной деятельности на землях водного фонда, в том числе на землях, покрытых болотами. Так, статья 57 Водного кодекса запрещает загрязнение и засорение болот отходами производства и потребления, загрязнение их нефтепродуктами, ядохимикатами и другими вредными веществами. На практике, значительные площади земельных участков, покрытые болотами, не переведены в категорию земель водного фонда и остаются в иных земельных категориях, и, следовательно, не попадают под охрану согласно требованиям водного законодательства. Перевод болот в категорию земель водного фонда осложнен проблемой, связанной с определением болот как экологической системы и установлением их границ (Ковалева, 2012). До сих пор не сформулировано понятие объекта, которое называется «болото». Водный кодекс, статья 5, устанавливает границу болота, как водного объекта, по границе залежи торфа на нулевой глубине. Таким образом, огромные площади болот загрязнены нефтепродуктами и сопутствующими загрязняющими веществами, что нарушает их функционирование. Вслед за этим встает вопрос о рекультивации почв и их восстановлении до определенного состояния.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 года № 7 определяет необходимость разработки нормативов качества и нормативов допустимого воздействия на компоненты природной среды, в том числе болота. Нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий. На сегодняшний день нормативы разработаны на

ряд веществ в почвах в части санитарно-гигиенического нормирования и отсутствуют в части экологического нормирования. Для многих веществ (например, таких как нефть и нефтепродукты), нормативы для почв отсутствуют и в санитарно-гигиеническом нормировании. Отсутствие нормативов или жесткие нормативные значения, установленные для санитарно-гигиенического нормирования, затрудняют регулирование воздействия на почвы. Зачастую невозможно достичь установленных санитарно-гигиенических нормативов, или при их достижении по окончании рекультивационных работ компонентам природной среды наносится больший ущерб, нежели был причинен до начала рекультивации. Это приводит к тому, что природопользователь не рекультивирует загрязненные земли.

В ФЗ «Об охране окружающей среды», статье 20, определена процедура установления нормативов качества и нормативов воздействия на компоненты окружающей среды. До сих пор остается открытым вопрос стандартизированного подхода к проведению научно-исследовательских работ по обоснованию нормативов в области охраны окружающей и определения порядка установления норм, который до настоящего времени Правительством не определен. Таким образом, вопрос разработки нормативов допустимого воздействия на почвы является актуальным, особенно в части проведения рекультивационных работ.

На сегодняшний день наиболее проработанным вопросом является нормирование нефти и нефтепродуктов, для которого современной нормативной правовой базой сформированы основы для разработки нормативов качества почв по содержанию нефти и продуктов ее трансформации. Таким документом является Приказ МПР РФ №574 от 12.09.2002 «Об утверждении временных рекомендаций по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ. Этим документом установлено, что нормативы остаточного содержания нефти в почвах, которые разрабатываются на основе проведения научно-исследовательских работ и утверждаются нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации.

Под допустимым остаточным содержанием нефти (ДОСНП) в почве (Приказ МПР РФ № 574, 2002) понимается «определенное по аттестованным в установленном порядке методикам содержание в почвах нефти и продуктов ее трансформации после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ, при котором: 1) исключается возможность поступления нефти и

продуктов ее трансформации в сопредельные среды и на сопредельные территории; 2) допускается вовлечение земельных участков в хозяйственный оборот по основному целевому назначению с возможными ограничениями (не природоохранного характера) режима использования или вводится режим консервации, обеспечивающий достижение санитарно-гигиенических нормативов содержания в почве нефти и продуктов ее трансформации или иных установленных в соответствии с действующим законодательством нормативных значений в процессе самовосстановления, т.е. без проведения дополнительных ресурсоемких мероприятий».

После проведения рекультивационных работ восстановленные земли должны быть возвращены в хозяйственный оборот по основному целевому назначению. Следовательно, нормативы ДОСНП должны быть дифференцированы по видам землепользования.

Значение допустимого остаточного содержания загрязняющих веществ, в том числе нефтепродуктов, устанавливаемого для земель иного пользования, нежели сельскохозяйственного, не может быть равно ПДК; или их содержанию на фоновых территориях. При достижении ПДК или фоновых значений при проведении рекультивационных работ экосистеме может быть причинен больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении. Очевидно, что любое антропогенное воздействие меняет вещественный состав и свойства почв, следовательно, невозможно говорить об идентичности компонентов экосистем до и после воздействия. С другой стороны, изменения в экосистеме при остаточном содержании загрязняющих веществ в почве не должно приводить к миграции их в сопредельные среды и выводить систему за пределы ее устойчивости, когда почвы уже не выполняет экологические функции. При рекультивационных работах следует говорить о допустимом содержании загрязняющих веществ, в том числе нефти и нефтепродуктов, при котором почва выполняет свои экологические функции, обеспечивающие круговорот веществ в созданной в ходе рекультивации экосистеме (Добровольский, Никитин, 1990; Трофимов, 2013).

Таким образом, для оптимизации охраны болот необходимо решить ряд вопросов, связанных с нормативным правовым регулированием:

- определить место болот в системе охраны и использования окружающей среды;
- усилить земельное законодательство в части охраны болот;
- привести в соответствие с законодательством отнесение болот к категории земель;
- установить единые научные подходы к

разработке нормативов допустимого воздействия на почвы болотных экосистем;

- разработать порядок установления нормативов допустимого остаточного содержания загрязняющих веществ в почвах на государственном уровне.

Решение вышеперечисленных вопросов, установление порядка установлению

нормативов остаточного содержания загрязняющих веществ позволит сохранить болотные экосистемы, научно определять допустимое антропогенное воздействие на них, которое не приведет к нарушению экологических функций природных объектов и успешно проводить восстановление уже загрязненных болотных почв.

1. Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. N 74-ФЗ

2. Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г., Глухова Т.В., Валяева Н.А. Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода // *Круговорот углерода на территории России*. - М., 1999. - С. 124-145.

3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Функции почв в биосфере и экосистемах*. – М.: Наука, 1990. - 260 с.

4. Земельный кодекс Российской Федерации от 25 октября 2001 г. N 136-ФЗ

5. Ковалева Е.И. Оценка антропогенного воздействия на болотные экосистемы в районах нефтедобычи (на примере Нижневартовского района Ханты-Мансийского округа – Югра) // *Болота и биосфера: Материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы (10-15 сентября 2012 г., Томск) – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2012. - С. 196-200.*

6. Приказ МПР РФ №574 от 12.09.2002 «Об утверждении временных рекомендаций по разработке и введению в действие нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ».

7. Трофимов С.Я. Современное состояние и перспективы развития системы нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах после проведения рекультивационных работ // *Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель*. - Москва: НИИ-Природа, 2013. - С. 93-97

АНТРОПОГЕННАЯ ДИГРЕССИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА ANTHROPOGENIC DIGRESSION OF SOIL AND VEGETATION IN CONNECTION WITH CHANGE OF HYDROLOGICAL FACTORS

В.М. Комарова, Д.С. Шадрин
V.M. Komarova, D.S. Shadrin

Кемеровский государственный университет, Россия
Kemerovo State University, Russia
ЗАО ГК «Лекс», Россия
ZAO GK «Leks», Russia

Одним из ведущих факторов, влияющих на состояние почвенно-растительного покрова на современном этапе является антропогенная деятельность, в результате которой происходит преобразование естественных почв и растительности, изменение их основных экологических функций. Причины деградационных изменений почв, растений сводятся к действию пяти факторов – гидрологического, эрозионного, химического, радиологического, механического. Среди них особое значение в настоящее время приобретает гидрологический фактор.

Антропогенная дигрессия почвенно-растительного покрова в связи с изменением гидрологического фактора рассмотрена на примере территории, расположенной в Новокузнецком районе Кемеровской области между поселками Абагур и Елань.

Ближайшими крупными промышленными центрами являются города Новокузнецк и Осинники, расположенные соответственно в 200 м к северу и в 14 км к востоку от участка.

С севера на юг площадку пересекает автомобильная дорога с щебеночным покрытием с выездом на асфальтовую дорогу в п. Елань. С западной стороны проложены железнодорожные пути технологического назначения, с северной – железнодорожные пути ОАО «РЖД». С северной и юго-западной стороны прилегающая территория заболочена.



Рис. 1. Заболоченная территория

В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в пределах широкой поймы рек Томь и Кондома.

С восточной стороны имеется резкий косогор, абсолютные отметки поверхности земли колеблются в этом месте от 205,12 до 210,23 м. В юго-западном направлении территория имеет слабонаклонный, волнистый характер рельефа, участок осложнен мелкими ложбинами, заросшими тальником и камышом, местами заболоченный. Абсолютные отметки поверхности земли варьируют от 205,23 до 204,19 м.

Климат района резко континентальный и характеризуется холодной зимой и жарким летом. Среднегодовая температура воздуха имеет значения плюс 0,7°C, а годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха – 36,3°C. В районе выпадает значительно большое количество осадков, которое по сезонам года распределяется крайне неравномерно.

Среднемесячное и годовое количество осадков, мм

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
22	16	21	38	58	75	96	74	52	54	51	36	593

Среднегодовое количество осадков равно 593 мм.

Понижение температуры в начале зимы сопровождается обильными снегопадами. Снежный покров сохраняется в среднем 175 дней в году. Наибольшей высоты снежный покров достигает к концу февраля – началу марта и составляет, в среднем, 50 см. Глубина промерзания почвы до 1,73 м.

В геологическом отношении исследуемая территория расположена в северной части Кузнецкой межгорной впадины, выполненной раннепалеозойскими отложениями в основном пермского возраста (аргиллиты, алевролиты, песчаники). С поверхности породы перекрыты маломощным чехлом рыхлых четвертичных отложений, представленных аллювиальными суглинками, песками и гравийно-галечниковыми отложениями.

Уровень подземных вод зафиксирован на глубине 0,2 м от поверхности земли (абсолютные отметки 204,31-204,58 м).

Таблица 1. Состояние растительного покрова исследуемой территории

Растительные сообщества	Проективное покрытие	Стадия дигрессии	Примечание
Площадка 1 Злаково-разнотравный луг	45 %	V	Подстилка полностью разрушена, происходит задернение почвы. Чередование куртин.
Площадка 2 Осоково-злаковое сообщество, кустарники: <i>Salix glauca</i> , <i>Salix caprea</i>	40 %	V	Подстилка полностью разрушена, происходит задернение почвы. Чередование куртин.
Площадка 3 Вторичный березовый лес	70 %	V	Подстилка полностью разрушена, происходит задернение почвы. Чередование куртин.
Площадка 4 Нарушенная территория, сорно-рудеральная растительность	10 %	VI	Значительная часть площади лишена растительности, сохраняются лишь пятна сорняков и однолетников.

Естественный режим поверхностных и подземных вод значительно затруднен, в основном, за счет барражных эффектов от дорожных насыпей (существующие железнодорожные пути, автодороги) и наличия толщи суглинистых грунтов, обладающих низкими фильтрационными свойствами, способствующими процессу заболачивания территории.

По гидрогеологическим условиям и техногенной нагрузке исследованная территория относится к подтопленной.

По природным условиям и растительному покрову данная территория относится к зоне южной тайги низменности. Согласно ботаническому районированию располагается на границе двух районов – центральный лесостепной район Кузнецкой котловины и Томь-Кондомский предгорный переходный район.

Исследуемая территория представлена следующими растительными сообществами:

- Злаково-разнотравный луг;
- Осоково-злаковое сообщество, кустарники: *Salix glauca*, *Salix caprea*;
- Вторичный березовый лес;
- Сорно-рудеральная растительность.

Состояние растительного покрова исследуемой территории представлено в таблице 1.

Согласно почвенно-географического районирования Кемеровской области (С.С. Трофимов, 1975), исследуемая территория входит в группу почвенных районов степного ядра Кузнецкой котловины (Присалаирская депрессия).

В структуре почвенного покрова исследуемой территории присутствуют следующие почвы:

- Темно-серые лесные почвы;
- Луговые почвы;

Таблица 2. Диагностика степени заболоченности почв исследуемой территории

Название почв	Диагностические признаки гидроморфизма			
	Химические	Морфологические		
	К заболоченности	Цветовые признаки	Окраска кутан	Ортштейны гор. А ₂ , примазки гор. В и другие типичные новообразования
Площадка 1 Луговая почва	70	Оглеение горизонта В	Буровато-серая	Обилие мелких и крупных ортштейнов; в гор. В примазки Fe, Mn
Площадка 2 Лугово-болотная почва	154	Оглеение горизонта В	Сероватосизая	Обилие мелких и крупных ортштейнов; примазки, аморфные пятна Fe, Mn
Площадка 3 Темно-серая лесная почва	< 30	Оглеение горизонта ВС	Сероватобуряя	Преобладают мелкие единичные темноокрашенные ортштейны
Площадка 4 Урбанозем	< 30	Морфометрические признаки оглеения отсутствуют	-	Ортштейны и примазки темно-окрашенные

- Лугово-болотные почвы;
- Урбаноземы;
- Экраноземы (под земляным полотном).

Диагностика степени заболоченности почв исследуемой территории представлена в таблице 2.

В результате переувлажнения территории, вследствие пересечения трасс естественных водотоков линиями автомобильных, железных дорог, происходит заболачивание территории, приводящее к сукцессии биогеоценоза.

В последующем, главная роль в развитии биогеоценоза принадлежит водному питанию, его качеству и количеству. Степень обводнённости регулирует интенсивность болотообразовательного процесса и преобладание тех или иных видов в растительном покрове.

Для устранения отрицательных тенденций по развитию процесса заболачивания на исследуемой территории необходимо организовать:

- устройство коллекторно-дренажной системы;
- ведение мониторинга.

1. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. - М.: КДУ, 2009. - 720 с.
2. Толмачев А.И. Введение в географию растений. - Л.: ЛГУ, 1974. - 244 с.
3. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. - Новосибирск: Наука, 1975. - 299 с.

ФЛОРИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТ ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «КОНДИНСКИЕ ОЗЕРА»

FLORISTIC CHARACTERISTIC OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED MIRE AREAS ON THE TERRITORY OF "KONDINSKIE OZERA" NATIONAL PARK

Н.Н. Коротких^{1}, Т.Л. Беспалова^{1**}, Т.В. Попова^{2***}*

N.N. Korotkikh^{1}, T.L. Bespalova^{1**}, T.V. Popova^{2***}*

¹ БУ ХМАО-Югры «Природный парк «Кондинские озера»», г. Советский, Россия

¹ National Park «Kondinskie ozera», Sovetskiy town, Russia

² ГОУ ВПО Тюменский государственный университет, Россия

² Tyumen State University, Russia

*E-mail: Korotkich@mail.ru

**E-mail: BespalovaTL@inbox.ru

***E-mail: Popovt45@mail.ru

Территория природного парка «Кондинские озера» (ППКО) находится в подзоне средней тайги. Она занимает левобережье реки Конда в ее верхнем течении. Северная граница природного парка проходит по широте 61°00'2", а южная соответствует 60°04'5". Самая западная точка имеет долготу 63°02'5", а долгота восточной границы равна 63°04'8".

Вся территория относится к самой северной части обширной Кондинской низменности. Непосредственно к северной границе примыкают склоны южных отрогов Северо-Сосьвинской возвышенности. В административном отношении территория входит в состав Советского района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Болотами различных типов занято 51,98 % территории парка. Болота развиваются преимущественно в межгрядных понижениях и депрессиях рельефа разного генезиса, в том числе в глубоких древних озерных котловинах и тальвегах аллювиально-ледниковых вод.

Северо-восточный сектор особо охраняемой природной территории частично совпадает с лицензионным участком Тальникового месторождения нефти, который занимает 3,45 % (1516,44 га) ее площади. За период 2000-2013 гг. введены в эксплуатацию 173 скважины на 21 кустовой площадке, трубопроводы протяженностью около 175 км, ЛЭП (70,7 км), автодороги (180 км) и сопутствующие коммуникации.

Отсыпка кустовых площадок, строительство внутривидовых дорог и трубопроводов сопровождается изменением и разрушением естественного растительного покрова ППКО. Кроме того, при проведении рекультивационных работ на участках временного отвода согласно проектов обустройства объектов месторождения предусматривается использование видов растений, не характерных для территории природного парка. В результате этого на биологическом этапе рекультивации может происходить внедрение в растительные сообщества чужеродных видов, что приведет к нарушению флористического

видового разнообразия и не будет способствовать восстановлению нарушенных экосистем к исходному состоянию.

Для выявления закономерностей восстановительной динамики техногенно-нарушенных участков, в полевой сезон 2013 г. было обследовано 8 кустовых площадок, обустроенных в период 2000-2008 гг. (сделано 120 геоботанических описаний). Описания проводились на кустовых площадках, обваловках, пограничных участках между коренными и нарушенными сообществами, а также на площадках временного отвода, использовавшихся в период обустройства для размещения вагонгородков. Параллельно производились геоботанические описания коренных сообществ. Изучение сукцессионной динамики растительных сообществ проводилось по общепринятым геоботаническим методикам. Наименование таксонов даны по сводке С.К. Черепанова [5]. При описании видов и семейств использованы руководства по ботанике [1, 4]. Для сравнения коренных и антропогенно нарушенных участков использован коэффициент флористической общности (мера сходства Жаккара).

Выявлено, что общее проективное покрытие (ОПП) травяно-кустарничкового яруса на всех участках низкое и составляет на кустовых площадках от единичного до 20 % (в среднем 8 %). Значительно выше ОПП по обваловке: от единичного до 50 % (в среднем 17 %). Самое высокое ОПП – на площадках временного отвода: от единичного до 95 % (в среднем 35 %). Проектное покрытие мохово-лишайникового яруса единично на кустовых площадках и обваловке. На площадках временного отвода оно составляет от 0 до 85 % (в среднем 35 %).

Всего выявлено 105 видов высших сосудистых растений, что составляет 31 % от всех видов высших сосудистых растений, зарегистрированных на территории природного парка. Среди них 5 видов споровых (4,8 %), 41 вид однодольных (39 %) и 59 видов двудольных (56,2 %) растений. Зарегистрировано 10 видов мхов (6,1 %

Таблица 1. Соотношение ценоотических групп флоры техногенно нарушенных участков и коренных болотных сообществ

Ценоотическая группа	Техногенно нарушенные участки	Коренные сообщества
Сорные и синантропные	21 %	-
Лесные	17 %	14 %
Луговые и лесолуговые	16 %	-
Болотные	16 %	64 %
Водные и прибрежно-водные	10 %	4 %
Лесо-болотные	7 %	14 %
Болотные и прибрежно-водные	6 %	4 %
Луговые и лесолуговые – болотные	2 %	-
Луговые и лесолуговые – прибрежно-водные	4 %	-
Лесные и прибрежно-водные	1 %	-

от видового разнообразия территории), которые принадлежат к 2 классам 4 семействам и 5 родам, а также 1 вид лишайников.

По таксономическому составу виды высших сосудистых растений принадлежат к 26 семействам, это 34,3 % от всех семейств территории и 59 родам. Самыми представительными семействами является: *Poaceae* (18 видов) и *Syringaceae* (17 видов). На долю многовидовых семейств (10 и более видов) приходится 11,5 % (3 семейства), мало- и средневидовые (от 2 до 9 видов) составляют 46,2 % (12 семейств), монотипные (1 вид) – 42,3 % (11 семейств).

Фитоценоотический анализ видового состава антропогенно нарушенных участков показал, что в спектре жизненных форм преобладают многолетние поликарпические травы (56 видов). Жизненная форма монокарпических одно- и двулетних трав (18 видов) представлена, в основном, сорными и синантропными видами. Деревья и кустарники представлены 23 видами, кустарнички и полукустарнички – 8 видами (рис.). Группа монокарпических одно-

двулетних трав во флоре коренных сообществ отсутствует.

В таблице 1 представлены соотношения ценоотических групп растений. Очевидно, что по ценоотическому составу участки очень отличаются. Наиболее представительными на техногенно нарушенных участках являются группы: сорных и синантропных видов (21 %), лесных – 17 %, луговых и лесолуговых, а также болотных – 16 % видов. Во флоре коренных сообществ преобладает группа болотных видов (64 %), отсутствуют группы сорных и синантропных, луговых и лесолуговых, луговых и лесолуговых – болотных, луговых и лесолуговых – прибрежно-водных, лесных – прибрежно-водных видов.

На нарушенных участках видовой состав более разнообразен, что объясняется внедрением новых видов, не свойственных коренным сообществам (заселением нарушенных участков пионерными, синантропными и сорными видами), а также формированием разнообразных экологических условий при строительстве и обустройстве кустовых площадок (подтопление на

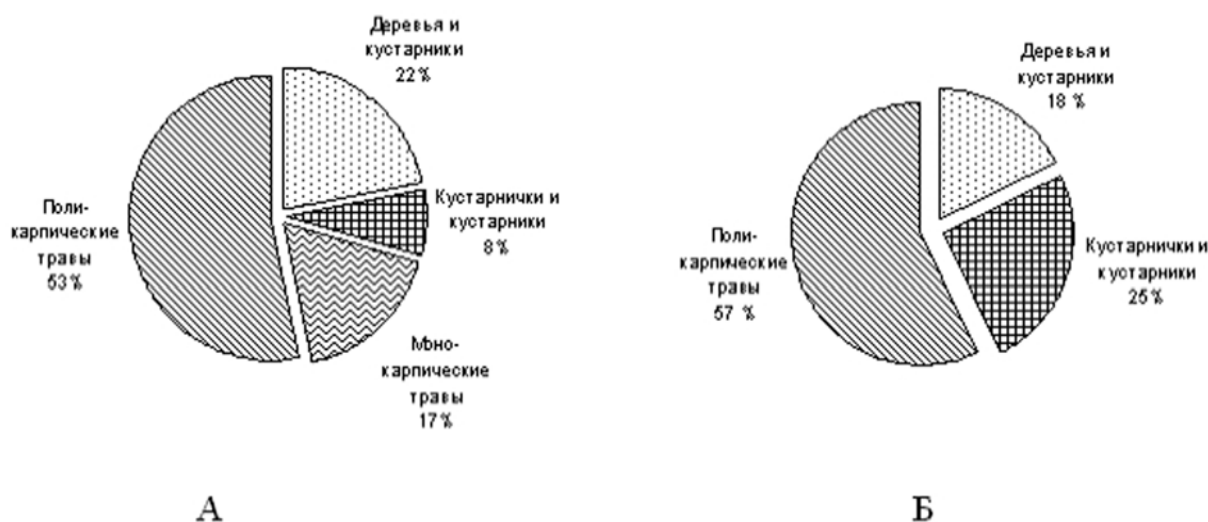


Рис. Соотношение биоморф в составе флоры сосудистых растений:

А – флоры коренных болотных сообществ;

Б – антропогенно нарушенных участков заложенных в болотных сообществах

Таблица 2. Флористическое сходство нарушенных и коренных сообществ

№	Куст	Год отсыпки	Количество видов техногенно нарушенных участков	Количество видов коренного сообщества	Индекс J
1.	23	2000	54	18	14 %
2.	24	2001	57	16	6 %
3.	16	2002	29	23	4 %
4.	22	2003	49	15	8 %
5.	25	2004	60	34	21 %
6.	12	2006	40	25	16 %
7.	9	2007	47	17	6 %
8.	37	2008	61	19	14 %

пограничных участках, образование переходных зон между песчаной насыпью и болотным массивом).

Видовой состав описываемых участков и прилегающих коренных сообществ, также очень различен, коэффициент флористической общности Жаккара довольно низкий: от 4 до 21 % (табл. 2). Какой-либо зависимости между годом отсыпки кустовой площадки и коэффициентом флористической общности нами не выявлено.

В процессе исследования было выявлено 3 вида семейства *Poaceae* ранее на территории природного парка не отмечавшиеся это: *Bekmania eruciformis subsp. Borealis* Tzvel., *Hordeum jubatum* L. и *Poa annua* L. Также зарегистрированы новые места обитания ранее выявленных редких и нуждающихся в особой охране видов: *Baeothryon alpinum* (L.) Egor. (КК ХМАО – 5 категория, гляциальный реликт; для территории природного парка – довольно редок), *Baeothryon cespitosum* (L.) A. Dietr. (для территории природного парка – довольно редок), *Dactylorhiza hebridensis* (Bilmott) Aver. (КК Тюм. обл. – III редкий, КК ХМАО – приложение; для территории природного парка – обычен), *Salix myrtilloides* L. (для территории природного парка – редок) [2, 3]. Это связано с тем, что антропогенное освоение территории расширяет возможности для распространения этих видов, поскольку отсыпка дорог и кустовых площадок в лесоболотных и болотных сообществах формирует для них благоприятные экологические условия.

Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы:

1. Заселение антропогенно нарушенных болотных сообществ происходит за счет ресурсов местной флоры, а также заносных сорных и синантропных видов.
2. На всех обследованных участках наблюдается «унификация» флоры и растительности

нарушенных территорий. Облик и строение антропогенно нарушенных сообществ определяются сравнительно небольшим числом пионерных видов.

3. На общее проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов техногенно-нарушенного участка оказывают влияние экологические условия прилегающей территории.

4. Из 8 обследованных антропогенно нарушенных участков самому «старому» – 13 лет, самому «молодому» – 5 лет, эти сроки не достаточны для того, чтобы выявилось влияние стадии восстановления на видовой состав и на площадь проективного покрытия ярусов формирующихся сообществ. Поскольку месторождение относительно молодое, полноценные растительные сообщества на обследованных участках не сформировались, можно говорить лишь о микрогруппировках растительности.

На основе анализа результатов исследования подготовлены природоохранные рекомендации:

1. Руководству ТПП «Урайнефтегаз», проектным организациям при подготовке проектной документации на обустройство объектов Тальникового нефтяного месторождения предусматривать комплекс работ по рекультивации нарушенных участков временного отвода без использования чужеродных видов.
2. Сотрудникам природного парка – продолжить осуществление контроля за выполнением работ по разработке Тальникового месторождения в части соблюдения проектных решений по обустройству, эксплуатации объектов нефтепромысла и рекультивации участков временного отвода.
3. Включить работы по изучению зарастания техногенно-нарушенных участков в план работ по экологическому мониторингу территории природного парка «Кондинские озера».

1. Комарницкий Н.А. Ботаника (систематика растений) / Н.А. Комарницкий, Л.В. Кудряшов, А.А. Уранов. Изд-е 7-е. – М.: Просвещение, 1975.- 608 с.

2. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа: животные, растения, грибы / Редактор-составитель А.М. Васин. – Екатеринбург: «Парус», 2003. - 376 с.

3. Красная книга Тюменской области. Животные. Растения. Грибы. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2004. - 495 с.

4. Сергиевская Е.В. Систематика высших растений. Практический курс. - СПб.: Изд-во «Лань», 1998. - 448 с.

5. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). - СПб.: Мир и семья, 1995. - 992 с.

ФИЗИЧЕСКАЯ И БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ НА МНОГОВЕКОВОМ ВРЕМЕННОМ ЛАГЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ

PHYSICAL AND BIOGEOCHEMICAL TRANSFORMATION OF PEAT SOILS OF BELARUS ON THE CENTURIES-OLD TIME LAG OF DRAINAGE MELIORATION

Л. Н. Лученок*, Э. Н. Шкутов

L. Luchanok*, E. Szkutov

РУП «Институт мелиорации», Минск, Республика Беларусь

Institute of Amelioration, Minsk, Republic of Belarus

*E-mail: l_luchanok@mail.ru

В регионе Белорусского Полесья около 700 тыс. га торфяных почв осушено более 40 лет назад и интенсивно используются в сельском хозяйстве. В процессе сельхозиспользования их физические, гео- и биохимические параметры, характеризующие процессы трансформации торфяного слоя, изменились и продолжают изменяться. Полученные в первые годы после осушения прогнозы трансформации торфяных почв и их органического вещества (ОВ) в настоящее время требуют уточнения и существенной корректировки, базирующейся на новых данных по изменению этих параметров на реальных объектах, осушенных более 40-450 лет назад.

В данной работе представлены материалы обследования состояния органогенного слоя агро- и дегроторфяных с различным содержанием ОВ почв на максимально доступных сроках сельскохозяйственного использования мелиоративных объектах.

Исследования проводили на совокупности мелиоративных объектов Белорусского Полесья: Канал Бона (~450 лет после осушения, Кобринский район Брестской области); объект «Лопатино» (исходное название польдер «Кристиново», ~250 лет, Пинский район Брестской области); мелиоративная система Марьинская (исходное название Болото Марьино, ~100 лет, Любанский район Минской области); Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства (ПОСМЗиЛ, ~45-50 лет, Лунинецкий район Брестской области). На каждом объекте были подобраны точки с содержанием ОВ >50%, 20-34% и менее 10%. Изменение физических свойств проводили на объекте Марьинский, также на этом объекте и всех остальных проводили оценку гео- и биохимических параметров.

Марьинский болотный массив общей площадью около 10 тыс. га, первоначально осушен Западной экспедицией по осушению болот 1873-1898 г. (Жилинский, 1899). Исходно мощность торфяного слоя до 3-4 м, подстиляется разнозернистыми песками, а с глубин 4-14 м и более м – моренными суглинками и глиной (Кожанов, 1932). В 1927 году было проведено

интенсивное осушение части болотного массива «Марьинский» сетью каналов с расстояниями между открытыми коллекторами 300-350 м, осушителями – 80, 100, 150 м и глубиной открытых коллекторов 1,2-1,3 м, осушителей – 0,8-1,1 м. В последующем проведено несколько циклов переустройства сети и до конца 2014 г. предполагается провести реконструкцию на площади 1022 га. Наблюдения за мелиоративным состоянием и изменением водно-физических параметров торфяного слоя вели с 1928 г. (Кожанов, 1932; Зубец, 1974 и 1975). Последние измерения с 2006 по 2013 г. проводились авторами. Это дало возможность получить данные по динамике процессов трансформации показателей торфяного слоя в неизменных точках.

Установлено, что изменение объёмного веса пахотного горизонта (в т.ч. по данным других объектов осушения с исходно мощным торфяным слоем) хорошо аппроксимируется экспоненциальной корреляционной зависимостью:

$$G(t) = 0,23 \cdot (1 - \exp(-0,056t)) + 0,1 \quad (1)$$

где: $G(t)$ – объёмный вес на момент t ; t – длительность сельскохозяйственного использования торфяной почвы после осушения.

То есть, процесс уплотнения торфяной залежи после 40 лет использования с нарастающим поэтапным углублением мелиоративной сети вступает в квазистационарную фазу. При актуальном состоянии регулирующей и проводящей сети, существующие объёмные веса пахотного горизонта в дальнейшем, будут изменяться незначительно. Однако при изменении глубин осушения, технологических приемов ведения растениеводства объёмные веса могут претерпевать изменения. Так на объекте Марьинское процесс уплотнения торфяного слоя в процессе сельскохозяйственного использования и в ходе поэтапного увеличения глубины осушения при реконструкциях сети в основном происходил в слое 0-2,0 м от исходной (1930 г.) поверхности болота (рис.).

Таким образом, установлено, что основная масса ОВ при осадке концентрируется в слое 0-50 см от текущей дневной поверхности почвенного слоя. Несложный подсчет массы двухметрового слоя

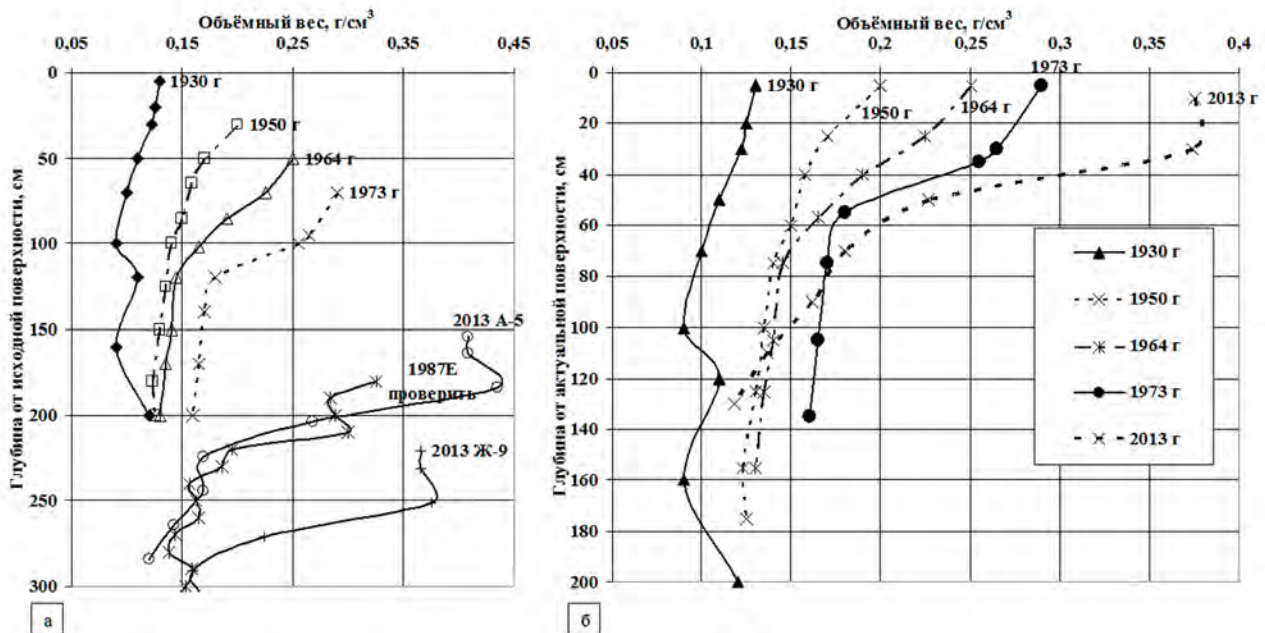


Рис. 1. Изменение объёмного веса торфяного профиля на объекте Марьинский по годам и относительно исходной (1928 г.) поверхности торфяного слоя (а) и относительно актуальной на момент измерения поверхности торфяного слоя (б)

исходного торфяного слоя (1930 г.) показал, что, она практически полностью сконцентрировалась в верхнем (0–50 см) слое современной агроторфяной почвы. Также можно отметить ускорение темпов уплотнения пахотного горизонта в последнее время, связанного, очевидно, с массовым применением более тяжелой сельскохозяйственной техники и образованием переуплотнённой прослойки (своеобразной подплужной подошвы в слое 20–40 см).

Зависимость осадки за 85 лет сельскохозяйственного использования (при нескольких углублениях сети при реконструкциях) от исходной глубины торфяного слоя, удовлетворительно аппроксимируется линейной зависимостью:

$$y = 0,5439x + 0,3821, R^2=0,61 \quad (2)$$

где: y – величина осадки, м; x – исходная глубина торфа, м.

Таким образом, среднечастотные и мощные торфяные почвы трансформировались в агроторфяные с содержанием ОВ более 50%, а маломощные торфяные, торфянисто- и торфяно-глеевые после осадки и механического перемешивания с подстилающей песчаной породой формируют целый комплекс деградированных почв с содержанием ОВ менее 50% (табл.1). Это подтверждается и тем, что на каждом объекте, независимо от длительности его сельскохозяйственного использования, имелись все упомянутые почвенные разновидности.

Торфяные почвы из-за особенностей их формирования обеднены макро- и микроэлементами. В процессе сельскохозяйственного использования в пахотном слое накапливаются макро- и микроэлементы (табл.1). Так, содержание подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое в настоящее

время на порядок выше по сравнению с валовыми формами сразу после осушения. В начальные годы после осушения практиковали внесение меди, проводили известкование, что привело к повышению содержания в органогенном слое кальция, магния, а также меди и др. микроэлементов. Однако в последние годы применение микроэлементов снизилось, что привело на некоторых почвенных разновидностях к повторному снижению их содержания.

Важным для роста растений элементом является азот. Азотный режим этих почв определяется не длительностью сельскохозяйственного использования, а степенью их трансформации, которая зависит от первоначальной мощности торфяной залежи. Установлено, что основная часть N представлена фракцией негидролизующего (47–87% от валового N), который практически не участвует в биологическом круговороте. Чем выше содержание ОВ, тем выше доля негидролизующего N. Фракция трудногидролизующего азота (отдаленный резерв в питании растений) находится в пределах 12–53% от валового и в 2,7–3,7 раза выше по сравнению с легкогидролизующим N. Отмечена обратная зависимость: чем выше содержание ОВ, тем ниже доля трудногидролизующего N. Аналогичная тенденция наблюдается с легкогидролизующим и минеральным азотом. Однако, доля минерального N колебалась в пределах 0,19–0,39%. Четкой зависимости доли аммонийного и нитратного в общем пуле почвенного N в зависимости от ОВ не выявлено. Таким образом, запасы почвенного азота в органогенном слое почвы 0–20 см относительно

Таблица 1. Изменение агрохимических свойств торфяных почв различных стадий трансформации (слой 0-20 см) под влиянием сельскохозяйственного использования

Почва	Содержание							
	% на сухую массу (подвижные формы, мг/кг)							мг/кг
	ОВ	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Cu ²⁺
<i>Минская область (объект «Марьинский»)</i>								
1949 г.								
Мощная торфяная	~93	2,36	0,23	0,03	0,04	1,60	-	-
2009-2013 г.								
Мощная торфяная	~87	2,86	- (155)	- (365)	-	-	-	-
Маломощная торфяная	~87	2,73	- (234)	- (694)	-	-	-	-
Торфяно-минеральная	~48	1,30	- (211)	- (328)	-	-	-	-
<i>Брестская область (ПОСМЗиЛ)</i>								
1956 г. (на момент осушения) (Семенченко, 2006; Белковский, 1981; Жилина, 1975)								
Маломощная торфяная	~81	2,6-3,2	0,25-0,32 (~35)	0,024- 0,063 (~23)	~0,07	1,07- 2,9	-	3,1-3,7
2009-2013 г. (после 40 лет использования)								
Маломощная торфяная (заповедник)	~84	~3,82	0,32	0,07	0,23	1,94	4,90	-
Маломощная торфяная (пашня)	~83	~3,60	0,54 (340-840)	0,17 (200-800)	0,53	~1,49	~3,7	-
Торфяно-минеральная	~22	~1,2	(~376)	(~400)	~0,07	~0,08	~2,03	~5,6
Минеральная постторфяная	~5	~0,09	(~200)	(~270)	~0,03	~0,01	~0,63	~2,27

стабильны по стадиям трансформации торфяных почв.

В ходе исследований установлено, что биохимическая активность зависит от содержания ОВ. Активность дегидрогеназы (ДГ), полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПО) возрастает в 1,18-1,85 раза в ряду от минеральных постторфяных или остаточно-торфяных почв с содержанием ОВ 5,1-15% к минеральным остаточно-торфяным с содержанием ОВ 15-35% и еще в 1,67-2,38 раза – к агроторфяным с содержанием ОВ > 50%.

Были установлены зависимости активности ДГ, ПФО и ПО от содержания ОВ в антропогенно-преобразованных торфяных почвах, которые хорошо аппроксимируются логарифмическими корреляционными зависимостями (табл. 2).

Биохимическая активность возрастает с увеличением ОВ в дерготорфяных почвах до 35-40%, а при дальнейшем повышении содержания органического вещества постепенно стабилизируется. Это свидетельствует о том, что не все ОВ вовлекается в биохимические процессы его трансформации, а эффективность использования ОВ растениями снижается.

Интенсивность ферментативной активности влияет на качественный состав пула почвенного азота. Чем выше активность ДГ, ПФО и ПО, тем меньше в почве доступных растениям форм азота: легкогидролизуемого и минерального, а также близкого резерва в виде трудногидролизуемого N. Т.е. в торфяно-минеральных с содержанием ОВ 20,1-35%, минеральных остаточно-торфяных и постторфяных почвах содержание лабильных

Таблица 2. Зависимости активности ферментов (y) от содержания ОВ в антропогенно-преобразованных торфяных почвах

Фермент	Зависимость	R ²
Дегидрогеназа, мг ТФФ/1.5 г за 24 ч	$y = 25,929Ln(ОВ) - 49,976$	0,719
ПФО, мг п-бензохинона/10 г за 1.5 ч	$y = 123,05Ln(ОВ) - 209,29$	0,85
ПО, мг п-бензохинона/10 г за 1.5 ч	$y = 31,653Ln(ОВ) - 39,147$	0,621

* диапазон содержания ОВ в слое 0-20 см – 3,0-90%

фракций выше, чем в агроторфяных почвах. То есть, дегроторфяные почвы при значительных запасах почвенного азота имеют и более качественный его состав, т.к. в них увеличена доля фракции легкогидролизуемого и минерального азота, необходимого для роста и развития растений.

Таким образом, в процессе сельхозиспользования физические, биогеохимические свойства

торфяных почв различных стадий трансформации улучшаются, что в настоящее время позволяет реализовывать их производительную способность на высоком уровне – 8 и более т к.ед./га.

1. Белковский В. И., Горошко В. М. Плодородие и использование торфяных почв. - Мн: Ураджай, 1981. - С. 116–117.
2. Жилина В. С., Белковский В. И., Сапек А. Динамика микроэлементов при осушении и использовании торфяно-болотных почв / Сб. науч. трудов «Мелиорация и использование торфяников Полесья». - Минск, 1975. - С. 95–99.
3. Жилинский И. И. Очерк работ Западной экспедиции по осушению болот (1873–1898) // Министерство Земледелия и Государственных имуществ. - С.-Петербург, 1899. - 744 с.
4. Зубец В.М., Дуброва В. И. Осушение и водно-физические свойства торфа // Мелиорация и проблемы органического вещества. - Мн, 1974. - С. 29–43.
5. Зубец В.М., Дуброва В. И. Изменение водно-физических свойств торфа под влиянием осушения. - Мн.: Польша, 1975. - 1975. 6 с.
6. Кожанов К. Я. Режим грунтовых вод на Марьинских болотах. - Мн, 1932. - 219 с.
7. Семенченко А. В., Авраменко Н. М. Полесская опытная станция. - Пинск: КУП «Пинская региональная типография», 2006. - С.8.

ОЦЕНКА ПОТЕРИ ТОРФА ПРИ ЛЕСОТОРФЯНОМ ПОЖАРЕ ПО ПОЛОЖЕНИЮ КОРНЕВОЙ ШЕЙКИ ПНЕЙ ДЕРЕВЬЕВ ESSESSING OF PEAT LOSS AFTER FOREST-PEAT FIRE USING POSITION OF ROOT-COLLAR OF TREE STUMPS

Д.А. Макаров¹, И. Гуммерт², Ю.А. Гопиус¹, А.А. Сирин¹
D. Makarov¹, I. Gummert², Ju. A. Gopius¹, A.A. Sirin¹

¹ Институт лесоведения РАН, Москва, Россия

² Greifswald University, Germany

E-mail: scorpionstigr@mail.ru

Торфяные пожары имеют широкий спектр экологических последствий. В числе наиболее значимых – потери запасов углерода болот при горении торфа и растительного покрова, включая древесный. В результате накопленный в течение десятилетий (древостой) и столетий (торф) углерод быстро поступает в виде диоксида углерода в атмосферу. Это без учета так называемого черного углерода – сажи, имеющей особые отрицательные экологические последствия, в том числе и на климат.

Горение торфа – один из важнейших факторов сокращения резервуара углерода торфяных залежей и источников диоксида углерода в атмосферу, связанных с внешними воздействиями как на естественные торфяные болота, так и их антропогенно измененные производные – торфяники (Assessment..., 2008; Peatlands..., 2008). Торфяные пожары имеют место на широком спектре объектов (Minayeva et al. 2013), однако наиболее пожароопасны, безусловно, осушенные торфяники, особенно брошенные без рекультивации после фрезерной добычи торфа (Сирин и др. 2011).

Обводнение неиспользуемых осушенных торфяников для последующего восстановления болот является крайне важной мерой предотвращения торфяных пожаров, снижения выбросов парниковых газов и смягчения изменения климата (IPCC 2014). В тоже время, учет снижения горимости торфяников, сокращения потерь углерода и, соответственно, выбросов диоксида углерода в атмосферу может стать дополнительным фактором стимулирования активности по восстановлению болот с широким спектром положительных экологических эффектов: от повышения биологического разнообразия до улучшения гидрологического режима территорий. Однако, возникают большие сложности как с определением площадей торфяных пожаров, то есть мест, где огонь затронул торфяную залежь, так и с оценкой мощности сгоревшего торфа.

В последнее время делается все больше попыток использовать оставшиеся на гари после лесоторфяных пожаров пни деревьев для восстановления допожарного уровня поверхности торфяной залежи, чтобы оценить ее потери в результате лесоторфяных пожаров (Davies et al. 2013). Мы представляем предварительные

результаты оценки потери торфа путем восстановления допожарного уровня дневной поверхности лесного болота, частично осушенного, видимо, для лесного хозяйства, на основании положения корневой шейки на сохранившихся пнях деревьев (рис. 1).

Исследования проводились на тестовом участке, пройденном лесоторфяным пожаром в экстремальный по количеству пожаров для центра европейской части России 2010 год. Участок расположен в Шатурском районе Московской области (N 55°37'38,75", E 39°34'32,50") и имеет площадь примерно 6 га.

Предварительно была проведена нивелировка поверхности гари по 7-и трансектам, которые пересекались примерно под прямым углом и относительно равномерно покрывали всю площадь участка. Предельное расстояние от нивелира до точек измерения не превышало 150 м, шаг нивелировки составлял 2 м. Полученные данные обрабатывались в программе Excel 2007, а построение поверхности проводилось в программе Surfer 11 Golden Software.

Привязка сохранившихся пней (рис. 2) проводилась с помощью GPS-приемника Garmin 62s по космическому снимку высокого разрешения Ikonos от 12.06.2011 (RGB синтез с пространственным разрешением 1 м).

Для определения потери торфа использовалось измерение выгоревшей поверхности от положения корневой шейки дерева. На гари были выявлены пни березы, осины, сосны и ольхи



Рис. 1. Пример сохранившегося пня дерева на изучаемой гари

черной. Положение корневой шейки относительно поверхности торфяных почв может отличаться для разных пород деревьев и для разных условий местопроизрастания. Для учета этих факторов было проведено определение положения корневой шейки для разных деревьев на нескольких участках, примыкающих к гари. Предварительные результаты показали, что поправка на положение корневой шейки в допожарных условиях необходима главным образом для ольхи черной. В связи с ее относительно небольшой представленностью ольхи черной на гари, на данном этапе этот фактор не учитывался.

Измерение уровня поверхности гари от корневой шейки каждого пня проводилось рулеткой с повторностью 4-5 точек по окружности на расстоянии примерно 50 см от пня. Для определения объема сгоревшего торфа измерялась глубина прогорания, равная расстоянию от среднего уровня почвы в локальном микрорельефе с участием 2х-3х пней до предполагаемого уровня

почвы на том же участке до пожара, примерно совпадающего с корневой шейкой дерева. Полученное распределение глубины прогорания по площади гари служило основанием для расчета потери торфа.

Далее в программе Surfer 11 по разнице между поверхностями до и после пожара была построена схема потери торфа (рис.2). В среднем потеря торфа по изучаемому участку составила около 16 сантиметров. Как уже отмечалось, особенности положения корневой шейки для разных пород и условий произрастания на данном этапе не учитывались и будут приняты во внимание в дальнейшем при попытке непосредственного расчета потерь углерода. Для решения последней задачи будет сделана попытка восстановления характеристик потерянного торфа и содержания в нем углерода на основании сравнительного анализа стратиграфии торфяной залежи затронутого пожаром и примыкающих участках торфяника.

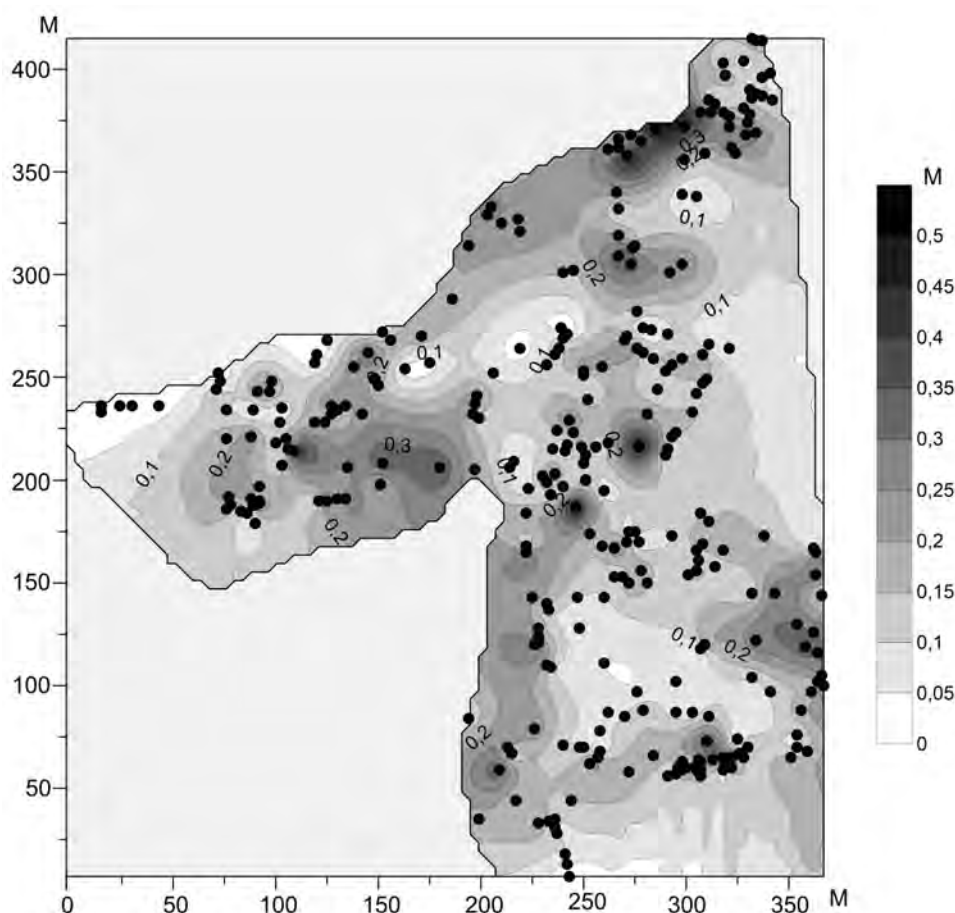


Рис. 2. Распределение сохранившихся пней на гари и определенная мощность потери торфа

Авторы признательны А.А.Маслову (Институт лесоведения РАН) и ArinaSchrier-Uijl (WetlandsInternational, WageningenUniversity) за советы и помощь в работе, а также за поддержку от проекта «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата», финансируемого в рамках Международной климатической инициативы Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, строительства и безопасности ядерных реакторов Федеративной Республики Германия и управляемого через немецкий банк развития KfW (проект № 11 III 040 RUS К Восстановление торфяных болот).

-
1. Сирин А., Минаева Т., Возбранная А., Барталев С. Как избежать торфяных пожаров? // Наука в России. - 2011. - № 2. - С. 13-21.
 2. Assessment on peatlands, biodiversity and climate change. Main report / Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., Stringer L. (Eds.). Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. 2008. - 179 p. <http://www.gec.org.my/index.cfm?&menuid=48&parentid=63>
 3. IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (Eds). Published: IPCC, Switzerland.
 4. Peatlands and Climate Change. / Strack M. (Ed). Finland: International Peat Society, Saarijärven Offset Oy, Saarijärvi, 2008. - 223 p.
 5. Minayeva T., A. Sirin, G.B. Stracher. The Peat Fires of Russia // Coal and peat fires: a global perspective. Vol.2: Photographs and multimedia tours / ed. by G.B.Stracher, A.Prakash, E.V.Sokol. - Amsterdam; Waltham: Elsevier, 2013. - P. 375-394.
 6. Davies G.M., Gray A., Rein G., Legg C.J. Peat consumption and carbon loss due to smouldering wildfire in atemperate peatland // Forest Ecology and Management. - 2013. - 308. - P. 169–177.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ВЕРХОВОГО БОЛОТА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

THE THERMAL REGIME OF ACROTELM OF THE OMBROTROPHIC MIRE IN NORTHERN TAIGA

И.Д. Махатков, Ю.В. Ермолов*

I.D. Makhatkov, Y.V. Ermolov*

Институт почвоведения и агрохимии, Новосибирск, Россия

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

*E-mail: makhatkov@mail.ru

Температурный режим деятельного слоя болотных почв – один из определяющих факторов функционирования фитоценозов и успешности рекультивации нарушенных болот. Сведения о температурном режиме болот в целом, а в особенности северных территорий, представлены фрагментарными исследованиями (Болота Западной Сибири..., 1976). Вблизи северного предела распространения талых олиготрофных болот проводились летние исследования температурного режима торфяной залежи, но объектом изучения были мерзлые плоскобугристые болота (Болота Западной Сибири..., 1976, Гидрология заболоченных территорий..., 2009). Целью нашей работы стала общая характеристика температурного режима деятельного слоя выпуклых олиготрофных болот северной тайги у северного предела их распространения.

Наблюдения температурного режима проводились на болотах северной тайги в центральной части Сибирских Увалов. Для верховых болот плоских локальных водоразделов территории характерно чередование двух преобладающих типов – мерзлых плоскобугристых болот, доминирующих севернее (Кац, 1948), и талых плоско-выпуклых олиготрофных сфагновых болот (Лисс, Березина, 1981), свойственных подзонам средней и южной тайги.

Для измерения температуры использовались программируемые термодатчики iButton (Dallas Semiconductor), установленные на глубинах 0 (под очесом сфагновых мхов), 10 и 20 см, и регистрировавшие температуру с точностью 0.5°C каждые 4 часа - в сроки 1, 5, 9, 13, 17 и 21 час. Еще один датчик в этот же период измерял температуру воздуха на высоте 200 см. Наблюдения проводились с 3 октября 2007 г. по 4 сентября 2012 г. Для характеристики особенностей местного климата и погодных условий были привлечены данные ближайшей метеостанции г. Ноябрьска.

Наблюдения температуры воздуха на высоте 200 см и данные метеостанции г. Ноябрьск проявляют очень тесную связь, корреляция среднесуточных значений составила 0.997, а наблюдений совпадающих сроков, в 9 и 21 час - 0.985 и 0.992, соответственно, что позволило

использовать другие погодные наблюдения метеостанции. Сумма среднесуточных температур воздуха выше 5°C в среднем составила 1568°C, и варьировала от 1170°C в 2010, до 1924°C – в 2012 г., а сумма температур выше 10°C составила в среднем 1217°C, и варьировала – от 809°C в 2010, до 1630°C – в 2012. Продолжительность периода с биологически активными температурами выше 5°C варьирует в меньшей - от 106 до 150 дней, и в большей – для температур выше 10°C – от 59 до 96 дней. Одна из особенностей местного климата - большая облачность в течение всего года. За период наблюдений в среднем 183 дней в год, т.е. больше половины, оказалось с облачностью более 90%, а относительно ясная погода со средней за сутки облачностью не больше 30% - только 31 день в году. В целом местный климат отличается низкой теплообеспеченностью в бесснежный период, сравнительно сухую и теплую первую половину летнего периода и влажную и прохладную – вторую. Преобладание пасмурной погоды почти в течение всего года, в том числе и в бесснежный период определяет зависимость температурного режима почв почти исключительно от температуры воздуха, и в меньшей степени – от прямой солнечной радиации.

У поверхности почвы суммы активных температур близки к сумме температур воздуха. В 2008, 2010 и 2011 гг., с полными рядами наблюдений температуры почвы, суммы температур >5°C составили 1419, 1196 и 1575°C, соответственно, а для температур >10°C – 1095, 810 и 1039°C. С глубиной теплообеспеченность быстро убывает, составив в нижней части деятельного слоя (20 см) для температур >5°C за эти же годы 955, 767 и 1014°C, для температур >10°C – 696, 208 и 108°C, соответственно. Градиент теплообеспеченности по температурам >5°C (около 20°C на 1 см) сходен в разные годы, нежели для температур >10°C (от 7.6 до 46.5°C в разные годы и для разных слоев), т.е. прогрев почвы выше 10°C на болоте неустойчив.

В зимний, снежный период, в холодные зимы 2009 – 2010 и 2010 – 2011 гг. среднемесячная температура у поверхности была не ниже -5.1°C, при среднемесячной температуре воздуха ниже

-30°C и -25°C, соответственно. Зафиксированная минимальная среднесуточная температура поверхности почвы -9.9°C, а минимальная зафиксированная -10.5°C. Более глубокие слои почвы хотя и промерзали в зимний период, но за период наблюдений их среднемесячная температура на глубине 10 см не опускалась ниже -2.0°C, а на глубине 20 см -1.6°C. Вертикальный градиент температур воздуха и почвы меняется в апреле, когда температура воздуха становится выше температуры почвы, и остается таким до июня, реже – июля. В это период среднемесячная температура поверхности почвы ниже температуры воздуха, хотя и незначительно, на 0.2 – 1.7°C, но в отдельные дни доходя до 4.7 – 10°C.

Исключение составила весна и первая половина лета 2009 г., когда среднемесячная температура поверхности почвы была значительно, на 6.3°C в мае, и на 4.6°C в июне, выше температуры воздуха. С мая по июль 2009 г. отличался аномально малым количеством осадков, 106 мм за три месяца, против 203 – 315 мм в другие годы, вследствие чего поверхность почвы (сфагновый очес) высох, и прямая солнечная радиация привела к значительному нагреву этого слоя. Средние показатели облачности в 2009 году не отличались существенно от облачности того же периода других лет. Кроме того, нам не удалось обнаружить какой либо надежной зависимости градиента температур поверхность почвы – воздух и облачности в теплый период года. Иначе говоря, такой, значительный прогрев болотной почвы в местных условиях возможен только в экстремальных условиях, при высыхании верхнего слоя почвы и его изоляции от охлаждающего влияния нижних горизонтов, как это произошло в 2009 г. Прямой нагрев поверхности почвы при нормальном состоянии поверхности болота настолько незначителен, что статистически не обнаруживается.

Максимальный прогрев поверхности почвы наблюдался одновременно с максимальными среднемесячными температурами воздуха - в июле, реже – в июне (2011 г.), когда среднемесячные температуры поверхности почвы достигают 12 – 15°C. За исключением 2009 г. максимальная среднесуточная температура поверхности 20.9°C, а максимальная отмеченная – 28°C. На глубине 10 и 20 см максимальный прогрев наблюдался позже, примерно с задержкой на месяц. Максимальные среднесуточные температуры этих слоев – от 11.1 до 13.3°C на глубине 10 см, и 9.5 – 11.9°C на глубине 20 см. Отмеченные максимальные среднесуточные температуры на этих глубинах различались несильно, максимальная среднесуточная 18.3°C и 17.8°C, максимальные отмеченные – 19.0°C и 18.5°C, соответственно. Сходный температурный

режим отмечен и для олиготрофных грядово-мочажинных болот в междуречье Ваха и Ватинского Егана (Болота Западной Сибири..., 1976). В 2009 температурные показатели на этих глубинах не проявляли существенного отклонения от других лет, т.е. аномальный прогрев коснулся только самого верхнего слоя почвы.

Начиная с августа, реже – с июля (2011 г.) среднемесячная температура почвы становится выше температуры воздуха. В зависимости от особенностей осени разница среднемесячных температур поверхности почвы и воздуха варьирует в августе и сентябре от 0.5 до 1.6°C, а в октябре – от 0.4 до 2.7°C. Среднемесячные температуры поверхности почвы опускаются ниже 0°C в ноябре, вместе с формированием устойчивого снежного покрова. Ниже, на глубине 10 см, среднемесячные температуры опускаются ниже 0°C в декабре, реже – октябре (2009 г.), а на глубине 20 см – чаще в январе (2010 г. - в декабре, 2009 г. – в феврале).

Влияние осадков на температурный режим болотной почвы в теплый период года, по крайней мере, в явном виде, нами не обнаружено.

Заметные регулярные суточные колебания температуры почвы появляются в начале мая, после схода снежного покрова, и сразу же приобретают большой размах. Если максимальные зафиксированные суточные колебания температуры поверхности почвы в апреле (до схода снежного покрова) составляют 2 – 4°C, то в мае максимальный диапазон суточных колебаний составил в разные годы от 12.5 до 18.5°C. В следующие, летние месяцы максимальные суточные колебания температуры поверхности почвы остаются примерно такими же, от 10 до 19°C, и резко уменьшались в октябре, до установления устойчивого снежного покрова. С глубиной суточные колебания температуры быстро уменьшаются. На глубине 10 см максимальные отмеченные суточные колебания температуры в теплый период года составили 7°C, а на глубине 20 см - 4°C. По осредненным за месяц данным наибольший прогрев почвы у поверхности наблюдался около 17 часов, а на глубине 10 см – около 21 часа. Минимальные температуры поверхности почвы наблюдаются примерно в те же часы, что и минимальные температуры воздуха, около 5 часов.

В целом, годовой ход температуры верхнего слоя торфяной залежи во многом сходен с ходом температуры торфяной залежи болот южной тайги (Дюкарев и др., 2009, Дюкарев, Головацкая, 2013). При более продолжительном холодном и снежном периоде верхний слой торфяной залежи в условиях северной тайги испытывает примерно такие же годовые колебания температуры, что и в условиях южной тайги. Примечательно, что при существенной

разнице в длительности холодного периода и зимних температур воздуха, верхний слой торфяной залежи олиготрофных болот промерзает на небольшую глубину, при этом, глубже 20 см среднемесячные температуры не опускаются ниже нескольких градусов и остаются большей частью вблизи 0°C. Сходна и суточная динамика температуры деятельного слоя.

1. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под редакцией К. Е. Иванова, С. М. Новикова. - Л. Гидрометеоиздат, 1976. - 448 с.
2. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / Под. ред. С. М. Новикова. - СПб.: ВВМ, 2009. - 536 с.
3. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А. Особенности температурного режима торфяной залежи олиготрофного болота в южной тайге Западной Сибири // География и природные ресурсы. - 2013. - № 1. - С. 65–71.
4. Дюкарев Е.А., Головацкая Е.А., Дучков А.Д., Казанцев С.А. Экспериментальное исследование температурного режима торфяной залежи Бакчарского болота (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. - 2009. - Т. 50. № 6. - С. 745–754.
5. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. - М. Географгиз, 1948. - 320 с.
6. Лисс О.Л., Березина Н.А. Болота Западно-Сибирской равнины. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. - 208 с.

ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
PHYTOINDICATION RATING OF FOREST-MIRE ECOSYSTEM DISTURBANCE ON THE TERRITORY OF WESTERN SIBERIAN TAIGA ZONE

Н.П. Мироничева-Токарева, Е.В. Муляева, Е.К. Вишнякова
N.P. Mironycheva-Tokareva, E.V. Milyaeva, E.K. Vishnyakova

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia
E-mail: nina@issa.nsc.ru

Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений, а также транспортировка нефти – мощный фактор трансформации природных ландшафтов. В результате их воздействия формируются разнообразные техногенные модификации, которые можно рассматривать как своего рода деградации первичной природной геосистемы. Самым масштабным проявлением гидролитогенных процессов, вызванных деятельностью человека, является формирование обширных зон подтопления и осушения территорий в результате изменения направления или нарушения поверхностного стока.

Объектами наших исследований являлись лесо-болотные комплексы таежной зоны Западной Сибири подверженные подтоплению, вызванного строительством дорожного полотна. Степень трансформации растительности определялась методом сравнения фоновой (потенциальной) растительности болот с растительностью одноранговых экосистем, находящихся под воздействием подтопления.

По уровню вызванных изменений и преобразований растительных сообществ полоса влияния линейных сооружений прослеживается на значительные площади, формируя четко выраженные линейно вытянутые зоны.

По степени нарушенности растительного покрова, вызванного повышением уровня болотных вод визуально выделяются три зоны:

Зона -1 - зона контакта с насыпью дорожного полотна. Она представляет собой водное зеркало с единичными представителями травяной растительности, которые характерны для мочажин. Ширина зоны от дороги колеблется в пределах от 12 до 22 метров. Проектное покрытие колеблется в пределах 5-15 процентов. Характерные для нативных экосистем зеленые мхи и лишайники замещаются мочажинными сфагновыми мхами.

Ширина переходной зоны составляет 6-8м. Она характеризуется уже сохранением исходного состава растительного покрова, но с меньшим проективным покрытием и внедрением видов, не характерных для исходного биотопа. Остатки гряд не ориентированы и представлены отдельными кочками высотой 10-30 см (утопающие кочки).

Зона -3 характеризуется минимальными потерями в видовом составе растительных сообществ по сравнению с контролем. Ориентация гряд сохранена. Кустарничковый и моховой ярус остаются без изменений.

Анализ трансформации растительного покрова под воздействием подтопления показал, что во всех подзонах непосредственно около дорожного полотна, в зоне 1 происходит выпадение деревьев, вересковых кустарничков и сфагновых мхов. При снижении уровня подтопления – зона-2 на микроповышениях появляются вересковые кустарнички, увеличивают свое присутствие виды клюквы, а в микропонижениях доминируют мочажинные мхи. В зоне, которая контактирует с контрольной с ненарушенным сообществом (зона-3), отмечается частичная гибель и угнетение сосны болотной, а так же изменение количественных характеристик отдельных видов в растительных микрогруппировках по сравнению с контролем

Для определения скорости внедрения новых видов и восстановления коренной растительности был заложен километровый трансект от дорожного полотна до рямового сообщества, являющегося контролем на котором определены пять экспериментальные площадки (10x10м). Период эксплуатации дорожного полотна десять лет. На трансекте была рассчитана степень трансформации растительного сообщества по увеличению проективного покрытия нехарактерных и сорных видов. При суммировании проективного покрытия по нескольким видам получаем характеристику по совокупности видов – суммарное проективное покрытие. Суммарное проективное покрытие определяется по каждой группе видов: P_a - по всем видам, P_N – по нехарактерным для данного местообитания видам естественной флоры, P_w – по сорным видам. На основании этих величин, рассчитаны соотношения, условно названные стресс-индексами.

I_N – индекс ($I_N = P_N / P_a$) определялся как доля в суммарном проективном покрытии видов, не характерных для данного местообитания, но свойственных другим типам местообитаний естественных биогеоценозов. Индекс изменяется в пределах от 0 до 1

Таблица. Доля видов не характерных для изучаемых сообществ. (N – индекс)

Год	Точки				
	1	2	3	4	5
1998	0,9	0,9	0,99	0,26	0,51
1999	0,8	0,9	0,78	0,22	0,48
2002	0,8	0,7	0,46	0,12	0,44

W – индекс ($W = P_w / P_a$) определялся как доля сорных видов в суммарном проективном покрытии.

Доли видов не характерных для первой зоны подтопления (точки один и два) за четыре года наблюдений значительных изменений в строении сообщества не происходит, внедрившиеся травы хвощ, тростник и пушица многоколосковая не снижают своего присутствия. В переходной зоне (точка 3) к четвертому году наблюдений происходит значительное выпадение видов не характерных для данного сообщества. На грядах увеличивают свое покрытие вересковые кустарнички а пушица многоколосковая уменьшает свое присутствие. В рямовых сообществах (точки 4и5) количество внедренных видов и их проективное покрытие незначительно и колеблется в в средних пределах (табл.)

Доля сорных видов незначительна а их проективное покрытие составляет сотые доли процента от общего проективного покрытия.

Проведенный анализ трансформации растительного покрова лесо-болотных экосистем при воздействии подтопления позволил сделать следующие выводы:

Непосредственно около дорожного полотна, происходит выпадение деревьев, вересковых кустарничков и сфагновых мхов, единично встречаются мочажинные осоки и пушица многоколосковая. При снижении уровня подтопления – зона-2 на микроповышениях появляются вересковые кустарнички, увеличивают свое присутствие виды клюквы, а в микропонижениях доминируют мочажинные мхи. В зоне, которая контактирует с контрольной системой, отмечается частичная гибель и угнетение сосны болотной, а так же изменение проективного покрытия отдельных видов в растительных микрогруппировках по сравнению с контролем

Разрушение коренных фитоценозов и внедрение на их место новых видов с образованием парагенетических группировок

растений является следствием прямого изменения водно-минерального режима среды, уровня грунтовых вод в результате техногенных нарушений нативных экосистем. Линейные инженерные сооружения, воздействуя на растительность болотных систем трансформируют ее в полосы, почти параллельно возникшим зонам разрушений.

За двадцать лет функционирования дороги произошли следующие изменения: при увеличении уровня болотных вод на участке три изменилась фациальная структура ассоциации. Площадь гряд с признаками подтопления не изменилась, понизилась высота их до 10- 15см., Отмечается преобладание процессов денудации гряды и расширение площади мочажины. .

Общая площадь проективного покрытия на экспериментальных площадках по трансекту за четыре года сукцессионных преобразований не уменьшилась. Площадь проективного покрытия мхами по всему трансекту не увеличилась, что говорит о низкой возобновляемости сфагновых мхов.

Проективное покрытие травами велико только на самых близких площадках к фронту нарушения, видимо требуется значительное время для восстановления примерно исходных ассоциаций растительности соответствующей грядово-мочажинному комплексу.

Кустарничковый ярус увеличивает скорость экспансии на площадках в значительном удалении от фронта разрушения.

Полученные временные и хронологические характеристики сопряженного ряда нарушенных лесо-болотных геосистем, степень их устойчивости и их реакцию на колебания гидрологического режима позволяют прогнозировать развитие растительного покрова в условиях интенсивного техногенного воздействия. В дальнейшем детализацию таких прогнозов можно вести на основе конкретных разработок с учетом всех факторов, действующих в регионе как природных, так и антропогенных.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНЕГО НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ НИЖЕГОРОДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ ЛЕТА 2010 ГОДА (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «КЕРЖЕНСКИЙ»)
SPATIAL-TEMPORARY CHANGES OF THE SUMMER BIRD POPULATIONS OF THE NIZHEGORODSKOE ZAVOLZHJE WETLANDS AFTER THE FIRES IN THE SUMMER OF 2010 (EVIDENCE FROM THE KERZHENSKIY STATE NATURE RESERVE)

О.С. Носкова, Ю.А. Пулева, Н.Е. Колесова, М.С. Крупко, С.А. Баранов
O.S. Noskova, Yu.A. Ruleva, N.E. Kolesova, M.S. Krupko, S.A. Baranov

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia
E-mail: noskova.o.s@gmail.com

Нижегородское Заволжье регулярно подвергается лесным пожарам в весенне-летний период. Крупные пожары ранее здесь были в 1972 году, но работ по изучению восстановления орнитокомплексов на этой территории немного (Ибрагимов, Конкин, 1983 и др.). В 2002 году здесь организован первый в Приволжском федеральном округе биосферный резерват ЮНЕСКО «Нижегородское Заволжье», общей площадью около 574 км², включающий заповедник «Керженский». Резерват представляет собой водно-болотные комплексы, где еще сохранились ненарушенные участки сфагновых болот, старовозрастных сосновых и широколиственно-еловых лесов.

В аномально жаркое лето 2010 года от лесных пожаров пострадали многие регионы центра Восточно-Европейской равнины. Нижегородское Заволжье также сильно пострадало от стихии – только в заповеднике огнем пройдено более 45% территории. В летний период 2011–2013 гг. здесь проведены учеты населения птиц на маршрутах (Равкин, 1967) общей протяженностью около 900 км, из которых 250 км при учете редких видов. В ходе работ обследованы 5 основных по площади типов местообитаний: разновозрастные березово-сосновые леса с окраинами верховых болот и выволами – сильно нарушенные (после верховых пожаров), мало нарушенные (после низовых пожаров), пройденные огнем верховые болота разной степени облесенности, а также аналогичные неповрежденные участки. В первые два года обследовались также березово-сосновые леса по границе отжига и мозаичные луга-перелески вокруг кордонов (лесных поселков, заброшенных в 90-е гг.).

За три года исследований получены показатели обилия по 112 видам птиц (72% от числа видов заповедника; Курочкин, Коршунов, 2002), включая 10 редких, занесенных в Красную книгу Нижегородской области (2003). Все материалы внесены в банк данных лаборатории зоологического мониторинга Института систематики и экологии животных СО РАН, и математическая обработка данных выполнена с использованием программ этой лаборатории. За I половину лета (гнездовой период) принят период с 16 мая по 15 июля,

за II половину лета (послегнездовой период) – с 16 июля по 31 августа. Доминирующими считаются виды с долей в сообществе более 10% по обилию, а фоновыми – с обилием более одной особи на 1 км² (Кузякин, 1962).

Трехлетний мониторинг состояния орнитокомплексов заповедника «Керженский» позволяет выявить основные тенденции и региональные особенности их дальнейшей динамики после сильных пожаров 2010 г. Наиболее высоким видовым богатством птиц на протяжении всех трех лет наблюдений отличаются березово-сосновые леса, пройденные низовым пожаром (мало нарушенные). Из-за выпадения на выволах части сгоревшего древостоя в сплошном пологе леса здесь образуются просветы, усложняется структура местообитания. Хотя на второй год после пожаров показатели видового разнообразия и выравненности орнитокомплексов здесь одни из самых низких, тем не менее, мозаичность ландшафта привлекает сюда птиц и на гнездование, и во время послегнездовых кочевок. На третий год исследований орнитокомплексы этого местообитания отличаются наиболее постоянными и высокими показателями обилия в течение всего лета. Оптимальное сочетание открытых и лесных участков наблюдается в мозаичных лугах-перелесках, где при невысоких суммарных показателях населения птиц характеризуется высоким видовым разнообразием и выравненностью (табл.). Здесь же в населении птиц встречается много редких видов, занесенных в Нижегородскую Красную книгу (глухая кукушка и др.; 2003).

Сильное выгорание лесных массивов при верховых пожарах вызывает заметные межгодовые изменения суммарных показателей населения птиц. В первый год эти орнитокомплексы характеризуется низким числом видов и суммарным обилием. Уже на второй год, на заросших кипреем выгоревших участках здесь начинают гнездиться виды опушек и открытых суходолов, способствуя двукратному росту видового богатства орнитокомплексов (Носкова и др., 2013). На третий же год обилие опушечных видов на горях возрастает, и они начинают преобладать над лесными, преимущественно за счет

Таблица. Основные показатели летнего населения птиц природного заповедника «Керженский» после пожаров лета 2010 г.

Показатели	Всего видов			Всего фоновых видов			Всего доми-нантов			Доля доми-нантов (% по обилию)			Индекс Шеннона (H')			Индекс выростности Пиелу (E)			Суммарная плотность (особей/км²)			Суммарная биомасса (кг/км²)			
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013				
Местообитания	Гнездовой период (I половина лета: 16 мая – 15 июля)																								
	Березово-сосновые леса:	25	51	53	23	39	48	3	2	2	51	48	36	2.51	2.75	2.98	0.78	0.70	0.75	333	583	1194	56	67	106
		44	47	54	33	41	46	2	2	2	44	48	38	2.66	2.72	2.90	0.70	0.71	0.73	398	669	1175	36	62	58
		34	44	–	32	36	–	1	2	–	38	38	–	2.45	2.80	–	0.69	0.74	–	582	796	–	31	34	–
	Верховые болота:	23	40	49	21	33	41	1	2	1	45	40	34	2.15	2.73	2.72	0.69	0.74	0.70	541	1048	1165	24	46	58
		32	48	48	29	43	45	3	2	1	55	31	23	2.43	3.10	2.98	0.70	0.80	0.77	474	866	1044	60	80	100
	Мозаичные луга-перелески вокруг кордонов	25	40	46	22	37	38	3	2	3	60	36	57	2.35	2.73	2.63	0.73	0.74	0.69	596	868	726	45	50	54
		37	36	–	30	36	–	2	2	–	23	34	–	3.07	2.93	–	0.85	0.82	–	248	277	–	16	17	–
	Послегнездовой период (II половина лета: 16 июля – 31 августа)																								
	Березово-сосновые леса:	23	35	43	18	29	29	4	2	2	62	55	51	2.43	2.34	2.42	0.78	0.66	0.64	277	850	1006	48	140	108
37		40	38	30	31	35	2	3	4	35	55	69	2.76	2.47	2.46	0.76	0.67	0.68	281	875	972	31	84	98	
29		33	–	20	30	–	4	2	–	52	55	–	2.70	2.29	–	0.80	0.66	–	146	654	–	9	46	–	
Верховые болота:	31	31	38	25	25	30	3	2	3	49	75	43	2.61	1.98	2.52	0.76	0.58	0.69	329	573	641	22	45	31	
	26	32	34	23	30	32	3	2	2	59	45	44	2.34	2.58	2.51	0.72	0.74	0.71	345	941	730	39	95	83	
Мозаичные луга-перелески вокруг кордонов	29	17	28	24	13	21	5	3	3	72	69	62	2.49	1.93	2.28	0.74	0.68	0.69	358	312	495	61	16	43	
	30	–	–	24	–	–	1	–	–	24	–	–	2.85	–	–	0.84	–	–	109	–	–	10	–	–	

лесного конька, серой мухоловки и веснички. Хотя на других горельниках рост обилия опушечных видов происходит уже в первый год после пожаров (Кулешова, 2009). В целом, на протяжении трех лет в сильно нарушенных пожарами местообитаниях постепенно растёт обилие птиц в гнездовой период, что особенно заметно на лесных участках. В послегнездовой же период птицы активно кочуют по этим территориям.

Одновременно проявляется региональная специфика изменений облика орнитокомплексов на пострадавших участках заповедника «Керженский». Ни один из появившихся на горях видов (серая славка, садовая и болотная камышовки, белая трясогузка, жулан и др.), на протяжении трех лет наблюдений не лидирует в населении птиц по обилию.

Этот видовой список заметно отличается от того, что приводится по видам-маркерам гарей в литературе (Кулешова, 2009). Кроме того, в послегнездовой период во всех обследованных местообитаниях заповедника лесные виды (зяблик и др.) по-прежнему составляют значительную часть населения птиц, и их доля в населении птиц даже постепенно растёт.

Образование большого числа пирогенных водоемов на горях способствует временному увеличению обилия утиных птиц (в том числе и редких) и как следствие росту здесь суммарной биомассы орнитокомплексов. Такая тенденция сохраняется на протяжении всех трех лет наблюдений, но зависит от климатических условий конкретного года. Если к августу большинство небольших водоемов и каналов пересыхает, то основная доля утиных птиц покидает эту территорию. Характерный для нарушенных огнем местообитаний рост обилия тетерева, вопреки литературным сведениям (Формозов, 1937; Ушаков

и др. 1991; Кулешова, 2009), в заповеднике проявляется в конце лета, начиная только со второго года наблюдений.

Увеличение мозаичности ландшафта заповедника вследствие пожаров в целом, способствует росту суммарного обилия птиц практически во всех местообитаниях. Это заметно уже на второй год наблюдений. Одновременно происходит перераспределение птиц по территории (Носкова и др., 2013). На третий год суммарное обилие орнитокомплексов становится сходным уже практически на всей обследованной территории заповедника. Заметно более низкими показателями отличается только население птиц ненарушенных верховых болот, пространства которых мало используются птицами в течение лета. Также в период послегнездовых кочевок, на протяжении всего периода наблюдений, птицы избегают однородных массивов ненарушенных березово-сосновых лесов. Эти местообитания, несмотря на ненарушенность пожарами, характеризуются низким видовым разнообразием и выравненностью населения птиц в гнездовой период.

Таким образом, пожары, несомненно, оказали заметное влияние на облик орнитокомплексов заповедника «Керженский». С одной стороны, сильное выгорание растительности повлекло за собой снижение всех суммарных показателей населения птиц. Однако затем, постепенное зарастание пострадавших участков, смена структуры растительности и увеличение мозаичности ландшафта в целом, способствовали росту суммарного обилия, видового богатства и разнообразия орнитокомплексов. Дальнейшую динамику населения птиц заповедника будет определять преобразование лесных насаждений заповедника в ходе сукцессии.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект 11-04-97092-р_поволжье_a), а также непосредственно администрацией ФГБУ «Государственный заповедник «Керженский». Авторы статьи выражают благодарность за помощь в проведении учетных работ Рупасовой Д.Н. и Головой С.В.

1. Ибрагимов А.К. Конкин С.Ф. Послепожарная динамика орнитофауны в сосновых лесах Горьковского Заволжья // Эколого-фаунистические исследования в нечерноземной зоне РСФСР. - Саранск: Изд. Мордовского университета, 1983. - С. 27–37.
2. Красная книга Нижегородской области. Т. 1 (Животные). - Н. Новгород, 2003. - 380 с.
3. Кузякин А.П. Зоогеография СССР // Ученые записки Московского областного педагогического института им. Н.К. Крупской. - 1962. - Т. 109. - С. 3–182.
4. Кулешова Л.В. Пульсирующие изменения в распространении птиц Палеарктики под влиянием лесных пожаров // Орнитогеография Палеарктики: современные проблемы и перспективы. - Махачкала: Изд. АЛЕФ, 2009. - С. 147–153.
5. Курочкин Д.В., Коршунов Е.Н. Аннотированный список птиц Керженского заповедника // Материалы по фауне Нижегородского Заволжья. Тр. ГПЗ «Керженский». Т. 2. - Н.Новгород: Изд. Нижегородского госуниверситета, 2002. - С. 31–49.
6. Носкова О.С., Рулева Ю.А., Колесова Н.Е. и др. Межгодовая динамика гнездового населения птиц Нижегородского Заволжья после пожаров лета 2010 года (на примере заповедника «Керженский») // Современные проблемы зоологии позвоночных и паразитологии: матер. V Междунар. науч. конф. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского госуниверситета, 2013. - С. 106–109.
7. Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. - Новосибирск: Наука, 1967. - С. 66–75.
8. Ушаков В.А., Ибрагимов А.К., Ушаков А.В. Динамика орнитофауны сосновых лесов в связи с пожарами // Материалы X Всесоюзного орнитологической конференции. Ч. 2. Кн. 2. - Минск: Наука і техника, 1991. - С. 262–263.
9. Формозов А.Н. Об освоении фауны наземных позвоночных и вопросах ее реконструкции // Зоологический журнал. - 1937. - Т. 16. Вып. 3. - С. 407–442.

ОХРАНА БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ОТ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ ДО ОБЪЕКТОВ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ

PROTECTION OF THE WESTERN SIBERIA PEATLANDS: FROM THE NATURE MONUMENTS TO THE WORLD HERITAGE

Н.М. Семенова

N.M. Semenova

Томский государственный университет, Россия

Tomsk State University, Russia

E-mail: nmsemnv@mail.tomsknet.ru

Первые попытки установления специальной охраны болот в Западной Сибири относятся к 70-ым годам прошлого столетия и в определенной степени являются практическим последствием международного проекта по охране болот «Телма». По результатам этого проекта природоохранный статус в ранге памятников природы регионального значения на территории Западной Сибири получили около двух десятков отдельных небольших болотных массивов или участков крупных болотных систем в ее южной, традиционно наиболее хозяйственно освоенной, части. Представления о природоохранной ценности западно-сибирских болот в ту пору еще не выходили за рамки регионального и типичного.

В последующем, уже в новой России, список охраняемых и предложенных для охраны болот по проекту «Телма» был использован для составления списка особо ценных болот России, отвечающих критериям Рамсарских угодий международного значения. Во вновь составленном списке ценных болот России всего значился 51 объект, но только 8 из них имели непосредственное отношение к Западно-Сибирскому региону. При этом для двух номинаций из всего перечня западно-сибирских болот настоятельно обосновывалась необходимость придания международного охранного статуса. В частности, Большое Васюганское болото рекомендовалось для включения в перечень Рамсарских угодий Российской Федерации, а Салымо-Юганская болотная система к тому же предлагалась для придания статуса биосферного резервата ЮНЕСКО.

Перспективы развития сети Рамсарских угодий в Западной Сибири связаны с использованием возможностей Брисбенских соглашений в части квалификации торфяных болот как одного из наиболее широко распространенных на планете типов водно-болотных угодий. В настоящее время Рамсарские угодья данного региона еще мало репрезентативны по отношению к разнообразию развивающихся на его территории болот. В том числе, существующие здесь водно-болотные угодья находятся вне ареалов распространения обширных водораздельных болотных систем.

Очевидные диспропорции в распределении и ландшафтном разнообразии водно-болотных угодий в Западной Сибири в определенной мере учитывались при составлении Перспективного списка Рамсарских угодий в Российской Федерации в рамках разработки национальной стратегии охраны водно-болотных угодий. При этом в тайге Срединного региона намечено сформировать 16 ареалов Рамсарских угодий международного значения, часть из которых, в зависимости от условий расположения, включает большие площади зональных типов водораздельных болотных систем. Среди них Большое Васюганское болото – уникальная болотная система как с точки зрения развития торфяных болот, так и с точки зрения классических представлений о Рамсарских угодьях как жизненно важных местообитаниях водоплавающей дичи.

Большое Васюганское болото – обширная водно-болотная система, сформировавшаяся на южной оконечности распространения водораздельных болот в пределах Обь-Иртышского междуречья. Болото занимает осевую часть водораздела Оби и Иртыша, простираясь в субширотном направлении между главными водными артериями Западной Сибири, и хорошо заметно даже на обзорных мелкомасштабных картах и космоснимках. Протяженность Большого Васюганского болота в северном направлении на территории междуречья Оби и Иртыша разными учеными и специалистами в зависимости от выполняемых ими задач определяется по-разному. Его площадь, вычисленная на основе традиционных наземных исследований, представляется в пределах 50-70 тыс. км². Результаты измерений, проведенных с помощью современных дистанционных методов зондирования Земли, претендуют на еще более значительные величины.

Организационные мероприятия, проведенные для сохранения ландшафтов Большого Васюганского болота, являются прецедентом специальной охраны водораздельных болот в Западной Сибири. Весьма значительные размеры и сложная конфигурация этого болота не позволяла включить всю его площадь в состав какой-либо

одной особо охраняемой природной территории какой-либо определенной категории. Значительные трудности также заключались в преодолении конкурирующих хозяйственных интересов к использованию природных ресурсов в районе размещения Васюганского болота и разобщенность его территории административными границами субъектов Российской Федерации.

Хозяйственные интересы к этому болоту прежде всего определяют его расположением в зоне интересов развития нефтегазодобывающей отрасли Сибири. Значительная его часть, в основном лежащая к западу от меридиана 78° в.д., уже вовлечена в сферу поисков, разведки и эксплуатации месторождений нефти и газа и существенно трансформирована в результате антропогенного вмешательства.

Лишь после многолетней подготовительной работы по выделению и согласованию границ особо охраняемой природной территории в системе Большого Васюганского болота, в которой был задействован большой круг ученых и практиков из Томска, Новосибирска и Москвы с привлечением специалистов из Германии, Великобритании и Нидерландов, постановлением администрации Томской области от 10.03.2006 г. был создан Васюганский ландшафтный заказник областного значения. Практически сразу после того, когда один из субъектов Российской Федерации (Томская область) взял на себя ответственность за охрану относительно небольшого участка Васюганского болота (всего около 5 тыс. км²), или уже весной 2007 г. природный объект «Большое Васюганское болото» был включен в предварительный список (Tentative List) объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО (рисунок 1А).

Что же обусловило столь быстрое признание природоохранной ценности Большого Васюганского болота на мировом уровне? Во-первых, размеры и уникальные условия залегания. Болото сформировалось на самой вершине главного

Обь-Иртышского водораздела, где абсолютные отметки земной поверхности достигают 160 м.

Большое Васюганское болото является выдающимся примером развития и эволюции болотных экосистем в течение всего голоценового времени и представляет большой научный интерес. Первичные, изначально изолированные болотные массивы, возникавшие в течение всего голоцена в котловинах и плоских депрессиях рельефа, по мере накопления торфа и роста их линейных размеров постепенно (2-1,5 тыс. лет назад) слились в единую обширную и сложную болотную систему. Здесь представлено большое разнообразие и уникальное сочетание низинных (евтрофных), переходных (мезотрофных) и верховых (олиготрофных) болот, находящихся на разных стадиях своего развития, и при этом различных по физиономическому облику, характеру растительности, особенностям микрорельефа поверхности и строению торфяной залежи. В стратиграфических слоях торфяных отложений разных типов болот запечатлен процесс их развития и происходивших смен болотных фитоценозов, что в совокупности отражает общую картину естественного хода развития природы большей части территории Обь-Иртышского междуречья и формирования современных ландшафтов Васюганской болотной системы.

В структуре ландшафтов Большого Васюганского болота примерно в равной степени представлены открытые верховые болота (32%), открытые переходные и низинные болота (35%) и залесенные болота (33%). Его северный макросклон занят преимущественно верховыми болотами особого «нарымского» типа, описания которых стали классическими в отечественном болотоведении. Для осевой части болота и его южного макросклона характерно значительное разнообразие низинных и переходных болот. В этом районе описан особый ландшафтный тип болот – веретьево-топяные

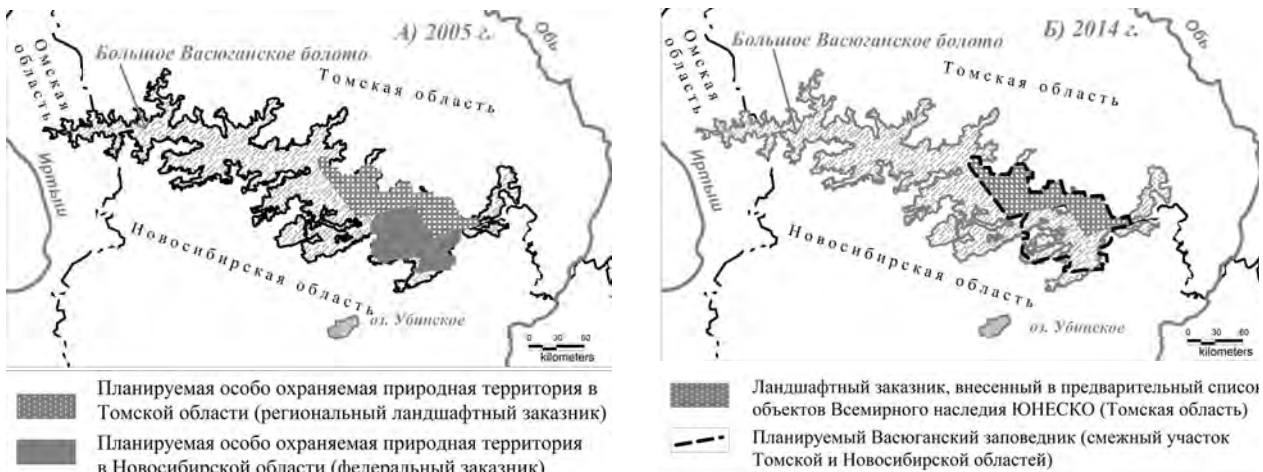


Рис. 1. Динамика процесса организации специальной охраны Большого Васюганского болота

сетчато-полигональные низинные комплексные болота, сформировавшиеся в осевой части болота, сопряженной с поверхностью главного Обь-Иртышского водораздела, и развивающиеся в условиях атмосферного питания.

Болото поддерживает местообитания значительного числа видов животных и растений заболоченных территорий Западно-Сибирской равнины. При этом следует признать, что общее биоразнообразие этой территории в сравнении с другими регионами мира, известными своими водно-болотными угодьями, в целом невелико. В данном случае речь идет об относительно высоком биологическом разнообразии ненарушенных болот бореального пояса планеты, и прежде всего минеротрофных болот, сильно пострадавших в процессе осушения и хозяйственного использования. Однако на региональном уровне показатели биологического разнообразия Большого Васюганского болота представляются достаточно высокими.

Так, только по самым предварительным данным, флора болот Васюганского ландшафтного заказника в Томской области, номинированного на статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО, включает 242 вида растений, что составляет 42% общей флоры болот Томской области. Здесь насчитывается 123 вида сосудистых растений (36% сосудистых растений региональной флоры болот), которые относятся 74 родам и 39 семействам. В составе бриофлоры 89 видов листостебельных мхов из 38 родов и 16 семейств и 30 видов печеночников из 19 родов и 12 семейств, что составляет около 50% регионального списка мохообразных торфяных болот.

Васюганское болото, располагаясь на южной границе широкого распространения торфяников, является важным зоогеографическим рубежом, препятствующим распространению «северных» видов в южном направлении. В то же время – это важный форпост для перелетных птиц. Разнообразие местообитаний, обилие водных поверхностей, а также условия размещения болота на территории Западной Сибири определяют значимость его кормовых станций в периоды весенних и осенних миграций птиц. Обширные открытые

пространства болота и обилие мышевидных грызунов благоприятствуют обитанию в этом районе глобально редких видов хищных птиц. Травяные болота южной окраины Васюганского болота до сих пор рассматриваются как потенциальные места обитания практически исчезнувших из мировой фауны вертялкой камышевки и тонкоклювого кроншнепа.

Как минимум только через пять лет после признания Большого Васюганского болота как объекта международной охраны оно стало всерьез рассматриваться как природоохранный объект федерального значения. В настоящее время болото включено в перечень первоочередных для создания в России заповедников и национальных парков. Осенью 2013 г. с некоторым опережением установленной даты организации Васюганского заповедника проведен ряд работ по подготовке земельного дела будущей особо охраняемой природной территории. Она размещается в смежных районах Томской и Новосибирской областей и ее площадь значительно увеличивается за счет включения территории Новосибирской области.

В сравнении с существующим в Томской области ландшафтным заказником площадь Васюганского заповедника составит, если строго следовать предпроектным научным обоснованиям, около 12,14 тыс. км². Таким образом, проектируемая в системе Большого Васюганского болота особо охраняемая природная территория федерального уровня (рисунок 1Б), представляется как целостная, генетически и экологически взаимосвязанная ландшафтная система достаточных размеров, которая в соответствии с критериями природного наследия ЮНЕСКО:

- отражает процессы развития и эволюции болотных экосистем от начала голоцена до настоящего времени;
- включает местообитания типичной флоры региона, редких и исчезающих видов растений;
- является «хранителем» ценной палеогеографической и палеоэкологической информации;
- представляет неповторимый по красоте комплекс первозданных бескрайних водораздельных болот.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТОРФА БОЛОТ БЕЛАРУСИ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ФОРМИРОВАНИЯ, НАРУШЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

ORGANIC COMPOUNDS OF BELARUS BOGS PEAT IN CONNECTION WITH FORMATION, DISTURBANCE AND RESTORATION PROCESSES OF BOG ECOSYSTEMS

О.В. Серебренникова^{1,2}, В.А. Ракович³, Е.Б. Стрельникова¹, М. А. Дучко¹, Н.Г. Аверина⁴, Н.В. Козел⁴, Н.Н. Бамбалов³*

O. V. Serebrennikova^{1,2}, V.A. Rakovich³, E. B. Strelnikova¹, M. A. Duchko¹, N.G. Averina⁴, N.V. Kozel⁴, N.N. Bambalov³

¹ Институт химии нефти СО РАН, Томск, Росси

¹ Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³ ГНУ Институт природопользования НАН, Минск, Республика Беларусь

³ Institute for Nature Management NAS, Minsk, Republic of Belarus

⁴ ГНУ Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

⁴ Institute of Biophysics and Cell Engineering, Minsk, Republic of Belarus

*E-mail: ol.serebrennikova2012@yandex.ru

Целью работы является выявление особенностей молекулярного состава и содержания тетрапиррольных пигментов, органических кислот, кетонов, эфиров, алканов, стероидов, терпеноидов и ароматических углеводородов в торфах естественных, осушенных, восстанавливаемых болот Беларуси.

Исследование состава органического вещества **верховых торфов** проведено для залежей болота Червенское (Галое) в Червенском районе Минской области относящегося к крупным верховым и низинным болотам пологоволнистой равнины. Гидромелиоративные работы были проведены в 1960-1963 гг. После осушения болота территория массива стала подвергаться пожарам различной интенсивности, что привело к формированию частично выгоревших торфяных залежей с многочисленным сухостоем. В 2008 г. начались работы по повторному заболачиванию торфяника и восстановлению болота. В настоящее время в состав массива входят участки естественного болота, осушенные в разной степени нарушенные участки, а также восстанавливаемые в результате повторного обводнения.

Анализ ботанического состава, степени разложения, влажности, зольности и кислотности торфов показало отличия между образцами, взятыми из естественных, нарушенных и восстанавливаемых болот. Для нарушенных торфов верхового типа степень разложения 25-40% начинается уже на глубине 0,75 м, в то время как на участке естественного болота – на глубине 1,5 м. Для нарушенных торфов отмечена более высокая зольность (5,1) по сравнению с образцами естественного торфяного слоя (4,3). Повторное заболачивание залежей привело к повышению влажности (от 78,5 % в 2007 г. до 92,6% в 2012 г.),

что характерно для болот в естественном состоянии. Величина pH изменилась от 4,3 до 3,8, что свидетельствует о процессах восстановления болот на этом участке. Таким образом, по общетехническим характеристикам повторное заболачивание приближает состояние залежей к таковому в естественных болотных экосистемах.

Установлены существенные различия в пигментном составе исследованных образцов торфа верхового типа естественной, нарушенной и восстанавливаемой экосистем. Повторно заболаченные болота обогащены хлорофиллами *a* и *b*, феофитинами *a* и *b*, а также каротиноидами, такими как лютеин и β-каротин.

Во всех исследованных торфах присутствуют представители алканов, аренов, жирных кислот и их эфиров, алканолов, альдегидов, моно-, сескви-, ди- и тритерпенов, стероидов, токоферолов и трифенилфосфатов.

В результате осушения залежей содержание в торфе большинства органических соединений увеличивается. Исключением являются *n*-алканы, концентрация которых снижается.

Ароматические углеводороды представлены главным образом бициклическими структурами, включающими нафталин, метил-, диметил-, триметил-, тетраметилнафталины и кадален. Среди тетрациклических аренов обнаружены пирен с флуорантеном, трициклические представлены только 7-изопропил-1-метил-фенантроном (ретеном).

В молекулярном составе *n*-алканов торфов ненарушенного и осушенного участков доминируют C_{23} - C_{31} гомологи с преобладанием C_{31} . Среди жирных кислот в торфах ненарушенного участка преобладают C_{16} и C_6 соединения, в торфах осушенного участка понижено содержание

C_{16} , а в одном из них основным представителем жирных кислот является C_{10} . В составе n-алкан-2-онов торфов ненарушенного участка болота доминирует C_{27} , в одном из торфов осушенного участка, наряду с ним, высоко относительное содержание C_{11} , C_{13} и C_{15} гомологов.

Метилловые, этиловые и изопропиловые эфиры жирных кислот представлены схожим набором соединений во всех изученных образцах. Ряд метиловых эфиров представлен гомологами C_{11} – C_{29} с преобладанием нечетных эфиров и максимумом, приходящимся на метиловый эфир пальмитиновой кислоты. Исключение, как и в случае с жирными кислотами, приходится на один из образцов осушенного торфа, в котором максимум в распределении приходится на метиловый эфир декановой кислоты.

Отмечено отличие в составе циклических изопреноидов верховых торфов ненарушенных и осушенных участков.

Среди стероидов в торфах осушенного участка, в отличие от ненарушенного наблюдается большее разнообразие производных эргостана, появляются 24-метилениклоартан-3-он и ланоста-8,24-диен-3-ол, ацетат. Пентациклические изопреноиды, наоборот, более широким набором соединений представлены в торфах ненарушенного участка. В торфах осушенного участка не обнаружены фриделин, гоп-22(29)-ен-3-он, ацетаты олеан-12-ен-3-ола и луп-20(29)-ен-3-ола, диеновое производное Д-фридеоолеана. Появился Д-фридеоолеан-14-ен-3-ол, отсутствующий в торфах ненарушенного участка. Трициклические терпеноиды представлены во всех верховых торфах преимущественно 18-норабиетаном, а в одном из торфов с осушенного участка зафиксировано наличие ретена.

Среди сесквитерпенов в исследованных нативных торфах идентифицированы соединения групп кубебена, селинена и кадинена, каламененом, γ -гурджуноном и др. В результате осушения залежи в торфах резко снизилось их разнообразие и основную массу сесквитерпенов представляет триметилдиметилден-декагидронафталин.

Торфа повторно заболоченных болот характеризуются большим разнообразием и содержанием производных ланостана, вновь появляется гоп-22(29)-ен-3-он, возрастает содержание и набор сесквитерпенов. В составе n-алканов и ациклических кислородсодержащих соединений существенных изменений не зафиксировано.

Для исследования **низинных торфов** выбрано торфяное месторождение Бартениха, расположенное в Воложинском районе Минской области. Торфяная залежь первоначально была сложена низинными торфами с преобладанием древесного низинного торфа. Степень разложения по массиву при колебании по слоям была от 30 до 45 % (средняя – 38 %). Зольность – от 6,54 до 16,07 % (средняя – 11,25 %). Часть болота в 1990 г. была осушена и до 1995 г. здесь велась добыча торфа на удобрение. В 1995 г.

территория нарушенного болота была рекультивирована и с 1995 г. по 2007 г. территория находилась под естественным лесовозобновлением. Степень разложения торфа осушенного участка находится в пределах от 25 % до 35 %. Зольность – от 7,6 % до 22,7 %. Влажность от 55 до 76,7 %. В настоящее время проведены мероприятия по повторному заболочиванию торфяника.

В результате проведенного обводнения величины рН воды снизились по сравнению с величинами, определенными в 2007 г. от 5,7 до 5,4, что свидетельствует о процессах восстановления болот на этом участке. Изменилось и значение влажности верхнего 25-сантиметрового слоя торфа: от 78,5 % в 2007 г. до 88,6% в 2012 г., что характерно для низинных болот в естественном состоянии.

В торфе низинного ненарушенного болота среди n-алканов доминируют гомолог C_{27} , в торфах осушенного участка C_{25} – C_{27} . По распределению жирных кислот и n-алкан-2-онов низинные нативные и осушенные торфа отличаются незначительно, следовательно, осушение болота не оказывает влияния на состав этих групп соединений.

В торфах осушенного участка, в отличие от ненарушенного, зафиксировано наличие тетрациклических терпеноидов, возросло содержание трициклических, представленных 18-норабиетаном и его частично ароматизированными структурами – 18-норабиета-8,11,13-триеном и 10,18-биснорабиета-5,7,9(10),11,13-пентаеном. Содержание и состав стероидов практически не изменились. Среди пентациклических изопреноидов появились Д-фридеоолеан-14-ен-3-ол, $17\beta(H)$, $21\alpha(H)$ -норгопан, неогоп-13(18)-ен, не обнаружен олеан-13(18)-ен, зафиксированный в торфах ненарушенного участка.

В составе сесквитерпенов торфов низинных ненарушенных залежей подавляюще доминирует триметилдиметилден-декагидронафталин, в 3-4 раза ниже содержание каламенена. Остальные представители сесквитерпенов присутствуют в следовых количествах. В торфах осушенного участка резко увеличилось содержание каламенена и кадиненов.

Повторное заболочивание низинных залежей привело к снижению содержания стероидов, три- и тетра- и пентациклических терпеноидов, возрастанию среди сесквитерпеноидов доли триметилдиметилден-декагидронафталина, более чем к двукратному превышению содержания феофитиновых пигментов по сравнению с торфами осушенных болот. Отмечено высокое содержание в торфах восстанавливаемых участков бактериофеофитинов.

В целом полученные данные свидетельствуют об изменении состава органических соединений торфов при осушении болот и активно идущих в повторно заболочиваемых участках процессах формирования молодых торфов.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФА НАТИВНЫХ И ОСУШЕННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТА ТЁМНОЕ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)
THE COMPOSITION OF ORGANIC COMPOUNDS IN NATURAL AND DRAINED PEATLANDS OF TEMNOE BOG (TOMSK REGION)

О.В. Серебренникова*^{1,2*}, *Е.Б. Стрельникова*^{1**}, *М.А. Дучко*^{1}, *Ю.И. Прейс*^{3****}
O. Serebrennikova^{1,2*}, *E. Strelnikova*^{1**}, *M. Duchko*^{1***}, *Yu. Preis*^{3****}**

¹ Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

¹ Institute of Petroleum Chemistry SB RAS, Tomsk, Russia

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

³ Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk, Russia

*E-mail: ovs49@yahoo.com

**E-mail: seb@ipc.tsc.ru

***E-mail: maria.duchko@gmail.com

****E-mail: preisyui@rambler.ru

Торф является ценнейшим природным биологическим материалом и важнейшим минерально-сырьевым ресурсом, он широко используется в сельском хозяйстве и животноводстве, медицине, биохимии, энергетике и ряде областей промышленности. Массовое осушение болот, пожары на торфяниках привели к сильному нарушению местной экологии и отрицательно повлияли на биоразнообразие в таких регионах. Нарушение торфяной залежи при антропогенном воздействии приводит к количественному и качественному изменению компонентного состава (углеводов, гуминовых веществ, битумов) различных видов торфа. Однако работы по изучению изменения состава органических соединений битумов торфов, происходящее при осушении болот, не проводились. Целью настоящего исследования является проведение сравнительной характеристики состава битуминозных компонентов торфов естественных и осушенных участков болот на территории Западной Сибири.

Исследование состава органического вещества проведено для торфов естественных и осушенных участков болота Темное юга Томской области (Западная Сибирь). Болото Темное входит в состав крупной болотной системы верхового и низинного типов, залегающей на надпойменных террасах р. Томи. Гидромелиоративные работы проведены в 80-х годах XX века. На осушенном верховом участке произошла значительная усадка залежи, вместо сведенного яруса низкорослой сосны сформировался густой ярус подроста березы.

Исследованные верховые торфа, отобранные с поверхности до глубины 0,3 м, характеризуются низкой зольностью (А) и невысокой степенью разложения (R) (табл. 1).

Битуминозные компоненты (Бит) выделяли из торфов экстракцией 7 %-ным раствором метанола в хлороформе при 60°C. Торф предварительно обезвоживали до воздушно-сухого состояния и измельчали. Анализ состава экстрактивных веществ торфов осуществляли методом хромато-масс-спектрометрии с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра DFS фирмы «Thermo Scientific» (Германия). Содержание отдельных структур определяли по площади соответствующих пиков на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта и поправочных коэффициентов, определенных для каждого класса соединений.

В исследованных торфах идентифицированы представители *n*-алканов, аренов, жирных кислот и их эфиров, алканонов, альдегидов, ациклических, а также би-, три-, тетра- и пентациклических изопреноидов, токоферолов и трифенилфосфатов (табл. 1).

В верховых торфах ненарушенного участка болота Темное в максимальном количестве среди всех органических соединений присутствуют *n*-алканы, в осушенном преобладают тритерпены. В результате осушения болота в торфе увеличилось содержание только циклических изопреноидов и аренов, содержание остальных классов органических соединений изменилось незначительно. Тем не менее, качественный состав алифатических структур в торфах осушенного и ненарушенного участков имеет ряд особенностей. В отличие от ненарушенного участка, где в торфе среди *n*-алканов преобладают гомологи C_{25} и C_{23} , в торфе осушенного участка высоко содержание C_{25} , C_{27} , C_{29} и C_{31} . Среди жирных кислот во всех торфах преобладает пальмитиновая кислота (C_{16}), однако в торфах

Таблица 1. Содержание отдельных групп органических соединений в верховых торфах болота Темное

Индекс образца	H-20	H-30	O-10
Болото	Темное, Западная Сибирь		
Участок	Естественный		Осушенный
Глубина отбора, м	0,10-0,20	0,25-0,30	0,05-0,10
R, %	12,5	6	7
A, %	2,9	2,6	5,8
Бит, %	1,3	4,3	3,0
Содержание в торфе, мкг/г сухой массы			
н-Алканы	14.60	25.39	13.38
Арены	0.20	0.25	0.37
Жирные кислоты	0.60	16.93	5.73
Эфиры жирных кислот	0.80	0.72	0.64
н-алкан-2-оны	2.20	10.16	2.70
н-Альдегиды	1.20	1.32	1.40
Ациклические изопреноиды	4.40	5.96	3.45
Сексвитерпены	4.20	2.47	2.41
Дитерпены	1.38	0.16	0.46
Стероиды	1.40	6.36	9.40
Тритерпены	1.26	9.51	18.56
Токоферолы	0.20	3.36	1.76
Трифенилфосфаты	0	0.06	0.01
Сумма	31.80	82.64	60.27

осушенного участка относительная концентрация остальных кислот выше, чем в торфах ненарушенного. По распределению н-алкан-2-онов торфа ненарушенного и осушенного участков практически не различаются.

Ароматические углеводороды торфов представлены главным образом бициклическими и трициклическими структурами, включающими нафталин, метил-, диметил-, триметил-, тетраметилнафталины, фенантрен, метил-, диметил-, и триметилфенатрены. Содержание бициклических аренов и тетрациклических структур (пирена и флуорантена) выше в образце осушенного торфа.

Ациклические изопреноиды в торфах представлены изопреноидными кетонами и скваленом. В составе сесквитерпенов торфов преобладают изомеры кадинена. В нативном торфе на глубине 10 см γ - и δ -кадинены присутствуют в равной концентрации, на глубине 30 см доминирует γ -кадинен, а в образце осушенного - δ -кадинен.

Трициклические терпены в нативных торфах представлены частично ароматизированным производным норбиетана и метиловыми эфирами дегидроабиетиновой и оксодегидроабиетиновой кислот. Основным соединением в смеси является метилдегидроабиетат (табл. 2). В осушенном торфе состав этих соединений шире за счет

наличия насыщенного углеводорода - 18-норабиетана и дегидроабиетиновой кислоты, присутствующей в высокой концентрации и доминирующей над другими трициклическими терпанами.

В составе стероидов торфов идентифицированы ненасыщенные спирты, кетоны и углеводороды рядов эрго-, стигма- и ланостана, а в одном из образцов нативного торфа и ряда холестана. В нативных торфах основными являются производные стигмастана, в торфе осушенного участка - ланостана. Стероиды ряда эргостана зафиксированы только в нативных торфах, в торфе осушенного участка они отсутствуют.

В составе пентациклических изопреноидов преобладают производные олеана, среди которых в ненарушенном торфе в максимальном количестве содержится тараксерен, а в осушенном - тараксерон. Относительное содержание соединений ряда гопана в торфе осушенного участка выше, чем в торфах ненарушенного. При этом наряду с углеводородами, в нем зафиксировано наличие гопенов с кето- и спиртовой группой. В нативных торфах кислородсодержащие соединения ряда гопана отсутствуют. В целом торф осушенного участка обогащен кислородсодержащими тритерпенами, в торфах ненарушенного доминируют углеводороды с ощутимой долей насыщенных структур.

Таблица 2. Содержание три-, тетра- и пентациклических изопреноидов в верховых торфах болота Темное

Индекс образца	Н-20	Н-30	О-10
Содержание в торфе, мкг/г сухой массы			
<i>Дитерпеноиды</i>			
18-Норабиетан	0	0	0.026
18-Норабиета-5,7,9(10)-триен	0.037	0.099	0.026
Абиета-5,7,9(10)-триен	0.060	следы	0.003
Ретен	0.006	следы	0.006
Лабд-14-ен, 8,13-эпокси-, (13R)-	0.150	0.010	0.050
Лабд-14-ен, 8,13-эпокси-, (13S)-	0.061	0.006	0.088
Метилдегидроабиетат	1.042	0.039	0.094
Дегидроабиетиновая кислота	0	0	0.148
7-Оксидегидроабиетиновой кислоты, метиловый эфир	0.020	0.009	0.027
<i>Стероиды</i>			
Холест-4,6-диен-3-ол	0	0.035	0
Эргост-4,6-диен-3-ол	0.058	1.050	0
Стигмаст-4,6-диен-3-ол	0.198	3.144	1.557
Стигмастан-3,5-диен	0.264	0.015	0
Эргоста-3,5-диен-7-он	0.035	0.314	0
Стигмаст-3,5-диен-7-он	0.131	0.733	0.610
Стигмаст-4-ен-3-он	0.333	0.310	0
Эргостан-3-он, (5 α)	0.012	0	0
Стигмастан-3-он, (5 β)	0.023	0	0
Стигмаст-5-ен-3-ол (т-ситостерол)	0	0.151	2.044
Эргост-4-ен-3-он	0.050	0	0
Стигмаст-4,7,22-триен-3-он	0	0.218	0
19-Норстигмаста-1,3,5(10)-триен-6-он	0.002	0.002	0
Ланоста-8,24-диен-3-он	0	0.075	1.140
Стигмастан-3-он, (5 α)	0.053	0.088	0
Стигмаст-4,6-диен-3-он	0.009	0	0
Ланоста-8,24-диен-3-ол, ацетат	0.232	0.226	4.025
<i>Тритерпены</i>			
Трисноргоп-17(21)-ен	0.020	0.052	0
17 β -Трисноргопан	0.012	0.099	0
Д-Фриедоолеан-14-ен (тараксерен)	0.262	2.517	1.438
Олеан-12-ен	0.076	0.264	0
Лупен	0	0.067	0
С30-урс-12-ен	0	0.088	0
С30 гопен	0.062	0.029	0
17 α (Н), 21 β (Н)-Гомогопан	0.224	0	0
С30 гопен	0	0.460	0.727
С30 гопен	0	0.216	2.221
Д:А-фриедоолеан-2-ен	0	0.337	0
Урс-9(11),12-диен-3-он	0	0.038	0
Д-Фриедоолеан-14-ен-3-он (тараксерон)	0.114	1.474	5.712
С30 гопен	0.019	0.345	0.0068
С30 гопен	0	0.126	0
Олеан-12-ен-3-он	0.128	0.149	0
Д-Фриедоолеан-14-ен-3-ол (тараксерол)	0	1.094	2.929
Олеан-12-ен-3-ол (β -амирин)	0	0.498	0.425
17 β (Н), 21 β (Н)-Гопан	0	0.148	0
Урс-12-ен-3-он	0.283	0.226	1.145
Олеан-12-ен-3-ол, ацетат	0	0	0.420
Урс-12-ен-3-ол	0	1.083	0
17 β (Н), 21 β (Н)-Гомогопан	0.016	0	0
Гоп-22(29)-ен-3-он	0	0	1.069
Гоп-22(29)-ен-3-ол	0	0	2.401
Д-фриедоолеан-14-ен-3-ол, ацетат	0.046	0.195	0

Проведённое исследование битуминозных компонентов торфов болота Темное позволило выявить наличие определенных тенденций в изменении состава и содержания отдельных групп органических соединений в торфах осушенных и нативных участков. Доминирующими классами органических соединений в нативных верховых торфах являются *n*-алканы, в то время как в осушенном торфе преобладают тритерпены. В результате осушения залежей содержание в торфе большинства органических соединений не изменяется или незначительно снижается, за исключением циклических изопреноидов, содержание которых увеличивается в той или иной степени. Наиболее заметен рост содержания в осушенных торфах ди- и тритерпенов.

Отличия в составе и распределении отдельных соединений в торфах осушенных и ненарушенных участков болота Темное наиболее заметны для тетра- и пентациклических изопреноидов. В торфе нативного участка болота наблюдается большое разнообразие производных стигма- и эргостана, обнаружены также единичные

представители ланостанов и холестеранов. Среди стероидов осушенного участка наблюдается присутствие небольшого числа соединений рядов стигма- и ланостана. Среди пентациклических изопреноидов в торфах наряду с производными олеана обнаружено значительное количество производных гопана. Общим для всех исследованных верховых торфов является присутствие значительных количеств Д-фриеодолеан-14-ена (тараксерена), Д-фриеодолеан-14-ен-3-она (тараксерона). В целом можно отметить, что, несмотря на явные отличия состава стероидов и тритерпеноидов торфов ненарушенных и осушенных участков верхового болота Темное, разнообразие соединений этих классов в торфах нативных участков существенно выше по сравнению с осушенными участками. Это может быть объяснено частичным разрушением отдельных структур при осушении и накоплением наиболее устойчивых соединений. В тоже время по молекулярно-массовому распределению ациклических соединений ненарушенные и осушенные торфа различаются незначительно.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛОТНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТОРФЯНОГО ПОЖАРА)
ESTIMATION OF ANTHROPOGENIC IMPACT INTENSIY ON MIRE GEOSYSTEMS (ON THE EXAMPLE OF PEAT FIRE SITE)

A.A. Синюткина*, **A.A. Беленко**
A.A. Sinyutkina*, **A. A. Belenko**

ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
Россельхозакадемии, Томск, Россия
Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia
*E-mail: ankalaeva@yandex.ru

Масштабная осушительная мелиорация, проведенная в 70–80 гг. 20 века в пределах восточных отрогов Васюганского болота оказала неоднозначное влияние на состояние болотных геосистем и прилегающих к ним суходольных территорий. С одной стороны, понижение уровня болотных вод привело к некоторому повышению бонитета древесной растительности и увеличению продуктивности растительного покрова в целом. С другой стороны – изменение межкомпонентных связей привело к нарушению естественной саморегуляции болотных геосистем и, как следствие, неблагоприятным экологическим последствиям, в том числе торфяным пожарам. Целью исследования является оценка современного состояния, степени трансформации и процессов восстановления после масштабных торфяных пожаров в пределах участка Иксинского болотного массива.

Исследование включало в себя проведение полевых ландшафтных описаний на точках в пределах доминантных урочищ с разной степенью антропогенной нагрузки с определением степени трансформации на основе выявления структурно-динамического состояния болотных геосистем; составление ландшафтной карты на основе данных полевых исследований, дешифрирования космических снимков и анализа топографических карт, составленных до возникновения торфяного пожара, с последующим определением средневзвешенного показателя антропогенной нагрузки (Синюткина, 2013).

Ключевой участок площадью 10 км² расположен на междуречье Икса-Шегарка, включает в себя часть Иксинского болотного массива к северу от трассы Томск-Бакчар. Территория представляет собой выровненный участок с абсолютными высотами около 115 м. Осушительная мелиорация, проведенная в пределах ключевого участка, стала причиной массовых торфяных и лесных пожаров. В засушливом 1998 г. в пределах Иксинского болота на площади 37 км² были полностью уничтожены растительный покров с приповерхностной толщей торфа на болотах, а также покров в заболоченных и автоморфных лесах (Базанов и др., 2002). В пределах участка выделено 10 видов урочищ. Площади отдельных урочищ представлены в таблице.

Крупнокочковатые поверхности с сосново-кустарничково-сфагновой растительностью с отдельными сгоревшими стволами на торфяных почвах являются доминантным видом урочища (*урочище 4*) в пределах рассматриваемого участка. Микрорельеф крупнокочковатый, образован моховыми подушками неправильной формы с высотой около 40 см. Положительные формы занимают 70 % поверхности. Сосновая растительность в угнетенном состоянии представлена двумя ярусами. В первом ярусе средняя высота деревьев достигает 4 м, диаметр 10 см, состояние удовлетворительное. Высота сосны во втором ярусе 1 м, диаметр 1-2 см, состояние угнетенное. Проективное покрытие кустарничковым ярусом составляет 80 %. Ярус образован багульником, кассандрой, брусникой, распространен преимущественно на повышениях микрорельефа. Травяной ярус занимает 20 % поверхности и представлен морошкой и осокой дернистой, которая образует кочки в понижениях между крупными моховыми подушками. Моховой покров образован *sphagnum fuscum* с проективным покрытием 80 %. Мощность торфяной залежи 1,5. Верхние слои залежи до глубины 0,9 м сложены верховым сфагновым и сосново-сфагновым торфами, ниже верховой торф сменяется переходным древесно-сфагновым и древесным с высокой степенью разложения.

Наиболее измененным видом урочища вследствие пожара являются волнистые поверхности с березово-травяной растительностью и выгоревшими соснами (*урочище 5*). Микрорельеф волнистый, осложнен поваленными стволами и выворотнями, которыми покрыто 20 % поверхности. Древесный ярус из сосны полностью выгорел. В настоящее время происходит интенсивное зарастание березой высотой 1-3 м в хорошем состоянии. Проективное покрытие ярусом подраста 20 %. Кустарниковый ярус с проективным покрытием 10 % представлен ивой и караганой. Травяная растительность занимает 50 % поверхности урочища. Основные виды – кипрей, осока дернистая, хвощ полевой, хвощ болотный, вейник лангсдорфа. Проективное покрытие гипновыми мхами 20 %. Под влиянием пожаров и, как следствие, смены растительных формаций, меняется направленность почвообразовательных

Таблица. Площади урочищ ключевого участка «Иксинское болото»

Группа урочищ	Урочища	Площадь группы, км ²	Площадь группы, %	Площадь урочищ, км ²	Площадь урочищ, %
А	1	0,79	8,0	0,79	8,0
Б	2	0,2	2,0	0,2	2,0
В	3	0,54	5,4	0,36	3,6
	6			0,18	1,8
Г	4	8,39	84,6	3,46	35,0
	5			1,77	17,9
	7			0,15	1,5
	8			1,01	10,2
	9			0,69	6,9
	10			1,31	13,2
Общая площадь, км ²					9,9

процессов, выражающаяся в улучшении водно-воздушного режимов почвы, усилением окислительных процессов, с переходом железа в двухвалентную форму, смещением уровня формирования границы глеевого горизонта и переходом, в конечном итоге торфяно-глеевых почв, предшествующих пожарам в торфянисто-оподзоленные грунтово-глееватые в типе болотно-подзолистых отдела текстурно-дифференцированных почвы.

В центральной части ключевого участка расположено крупнокочковатое березово-сосновое кустарничково-сфагновое урочище с выгоревшими соснами на торфяных почвах (урочище 7). Микрорельеф крупнокочковатый, осложнен поваленными стволами и выворотнями, которые занимают 10 % поверхности урочища. Древесный ярус представлен разреженной сосной высотой до 10 м, диаметром 15-20 см в удовлетворительном состоянии. Отмечено большое количество сухих и выгоревших стволов сосны. В настоящее время происходит интенсивное возобновление древесного яруса – зарастание сосной и березой в хорошем состоянии. Кустарничковый ярус из багульника и кассандры занимает 70 % поверхности. Проективное покрытие травяным ярусом из осоки и кипрея составляет 25 %. Моховой покров занимает 60 % поверхности. Образован *sphagnum angustifolium* (70 %) и *Polýtrichum commune* (30%). Мощность торфяной залежи 0,6 м, сложена переходными древесно-сфагновыми и древесными торфами с высокой степенью разложения. Последствия пожара выражены в присутствии горелых стволов сосны в 1 ярусе, нарушение почвенного покрова не отмечено.

К северу от трассы Томск – Бакчар расположено кочковатое березово-сосновое кустарничково-сфагновое урочище с отдельными сгоревшими стволами сосны на торфяных почвах (урочище 9). Микрорельеф урочища кочковатый. Мощность торфяной залежи составляет 1,7 м. Древесный ярус образован сосной. Средняя высота деревьев 7 м, диаметр – 10 см. Сомкнутость древесного яруса составляет 5 %. В подросте с

одинаковым обилием встречаются сосна и береза высотой около 1 м. Кустарничковый ярус представлен багульником, кассандрой, клюквой. Покрытие мхами составляет 80 %, наиболее распространенным является *Sphagnum magellanicum*. Травяной ярус образован осоками с проективным покрытием 20 %. Встречаются стволы горелых сосен высотой до 10 м. До пожара участок представлял собой сосново-кустарничково-сфагновое болото с высокой сосной. Мощность торфяной залежи составляет 1,7 м. Восстановление болота на данном участке идет наиболее интенсивно. Видимо, это связано с тем, что на данном участке пожар был верховой, и пострадали только растительность и подстилка, а торфяная залежь осталась в естественном состоянии.

Таким образом, ключевой участок отличается неоднородной пространственной ландшафтной структурой, что связано с различиями исходных природных условий до возникновения антропогенной нагрузки и разной интенсивностью антропогенных изменений. Наибольшее влияние на геосистемы оказали торфяные пожары, возникшие в результате осушения Иксинского болотного массива. На основе оценки степени трансформации геосистем с определением структурно-динамического состояния составлена карта интенсивности антропогенной нагрузки (рисунок).

Анализ карты показал, что наибольшая антропогенная нагрузка характерна для северо-западной части ключевого участка, что связано со значительной интенсивностью торфяных пожаров. Здесь преобладают урочища с очень сильной степенью трансформации – волнистые березово-травяные с выгоревшими соснами на торфянисто-оподзоленных грунтово-глееватых почвах. Восточная часть характеризуется меньшей степенью антропогенной нагрузки. Здесь происходит интенсивное восстановление геосистем после пожара. Это связано с меньшей интенсивностью торфяных пожаров и выгоранием только растительности без значительных

изменений почвенного покрова. Юго-западная и юго-восточная окраины ключевого участка с лесными и не осушенными болотными геосистемами характеризуется наименьшей степенью антропогенной нагрузки в пределах рассматриваемого ключевого участка.

Таким образом, проведенная осушительная мелиорация и последующие за ней торфяные пожары оказали значительное влияние на состояние болотных геосистем в пределах рассматриваемого участка. При этом степень

трансформации болотных геосистем главным образом обусловлена интенсивностью торфяных пожаров. Для большей части территории ключевого участка характерна сильная степень изменения геосистем без возможности восстановления в исходное состояние. Урочища, подверженные торфяным пожарам меньшей интенсивности, в настоящее время интенсивно восстанавливаются, что выражено в появлении обильного яруса подроста.

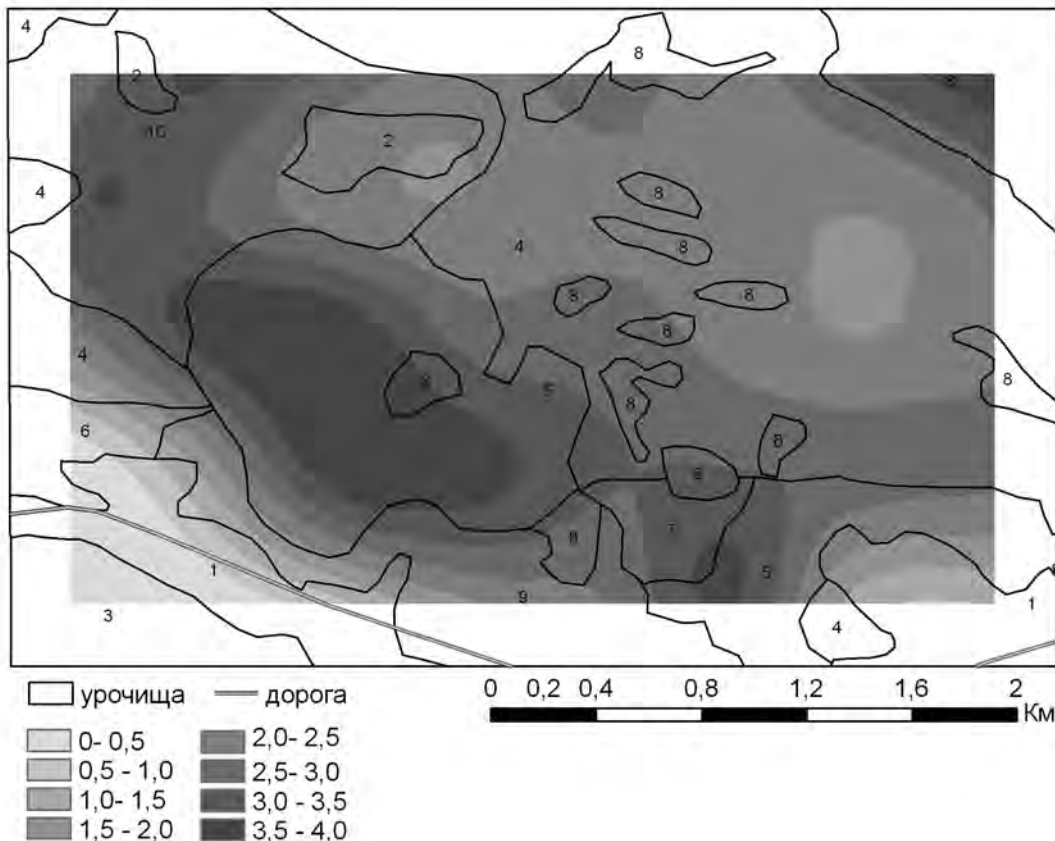


Рис. Карта интенсивности антропогенной нагрузки ключевого участка «Иксинское болото». Условные обозначения: А Урочища суходольных лесов: 1 – Волнистые осиново-березовые разнотравные на дерново-подзолистых суглинистых почвах; Б Урочища заболоченных лесов: 2 – Мелкокочковатые березово-сосновые на торфяно-глеевых суглинистых почвах; В – Урочища мезотрофных болот: 3 – Кочковатые березово-соновые сфагновые на торфяных почвах, 6 – Кочковатые сосново-березовые на торфяных почвах; Г Выгоревшие олиготрофные болота и заболоченные леса: 4 – Крупнокочковатые сосново-кустарничково-сфагновые с отдельными сгоревшими стволами на торфяных почвах, 5- Волнистые березово-травяные с выгоревшими соснами на торфянисто-оподзоленных грунтово-глееватых почвах, 7 – Крупнокочковатые березово-сосновые кустарничково-сфагновые с выгоревшими соснами на торфяных почвах, 8 - Крупнокочковатые сосново-березовые травяные с выгоревшими соснами на торфяных почвах, 9 – Кочковатые березово-сосновые кустарничково-сфагновые с отдельными сгоревшими стволами сосны на торфяных почвах, 10 – Крупнокочковатые сосново-березовые травяные с выгоревшими соснами на торфянисто-оподзоленных грунтово-глееватых почвах

1. Базанов В. А., Егоров Б. А., Лыготин В. А., Скугарев А. А. Современная пространственная динамика Большого Васюганского болота (на примере междуречья рек Икса-Шегарка) // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. - Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. - 230 с.
2. Синюткина А.А. Геоинформационное моделирование состояния и динамики болотных ландшафтов: методические положения. - Томск: РГ «Графика», 2013. - 28 с.

АНАЛИЗ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ БОЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

PHITOCENOTIC INDICATORS ANALYSIS OF TOMSK REGION ANTHROPOGENIC CHANGE MIRE GEOSYSTEMS

*А.А. Синюткина**, *Л.П. Гашкова*
*A.A. Sinyutkina**, *L.P. Gashkova*

ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
 Россельхозакадемии, Томск, Россия
 Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia
 *E-mail: ankalaeva@yandex.ru

На территории Томской области, в особенности в ее южных районах, расположено множество болот, измененных в результате хозяйственного освоения территории. В настоящее время многие разрабатываемые во второй половине 20 века торфяные месторождения являются бросовыми землями, что часто ведет к неблагоприятным экологическим последствиям, в том числе торфяным пожарам. Антропогенная нагрузка приводит к изменениям всех компонентов и нарушению межкомпонентных связей внутри болотной геосистемы, при этом одним из чутких индикаторов этих процессов является растительный покров, что и определило цель исследования - провести оценку последствий антропогенной деятельности в пределах болотных геосистем Томской области на основе анализа фитоценологических показателей болот.

Изучение растительного покрова антропогенно нарушенных болотных геосистем проводилось с использованием следующих фитоценологических показателей: видовой состав, запас надземной фитомассы, поярусное проективное покрытие, количество видов. Исследования растительного покрова проведены на болотах, подвергшихся следующим антропогенным нарушениям: вырубке под ЛЭП, подтопления вследствие строительства дорог, проведение осушительной

мелиорации, торфодобычи, также изучены процессы восстановления после прохождения торфяных пожаров на осушенных болотах (всего 55 антропогенно нарушенных участков). Кроме того, исследования проведены на аналогичных им естественных участках болот.

В результате проведенных исследований были выявлены следующие особенности фитоценологических показателей антропогенно нарушенных болотных геосистем. Для осушенных участков сосново-кустарничково-сфагновых верховых болот отмечено увеличение по сравнению с естественными участками проективного покрытия яруса подроста. Также в последствии осушения произошло увеличение видового разнообразия за счет сохранения прежнего видового состава и появления видов, характерных для более сухих местообитаний – *Pinus sibirica* Du Tour, кустарничков (*Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium myrtillus* L.), лишайников (рисунок 1).

Вследствие вырубки под ЛЭП на верховых сосново-кустарничково-сфагновых болотах произошло уменьшение видового разнообразия, значительное увеличение по сравнению с естественными болотами проективного покрытия яруса подроста за счет интенсивного возобновления древесного яруса, увеличение доли травяного покрова при уменьшении кустарничкового, что

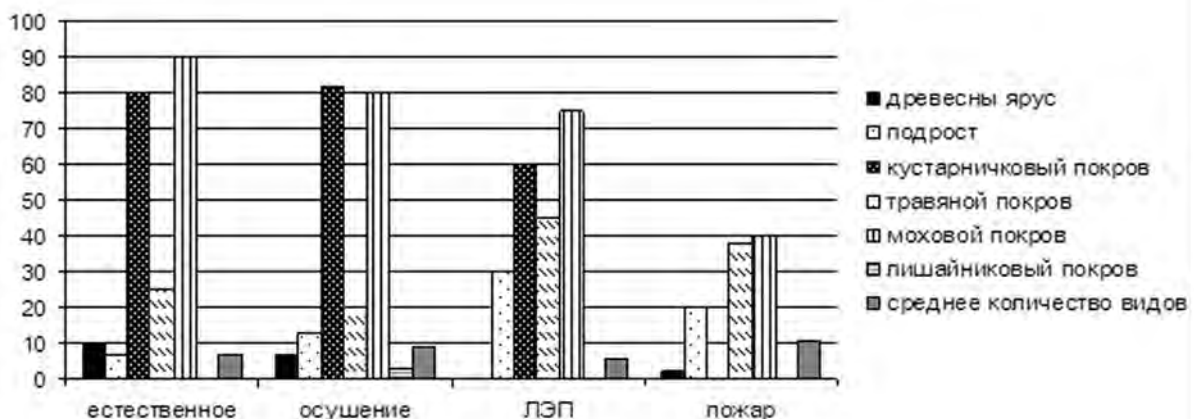


Рис. 1. Компонентный состав растительного покрова сосново-кустарничково-сфагнового верхового болота (проективное покрытие)

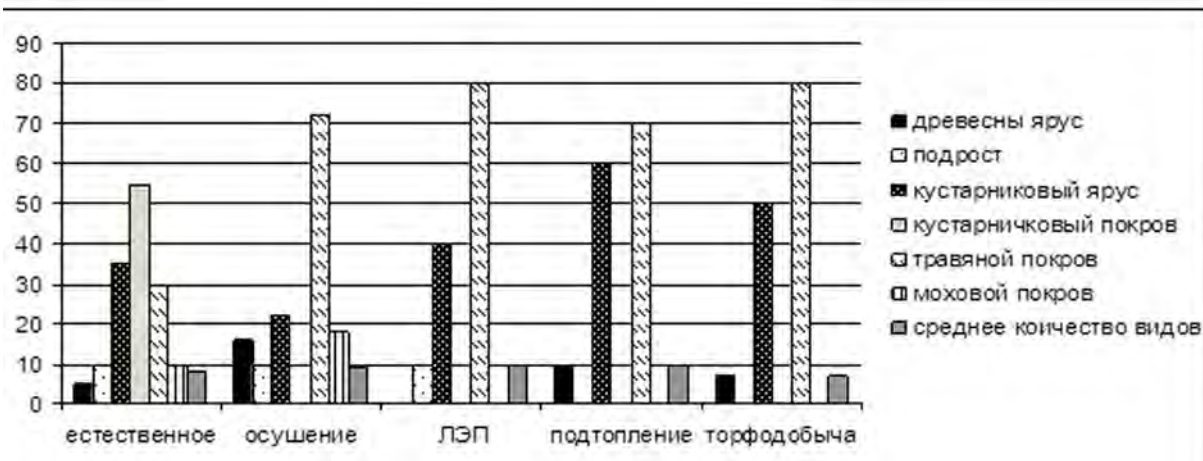


Рис. 2. Компонентный состав растительного покрова низинного болота (проективное покрытие)

может быть связано с нарушением поверхности вследствие прохождения тяжелой техники. После прохождения торфяных пожаров наблюдается значительное изменение видового состава и возрастание видового разнообразия за счет увеличения минерализации болотных вод, уменьшение проективного покрытия древесного яруса за счет выгорания прежней растительности (сосны), но в то же время на большинстве участков наблюдается значительное увеличение проективного покрытия яруса подроста (сосна, береза) (рисунок 1).

При антропогенной нагрузке в пределах древесно-кустарниково-травяных низинных болот отмечено замещение моховой растительности травяной и значительное увеличение проективного покрытия травяным ярусом (рисунок 2).

Вследствие антропогенной нагрузки, связанной с понижением уровня болотных вод наблюдается уменьшение проективного покрытия кустарниковым ярусом. При подтоплении у дорог и на участках торфодобычи напротив отмечено зарастание территорий ивами. При вырубке под ЛЭП по сравнению с верховыми болотами восстановление древесного яруса происходит менее

интенсивно и отмечается замещение древесного яруса кустарниковым.

В пределах древесно-травяно-моховых переходных болот рассмотрено влияние осушительной мелиорации и подтопления. При подтоплении отмечено замещение мохового покрова травяным. Осушительная мелиорация способствовала увеличению проективного покрытия кустарниковым ярусом при уменьшении проективного покрытия травяным и моховым ярусами. В целом для данного вида болот характерно незначительное уменьшение видового разнообразия (рисунок 3).

Кроме того, для изучения последствий антропогенной нагрузки на болота проведена оценка наземной фитомассы, которая позволила выявить значительные изменения, происходящие на болотах, подвергшихся осушению и последовавшим за ними пожарами и торфодобычей. При осушении болот низинного типа значительно изменяется не только фитомасса, но и видовой состав растительного покрова. Кустарниковый ярус исчезает совсем, уменьшается количество мхов, но увеличивается фитомасса травяного и древесного яруса (рисунок 4). После

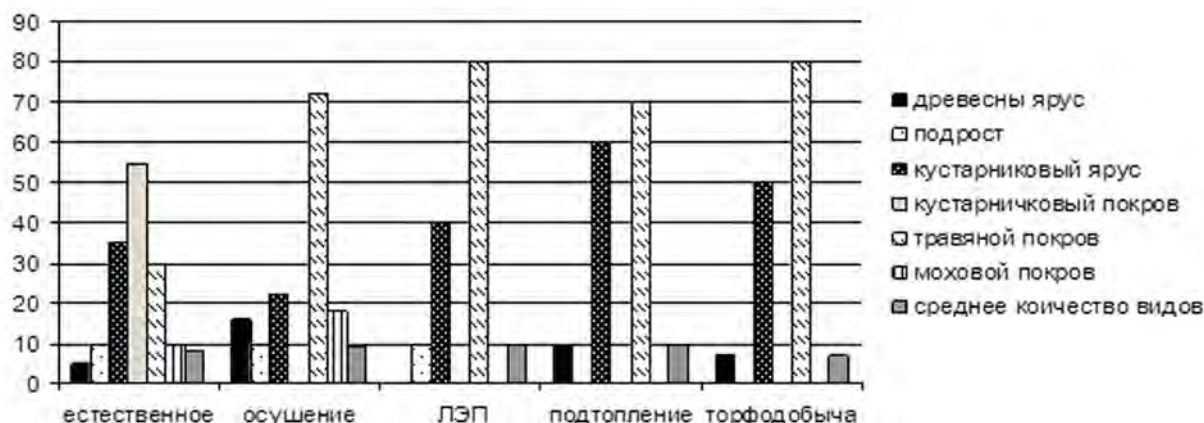


Рис. 3. Компонентный состав растительного покрова древесно-травяно-мохового переходного болота

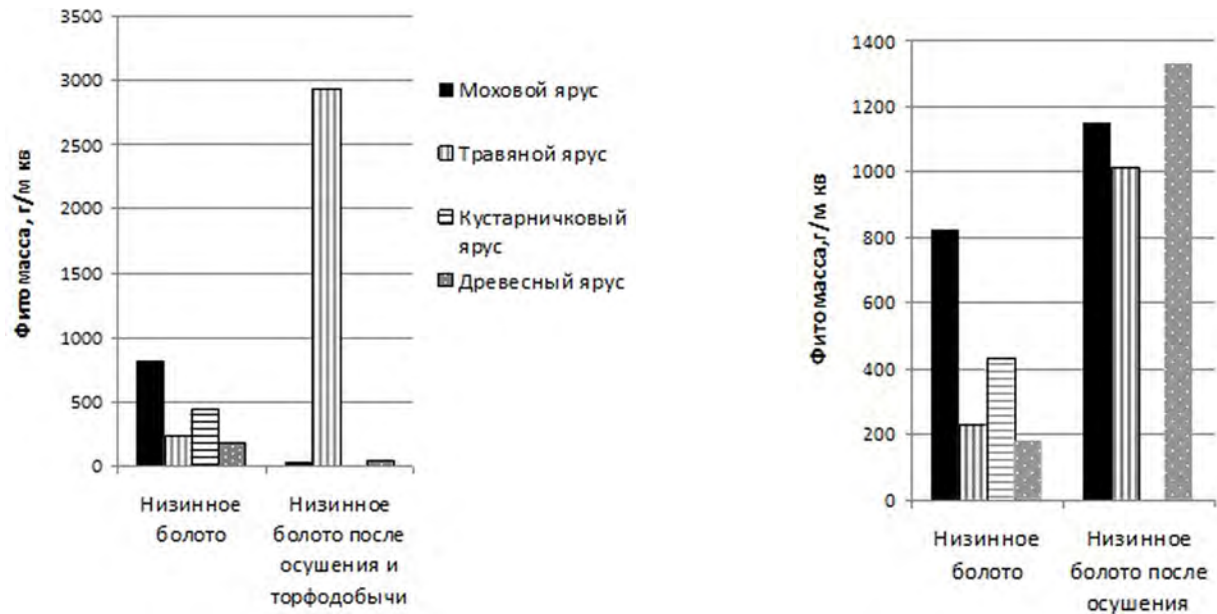


Рис. 4. Изменение наземной фитомассы по ярусам низинного болота после антропогенной нагрузки

осушения исчезают болотные виды – *Eriophorum polystachion* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Comarum palustre* L., резко уменьшается фитомасса осок, появляются в большом количестве хвощи и злаки. Сфагновые мхи полностью замещаются зелёными. Торфодобыча кардинально меняет фитоценоз, так как прежняя растительность уничтожается полностью, замещаясь сорными и лесными видами.

На низинном болоте фитомасса трав и деревьев резко увеличивается, при этом почти теряется моховой ярус. Возрастает видовое разнообразие травянистых растений, появляются – *Galium boreale* L., *Centaurea scabiosa* L., *Cirsium setosum*

(Willd.) Bess., *Urtica dioica* L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch., *Achillea millefolium* L., *Rumex confertus* Willd., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Elytrigia repens* (L.) Nevski.

Наиболее частым последствием осушительной мелиорации являются торфяные пожары. По-разному сказываются результаты осушения и пожара на растительность высоких и низких ярусов. В сосново-кустарничкового-сфагновых болотах последствия пожаров сказываются, в первую очередь, на уменьшении фитомассы сосны. На месте высоких ярусов, кроме обычных видов, появляются *Salix caprea* L. и лесные травы – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Lathyrus*

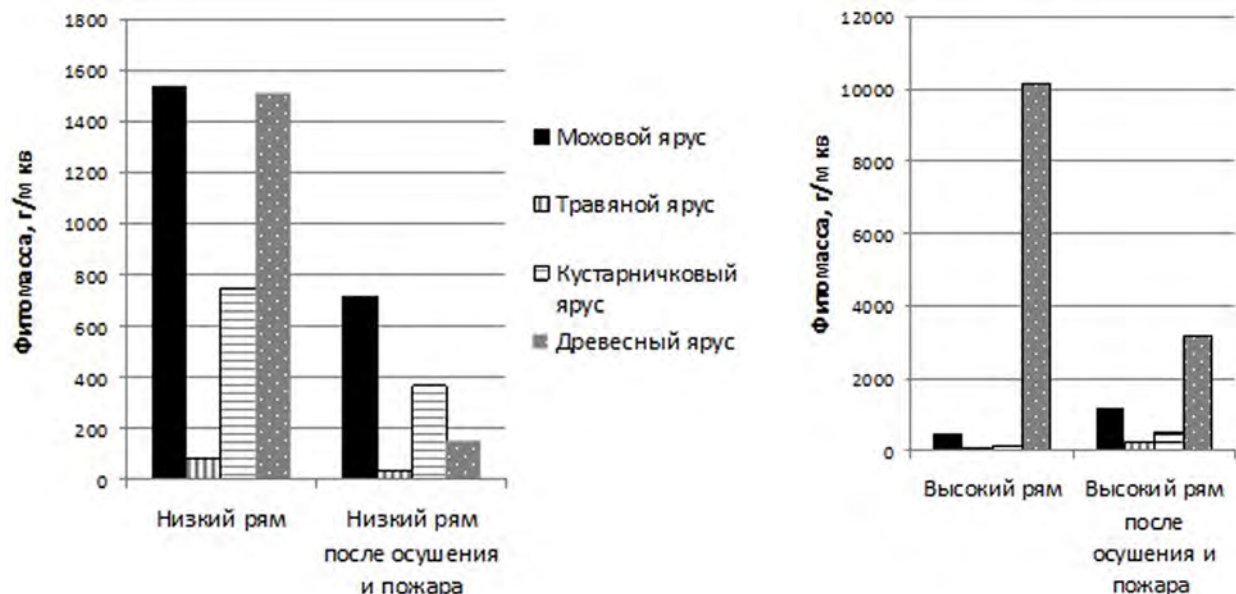


Рис. 5. Изменение наземной фитомассы по ярусам верхового болота после антропогенной нагрузки

palustris L., *Lathyrus gmelinii* Fritsch., *Equisetum fluviatile* L., *Equisetum sylvaticum* L. Значительно увеличивается фитомасса всех нижних ярусов, особенно мохового и кустарничкового. В низких рямах также уменьшается фитомасса древесного яруса. Но, в отличие от высоких рямов, уменьшается и количество мхов, кустарничков и трав (рисунок 5). Видовой состав растительного покрова остаётся прежним.

Анализ растительного покрова антропогенно нарушенных болот показал, что хозяйственная деятельность оказывает значительное влияние на видовой состав, проективное покрытие и наземную фитомассу растительности разных жизненных форм, что определяется главным образом изменениями уровней и минерализации болотных вод. При вырубках под ЛЭП на верховых болотах произошло увеличение проективного покрытия яруса в 3 раза по сравнению с естественными участками, при уменьшении значений проективного покрытия кустарничками и мхами на 20 %. Подтопление способствовало зарастанию ивами и влаголюбивыми травами.

Отмечено увеличение проективного покрытия кустарничкового и травяного ярусов в 2 раза по сравнению с естественными участками. Осушение в пределах верховых болот привело к увеличению проективного покрытия яруса подроста в 2 раза и появлению лишайников, и уменьшению проективного покрытия мхами на 10 %. Осушение низинных болот оказало большее влияние на структуру растительного покрова. Произошло увеличение проективного покрытия древесным ярусом в 3 раза, уменьшение проективного покрытия мхами в 2 раза и общее увеличение фитомассы на 50 %. Торфодобыча привела к полному уничтожению древесной растительности и значительному увеличению проективного покрытия и запасов фитомассы травяного яруса (в 8-9 раз). Таким образом, на всех рассматриваемых видах болот произошло изменение значений проективного покрытия и фитомассы мохового и древесного ярусов. Из этого следует, что моховая и древесная растительность является наиболее чутким индикатором антропогенных воздействий в пределах болот.

ДИНАМИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2008-2012ГГ

DYNAMICS OF EMERGENCE OF PEAT FIRES IN THE TOMSK REGION, 2008 TO 2012

*И.Р. Хакимов**, *А.А. Синюткина*

*I.R. Khakimov**, *A.A. Sinyutkina*

ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа

Россельхозакадемии, Томск, Россия

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAAS, Tomsk, Russia

E-mail: haka111983@mail.ru

ГНУ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа Россельхозакадемии, haka111983@mail.ru

В условиях Томской области, где более половины территории занимают болота, особенно актуальна проблема торфяных пожаров. В засушливые годы, когда сумма осадков за пожароопасный период оказывается значительно меньше среднесуточных данных, на болотах и заболоченных лесах может происходить углубление огня низового пожара в нижние слои почвы, вызывая тем самым возникновение торфяного (подземного) пожара. Отдельные торфяные пожары носят катастрофический характер,

вызывая существенные изменения природной среды и сукцессионные смены растительного покрова (Евсеева и др., 2012). Целью наших исследований является выявление закономерностей возникновения и размещения торфяных пожаров на территории Томской области на основе геоинформационного моделирования с использованием данных департамента лесного хозяйства и карты болотных геосистем на рассматриваемую территорию (Евсеева и др., 2012).

По данным Управления лесами на территории Томской области в период с 2008 по 2012 год произошло 23 торфяных пожара разной степени интенсивности на общей площади около 100 га

Таблица. Сведения о торфяных пожарах на территории Томской области за 2008-2012 гг.

№	Административный район	Ближайший населенный пункт	Дата	Площадь пожара, га
1	Томский	Тимирязевское	25.07.2008	5,0
2	Томский	Тимирязевское	03.06.2008	4,0
3	Томский	Тимирязевское	14.08.2008	1,0
4	Томский	Тимирязевское	24.07.2008	0,05
5	Томский	Тимирязевское	19.07.2009	0,62
6	Томский	Тимирязевское	07.05.2009	0,01
7	Томский	Тимирязевское	07.09.2009	0,01
8	Томский	Тахтамышево	20.06.2009	5,5
9	Томский	Березоречка	22.06.2009	10,5
10	Кожевниковский	Базой	07.10.2010	0,5
11	Томский	Курлек	19.06.2010	10,5
12	Томский	Тимирязевское	21.07.2010	0,4
13	Томский	Тахтамышево	15.09.2010	0,04
14	Кожевниковский	Чилино	05.09.2010	0,02
15	Кожевниковский	Базой	20.09.2010	0,01
16	Кожевниковский	Базой	07.10.2010	0,01
17	Томский	Тимирязевское	16.05.2011	0,9
18	Шегарский	Новоильинка	02.09.2011	0,5
19	Томский	Тимирязевское	08.07.2011	0,33
20	Томский	Курлек	11.06.2012	17
21	Томский	Курлек	22.06.12	12
22	Томский	Моряковский Затон	22.05.12	9
23	Томский	Тимирязевское	14.05.12	20

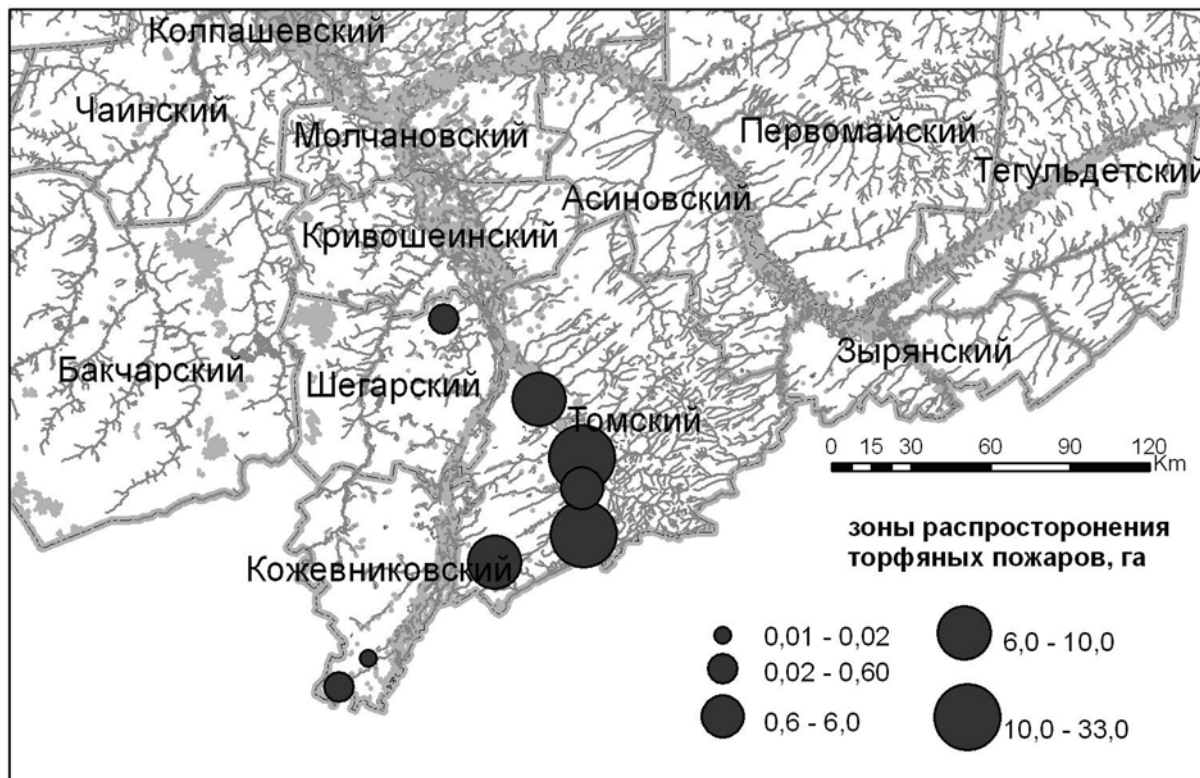


Рис. 1. Схема распределения площадей торфяных пожаров по административным районам Томской области (2008-2012 гг)

(таблица). Торфяные пожары были зафиксированы в наиболее заселенных и хозяйственно освоенных районах Томской области – Томском, Кожевниковском, Шегарском (рисунок 1). В этих же районах сосредоточена основная часть антропогенно измененных болот – участки гидро-мелиорации и торфодобычи. Основная часть произошедших пожаров сосредоточена в окрестностях г. Томска в районе с. Тимирязевское и Курлек. Эти территории являются местом отдыха и сбора дикоросов местным населением и поэтому наиболее вероятная причина этих пожаров – неосторожное обращение с огнем и не затушенные костры местным населением.

На распространение торфяных пожаров оказали влияние погодные условия за летний период. Средние летние температуры за рассматриваемый период находились в пределах или с незначительными отклонениями от нормы и составили 15-16 °С, в 2012 году 18-19 °С (рисунок 2). Большие различия от года к году характерны для осадков за летний период. Наиболее увлажненным является лето 2011 года, для которого отмечено наименьшее количество очагов торфяных пожаров (3 очага) и наименьшая площадь их распространения. При количестве выпавших осадков около и ниже нормы количество пожаров и площадь их распространения значительно больше по сравнению с влажным 2011 годом. Особенно это заметно по 2012 году, где

наблюдалось наименьшее количество осадков за рассматриваемый период. Коэффициент корреляции между значениями площади торфяных пожаров и осадков за летний период составил -0,9.

Таким образом, наибольшее количество пожаров за рассматриваемый период произошло на наиболее освоенных и заселенных территориях Томской области. Большая часть пожаров произошла на антропогенно измененных болотах. На количество и площадь распространения пожаров оказывают влияние погодные условия летнего периода, в большей мере количество



Рис. 2. Влияние климатических особенностей на распространение пожаров Экологический мониторинг, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013гг.

выпавших атмосферных осадков. Следует также отметить, что количество торфяных пожаров в пределах района не зависит от общей площади заболоченности.

Выражаем особую благодарность начальнику департамента лесного хозяйства по Томской области Заблоцкому Владимиру Ильичу за предоставление данных о торфяных пожарах за 2008 – 2012гг.

1. Евсева Н.С, Синюткина А.А, Харанжевская Ю.А, и др. Ландшафты болот Томской Области. - Томск: НТЛ, 2012. - 400 с.
2. Крутовский А.О, Мангазеева Т.Н, Гаврилова Г.В, Захарова Л.Г. Климатические особенности 2007 - 2008 годов территории Томской области / Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2008 году. - 2009. - С. 14-16.
3. Крутовский А.О, Мангазеева Т.Н, Гаврилова Г.В, Захарова Л.Г. Метерологические особенности 2008 – 2009 года по территории Томской области / Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2009 году. - 2010. - С. 14-18.
4. Крутовский А.О, Мангазеева Т.Н, Захарова Л.Г, Коняшкин В.А, Климатические особенности 2010 года по Томской области / Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2010 году. - 2011. - С. 16-19
5. Крутовский А.О, Рюхтина С.В, Коняшкин В.А. Климатические особенности 2011 года по Томской области / Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году. - 2012. - С. 82-86.
6. Крутовский А.О, Рюхтина С.В, Коняшкин В.А. Климат / Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области. - 2013. - С. 20-24.

ТРАНСФОРМАЦИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТОМСКОГО ВОДОЗАБОРА THE TRANSFORMATION OF MIRE ECOSYSTEMS IN TOMSK GROUNDWATER INTAKE AREA

Н.А. Чернова*, Н.Н. Пологова
N.A. Chernova*, N.N. Pologova

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

*E-mail: naitina@rambler.ru

Антропогенный фактор оказывает существенное влияние на многие природные ландшафты, затрагивая и такие уникальные экосистемы как болота. Часто хозяйственная деятельность человека сказывается не только на отдельных компонентах, но и ландшафте в целом, вызывая изменения природной среды на значительных территориях. Комплексное воздействие сельскохозяйственного освоения земель, вырубки лесов и мелиоративных работ на болотных массивах наряду с климатическими тенденциями приводит к существенной перестройке гидрологического режима отдельных территорий. На Обь-Томском междуречье одним из основных негативных факторов является влияние Томского водозабора. Длительная эксплуатация крупнейшего в России водозабора г. Томска, продолжающаяся с 1972 г., и значительные объемы водоотбора (220 тыс. м³/сут.) из подземного водоносного слоя привели к изменению уровня грунтовых вод и формированию воронки депрессии (Дюкарев, Пологова, 2009). Особенности рельефа территории обусловили наибольшую степень трансформации природных комплексов в долинах древнего стока и террасах, примыкающих к первой линии водозабора, тогда как на древних равнинах с суглинистыми отложениями и ландшафтах, сложенных слоистыми отложениями, процессы обсыхания проявляются намного слабее (Дюкарев и др., 2002).

Процессы трансформации болотных экосистем под воздействием Томского водозабора изучались нами на небольших котловинных болотах Обь-Томского междуречья в 2000–2002 гг. и 2007 г. Детальное изучение пространственных смен фитоценозов проводилось на ландшафтно-экологических профилях. Для оценки степени иссушения в переходных полосах проводилось исследование динамики водного режима почв до глубины 3-х метров (Дюкарев, Пологова, 2009). Для выявления особенностей прогревания торфяных почв разной степени деградации, отмечалась динамика температуры на поверхности и глубинах 10, 25, 50 и 100 см. Чтобы проследить временные смены растительных сообществ, был

сделан ботанический анализ 8 торфяных колонок (мощностью до 520 см), верхний горизонт которых отражает состояние болотных экосистем до их трансформации.

Обсыхание ложбин древнего стока и террас привело к сокращению площадей болотных массивов, ускоренной минерализации и просадке торфяных залежей, изменению структуры и флористического состава фитоценозов вплоть до катастрофических смен растительных сообществ. Степень проявления этих процессов в разных болотных экосистемах зависит в основном от мощности торфяной залежи и размера болотных массивов. На мелкозалежной периферии болот (мощность торфа до 1 м) деградация идет быстрее, чем в центральной части (мощность торфа 2–5 м) и резче выражена на небольших массивах. Дневные и сезонные циклы температур, регулирующие микробиологические реакции, разложение органического вещества и расход элементов питания, зависят от гидрологических особенностей болотных местообитаний и сильно отличаются в торфяных почвах разной степени иссушения. Различия теплопроводности таких почв в разные сезоны года объясняются резким уплотнением торфа с глубины 40–50 см при пористости верхнего торфяного горизонта 0,75–0,80 (в сфагновом очесе – не менее 0,85).

В рьяках, сформировавшихся в местообитаниях с торфяным горизонтом более 2,5 м, выявлена наименьшая среди всех обследованных фитоценозов трансформация структуры и состава, проявляющаяся однако во всех ярусах растительных сообществ. При обсыхании таких сосново-кустарничково-сфагновых олиготрофных фитоценозов в древостое постепенно изменяется габитус болотной формы сосны (*Pinus sylvestris f. litwinowii*), приближающийся к лесному, у части особей из-за резкого увеличения ежегодных приростов формируется луковцеобразная форма кроны. В подросте появляется небольшое количество березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.). В густом кустарничковом ярусе *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench становится абсолютным доминантом яруса. Мхи, как бескорневые

растения, наиболее резко реагируют на изменения гидрологического режима болот и при обсыхании в исходном сплошном сфагновом покрове с преобладанием *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. (верхние горизонты торфяных залежей сложены фускум-торфом) появляются небольшие деградированные участки, лишенные мохового покрова. Более или менее резко снижается обилие как гигрофильных, так и гидромезофильных сфагнумов, по мере их отмирания увеличивается площадь, занимаемая лесными мезофильными мхами – плеврозиумом Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) и дикранумом многоножковым (*Dicranum polysetum* Sw.), а также появляются мелкие пятна различных кладоний (*Cladonia deformis* (L.) Hoffm., *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda. и др.). Суммы активных температур на поверхности таких слабо трансформированных ям составляют около 1700°C, но характерны высокие значения температурного градиента в течение всего вегетационного периода, а прогрев верхнего торфяного горизонта (до 25 см) наступает позже, чем в топи.

В ямочных и рослячковых сообществах, расположенных ближе к периферии болотных массивов и приуроченных к местообитаниям с небольшой мощностью торфяной залежи, береза пушистая присутствует в небольшом обилии в составе древесного яруса, а в естественном возобновлении она по количеству уже превышает численность соснового подростка. В моховом покрове практически выпадает *Sphagnum fuscum*, на отдельных отмирающих кочках которого поселяются лишайники, увеличивается доля лесных зеленых мхов, *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaegr. и политрихума сжатого (*Polytrichum strictum* Brid.).

Более выраженные сукцессионные смены при обсыхании территории протекают в наиболее обводненных топяных местообитаниях. Нами выявлено, что именно здесь в первую очередь появляются видимые признаки изменения гидрологического режима болотных массивов – более резкие изменения в составе и структуре топяных фитоценозов, чем в рямах. Соответственно, именно растительные сообщества топей могут служить индикаторами изменения гидрологического режима болота в целом.

Слабо нарушенные осоково-сфагновые мезоолиготрофные топи приурочены к краевым обводненным участкам более крупных болотных массивов. На их поверхность поступает наибольшее количество тепла (суммы активных температур 1940°C), торф раньше и быстрее прогревается, а температурные градиенты по слоям в вегетационный сезон имеют самые низкие значения. Основным индикатором обсыхания является появление в ранее безлесных топяных

местообитаниях редкого подростка березы пушистой с примесью сосны обыкновенной высотой до 0,5–1,5 м. В то же время, в травяном ярусе сохраняется доминирующее положение *Carex lasiocarpa* Ehrh. с примесью *C. rostrata* Stokes, а в рыхлом сплошном моховом покрове преобладают гидрогигрофитные *Sphagnum jensenii* H.Lindb. и *S. majus* (Russ.) C.Jens. Интересно отметить, что до обсыхания болота в осоково-сфагновых топяных сообществах с высоким обилием встречалась *Scheuchzeria palustris* L. (отлагался осоково-шейхцериевый торф), обилие которой к настоящему моменту резко сократилось и не превышает 5% площади фитоценозов, что связано вероятно с менее стабильным гидрологическим режимом и меньшей обводненностью местообитаний.

В наиболее трансформированной части Обь-Томского междуречья в топяных местообитаниях небольших котловинных болот произошла катастрофическая смена растительных сообществ – на месте шейхцериево-осоковых, осоково-сфагновых, осоково-вахтовых и пушицево-вахтово-осоковых фитоценозов (названия фитоценозов даны по ботаническому составу торфа) в настоящий момент сформировались сосновые мертвопокровные леса (Чернова, 2011). Это связано с иссушением торфяного пласта небольших мелкозалежных болотных массивов на всю глубину, значительной просадкой залежи и неблагоприятным для формирования напочвенного покрова резкопеременным режимом увлажнения переосушенного верхнего торфяного горизонта. Кроме того, торфяная иссушенная почва является самой холодной, т.к. до активных температур (>10°C) на глубине 50 см не прогревалась. В таких местообитаниях сформировался древесный ярус из сосны обыкновенной нередко с небольшой примесью березы. Редкий подрост представлен порослевым возобновлением березы пушистой, сосной обыкновенной и сосной кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), растущей в трещинах торфа. Под пологом древостоя очень медленно идет процесс заселения торфа – постепенно формируются небольшие участки с рыхлыми зарослями *Calamagrostis phragmitoides* C.Hartm., единично, обычно по небольшим повышениям микрорельефа и отдельным мелким кочкам политрихума сжатого встречаются *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Orthilia secunda* (L.) House, а по трещинам торфяного пласта – *Carex globularis* L. и *C. canescens* L.

Ближе к периферии таких болот формируется осоково-зеленомошная полоса соснового леса по иссушенному торфу, где появляется рыхлый кустарничковый ярус, резко увеличивается обилие *Carex globularis* (до 20–30%), формируется рыхлый моховой покров с преобладанием политрихума сжатого и примесью лесных

зеленых мхов. На границе между гривой и краем болотного массива по тонкому слою почти полностью разложившегося торфа сформировались кустарничково-зеленомошные сосняки, для которых характерно высокое обилие *Ledum palustre* L., значительная примесь *Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L., доминирование плеврозиума Шребера и дикранума многоножкового в рыхлом пятнистом моховом покрове (проективное покрытие до 40%).

Наиболее интересна и динамична экотонная полоса между рямовыми и топяными фациями, представленная клумбово-топяным комплексом (Платонов, 1976). В напочвенном покрове небольших по площади, но довольно высоких рямовых элементов в моховом покрове произошла смена доминантной группы с гидрофильных и гидромезофильных сфагнумов, полностью выпадающих из состава фитоценозов, на мезофильные лесные зеленые мхи, среди которых преобладает плеврозиум Шребера (проективное покрытие 85–90%). В окружающей рямовые бугры мезоолиготрофной осоково-сфагнуовой топи появляется довольно много подроста сосны обыкновенной и березы пушистой, увеличивается обилие кустарничков (в основном *Andromeda polifolia* L.), отмирает часть осок. Также, как и в

рямовом элементе комплекса, наиболее резкие изменения происходят в моховом покрове топяного элемента – снижается общее покрытие мхов, содоминантами наряду с типичными топяными сфагновыми мхами (*Sphagnum jensenii*, *S. majus* и др.) становятся *Polytrichastrum longisetum* (Sw. ex Brid.) G. Smith и политрихум сжатый (обилие до 30%).

Таким образом, трансформация болотных экосистем при обсыхании Обь-Томского междуречья наиболее резко проявляется в изменении состава и структуры мохового покрова, где болотные гидрогигрофильные и гигрофильные сфагнумы замещаются менее требовательными к влаге лесными гидромезофильными и мезофильными видами. Ослабление болотообразовательного процесса при обсыхании территории привело к усилению лесообразовательного процесса – увеличению количества подроста в рямах и формированию молодых древостоев в бывших топях. По градиенту снижения обводненности местообитаний отмечается более позднее прогревание торфяной почвы и увеличение температурных градиентов по слоям в течение вегетационного периода. Сильное иссушение торфяных залежей повышает класс пожароопасности территории.

1. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Водный режим почв в зоне влияния Томского водозабора // Вестник Томского государственного университета. - 2009. - № 324. - С. 363–371.
2. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Базанов В.А., Лыгин В.В., Свечников Д.А., Чернова Н.А., Горбов Е.В. Состояние природной среды в зоне действия Томского водозабора. В сб.: ENVIROMIS: Измерение, моделирование и информационные системы как средства снижения загрязнения на городском и региональном уровне. Труды международной конференции. - Томск, 2002. - С. 244–251.
3. Платонов Г.М. Болота северной части междуречья Оби и Томи. В сб.: Заболоченные леса и болота Сибири. - Москва: Изд-во АН СССР, 1963. - С. 65–95.
4. Чернова Н.А. Трансформация растительного покрова топяных местообитаний болот при обсыхании территории Обь-Томского междуречья // Вестник Томского государственного университета. Серия биология. - 2011. - № 1. - С. 61–74.

РЕАЛИЗАЦИЯ БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В БЕЛАРУСИ IMPLEMENTATION OF BIOSPHERE COMPATIBLE TECHNOLOGIES OF RESTORATION OF CUT-AWAY PEATLAND AREAS IN BELARUS

А.П. Яковлев
A.P. Yakovlev

ГНУ Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
PRI Central Botanical Garden National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus
E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Поскольку природные комплексы и, в первую очередь, болота и торфяные месторождения – это мощный фактор формирования благоприятной окружающей среды и источник ценных природных ресурсов для жизни общества, то важнейшим принципом природопользования на них должно быть соблюдение экологических и экономических интересов с приоритетом первых. Высшей формой научно обоснованного природопользования является биосферносовместимое природопользование, под которым понимается такое использование природных ресурсов и особенно торфяных месторождений, когда естественные биосферные процессы и циклы на них либо не нарушаются вообще, либо нарушаются только на ограниченное время, например, на период разработки торфяников, после чего они должны восстанавливаться в оптимальном объеме (Биосферно-совместимое..., 2003).

Существующие подходы в использовании территорий выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений, по распространенному мнению, находятся в противоречии с биосферными процессами, не соответствуют современным методам хозяйствования и природопользования и нуждаются в пересмотре, с учетом новых научных знаний. В этой связи одной из первоочередных задач является исследование степени влияния торфодобычи на окружающую среду и разработку на этой основе конкретных мероприятий по минимизацию отрицательных последствий освоения торфяных месторождений с учетом региональных природных особенностей.

Разработка системы мер в этом направлении диктуется не только потребностью восстановления нарушенных земель и возвращения их во вторичный хозяйственный оборот, чем будет обеспечено возмещение нанесенного ущерба, но и необходимостью долговременного поддержания установившегося в природе баланса органического углерода и кислорода атмосферы, за счет функциональной роли древесной, кустарниковой и травянистой растительности.

Освоение торфяных и выработанных почв – процедура весьма длительная и энергоемкая, однако восстановление ухудшенных и

деградирующих из-за неправильного использования торфяных почв процесс еще более сложный и многоэтапный. Практика вторичной рекультивации этих земель показывает, что полностью восстановить плодородие практически невозможно, однако отдельные попытки “реанимации” гидроморфных почв, предпринимаемые отечественными и зарубежными учеными в разных почвенно-климатических зонах, свидетельствуют о том, что путем комплексного использования различных приемов можно существенным образом стабилизировать процесс деградации и улучшить свойства почвы (Макаренко, Кукушкина, 2010; Общие требования ..., 2012).

Достаточно эффективным способом восстановления потенциала плодородия нарушенных в процессе добычи торфа земель в условиях Беларуси является их биологическая рекультивация на основе создания культурных фитоценозов болотных ягодных растений (Вересковые ..., 2010; Рупасова, Яковлев, 2011; Яковлев, 2013). Исследование эколого-биологических особенностей представителей данных видов, выполненное в 2002-2012 гг. в условиях опытной культуры на участках выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений в условиях Беларуси, позволили разработать технологию биологического этапа рекультивации выработанных площадей торфяных месторождений Беларуси на основе возделывания интродуцированных ягодных растений сем. *Ericaceae*.

Предлагаемая нами технология представляет комплекс высокоэффективных агротехнических приемов, отвечающих требованиям биологии представителей данного семейства и максимально способствующих реализации генетического потенциала их продуктивности, с учетом почвенно-климатических условий района культивирования.

Важнейшим аспектом данной проблемы является научное обоснование промышленного сортимента дикорастущих и интродуцированных таксонов сем. *Ericaceae*, обладающих наиболее высокой биологической продуктивностью, а также питательной и витаминной ценностью плодов и представляющих

в этом плане интерес для окультуривания этих земель.

На основании сопоставления у тестируемых объектов значений относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных разноориентированных отклонений от эталонных значений 14 биометрических показателей текущего прироста надземных частей растений, 4 морфологических параметров и 20 характеристик биохимического состава плодов подобран сортимент наиболее перспективных таксонов сем. *Ericaceae* для фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений северной и южной агроклиматических областей Беларуси (Научное обоснование ..., 2011; Научное обоснование ..., 2013).

Установлено, что Возделывание ягодных растений сем. *Ericaceae* на площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений оказывает существенное позитивное влияние на водно-физические и агрохимические свойства корнеобитаемой зоны субстрата, за счет высвобождения питательных элементов из прочносвязанного состояния в результате активизации деятельности микроорганизмов. Вместе с тем деструкционные процессы в зоне корневых систем вересковых не будут способствовать разрушению остаточного слоя торфа, поскольку направленность изменений биомассы микроорганизмов и интенсивности их дыхания в соответствующих им микробоценозах противоположна по знаку изменениям их целлюлозоразрушающей активности, что обеспечивает сбалансированность в нем процессов разрушения и накопления органического вещества.

Показана целесообразность внесения под эти малотребовательные к уровню агрохимического обеспечения ягодные культуры невысоких доз полного минерального удобрения, гарантирующего комплексное удовлетворение их потребностей в основных элементах питания. Использование методов компьютерного моделирования для установления зависимости доз азотных, фосфорных и калийных удобрений от величины планируемого урожая и содержания доступных элементов питания в субстрате, а также определение потребности вересковых в подкормках по данным листовой диагностики позволило разработать комплекс алгоритмов в программе «*AgLora_Ericaceae*» (Диалоговая ..., 2013), обеспечивающей синтез научных знаний и накопленного практического опыта при обосновании приемов оптимизации режима минерального питания таксонов вересковых, рекомендуемых для осуществления биологического этапа рекультивации выработанных площадей торфяных месторождений севера Беларуси, с учетом специфики их свойств.

На сегодняшний день опытно-производственные объекты рекультивированных участков выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений на основе возделывания ягодных растений созданы на общей площади около 15 га во всех агроклиматических областях республики. Сдерживающим фактором более масштабного проведения данных работ остается отсутствие заинтересованности администрации предприятий по добыче торфа в связи с относительно высокой стоимостью посадочного материала ягодных растений, особенно голубики, и возникающие проблемы постоянного контроля за их сохранностью, а также с затратами по уходу и содержанием растений до момента их вступления в период плодоношения. В рамках рассматриваемой проблемы имеются также недочеты в практической реализации работ по фиторекультивации из-за отсутствия нормативно-правовых актов, регламентирующих деятельность торфопредприятий в этой области. Для исправления существующего положения в 2014 году в Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь внесен на рассмотрение ТКП «Порядок и правила фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений при культивировании ягодных растений», регламентирующий ход проведения биологического этапа рекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений на основе возделывания интродуцированных ягодных растений подсем. *Vaccinioideae*.

Осуществление мероприятий по реабилитации данных территорий имеет также важное социальное значение, поскольку их результатом является восстановление отдельных компонентов природной среды и создание более комфортных условий для жизнедеятельности населения.

Резюмируя вышеизложенное, очевидно, что односторонне-потребительскому отношению к естественным ресурсам должна быть противопоставлена альтернативная стратегия восстановления фитоценозов, близких к разрушенным: многокомпонентных, продуктивных, стабильных во времени, экологически и экономически целесообразных в данной почвенно-климатической зоне. На наш взгляд, наиболее приемлемым вариантом является фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений республики на основе культивирования перспективных сортов клюквы и голубики. В пользу его целесообразности свидетельствует ряд убедительных аргументов, важнейшими из которых являются предотвращение пересыхания поверхности залежи, ослаблении ветровой эрозии, в результате культивирования малотребовательных к почвенному плодородию болотных

ягодных растений сем. Вересковые (*Ericaceae*), обеспечивающих высокий уровень проективного покрытия почвы и способных к плодоношению уже через 2-3 года после закладки ягодников. При этом посадки таких растений не меняют направления естественного хода сукцессии, а за счет получения высоковитаминной ягодной продукции, затраты на их создание достаточно быстро окупаются.

1. Биосферно-совместимое использование лесных и болотных экосистем (мировые тенденции и опыт Беларуси): научное издание / В.М. Подоляко и др.; пер. Н.Ю. Петров; Минприроды РБ, ПРООН, ГЭФ. – Минск: Полиграфт, 2003. – 190 с.
2. Вересковые при фиторекультивации выработанных торфяных месторождений / И.И. Лиштван и др. // Наука и инновации. – 2010. – № 11. – С. 29-35.
3. Диалоговая программа оптимизации режима минерального питания вересковых при культивировании на площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси / А.П. Яковлев и др. – Минск: БГАТУ, 2013. – 56 с.
4. Макаренко Г.Л. Совершенствование технологии комплексного освоения выработанных торфяников Центрального экономического района / Г.Л. Макаренко, Е.Е. Кукушкина // Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – М.: РАСХН – ГНУ ВНИИОУ, 2010. – С. 43-49.
5. Научное обоснование сортимента Вересковых для фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе культивирования таксонов с высоким содержанием полезных веществ в ягодной продукции: методические рекомендации / Ж.А. Рупасова и др. – Мн.: Право и экономика, 2011. – 31 с.
6. Научное обоснование сортимента таксонов рода *Vaccinium* для фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений южной части Припятского Полесья: методические рекомендации / Ж.А. Рупасова и др. – Мн.: БГАТУ, 2013. – 38 с.
7. Общие требования к сельскохозяйственному освоению и использованию торфяного массива, обеспечивающим его малодegradационное использование / Ю.А. Мажайский и др. // Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования; Под общ. ред. проф. Ю.А. Мажайского. – Рязань: РГАТУ, 2012. – С. 16-19.
8. Рупасова Ж.А. Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе возделывания ягодных растений сем. *Ericaceae* / Ж.А. Рупасова, А.П. Яковлев; под общ. ред. акад. В.Н. Решетникова. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 282 с.
9. Яковлев А.П. Технологические основы проведения фиторекультивации участка выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения Беларуси / А.П. Яковлев // Известия Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2013. – № 1(39). – С. 172-175.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

А

Аверина 353
 Авилов 197
 Адаменко 257
 Алексеева 43, 166
 Алексейчик 136
 Антипин 47
 Антипина 260
 Аутрей 18

Б

Бабешко 124
 Бадмажапова 299
 Базанов 50
 Бакка 302
 Балыбина 120
 Бамбалов 353
 Баранов 347
 Беленко 359
 Беспалова 332
 Березин 42, 50
 Биеньковски 226
 Бляхарчук 263, 265
 Булавко 155

В

Валяева 311
 Варлагин 197
 Веретенникова 157
 Вишнякова 160, 345
 Воистинова 305
 Войтехов 53, 308
 Волкова 39
 Вомперская 311
 Вомперский 311
 Воробьев 42

Г

Гаврилов 267
 Гашкова 56, 362
 Глаголев 163, 189
 Глухова 311
 Головацкая 166, 211
 Голубина 99
 Голубятников 169
 Гончарова 58
 Гопиус 339
 Грабовик 171
 Гренадерова 272
 Гришуткин 60, 90
 Громадка 226
 Гуммерт 339
 Гусев 317
 Гутак 257
 Гынинова 299

Д

Дацюк 315
 Десяткин 20
 Дёгтева 58
 Дитвалд 226
 Дитц 192

Дубровская 128
 Дучко 105, 353, 355
 Дюкарев А.Г. 18, 96
 Дюкарев Е.А. 18, 43, 144,
 157, 166

Е

Ерицов 317
 Ермолов 342
 Ерофеевская 63, 321
 Ефремов 65
 Ефремова 65

З

Завалишин 174
 Загирова 176
 Заров 139
 Захарова 20, 42

И

Иванов 197
 Иванова 68
 Игнатьев 324
 Инишева 27, 30, 214

К

Казанцев 169, 178
 Канцерова 71
 Карпенко 275
 Киселева 302
 Кирпотин 42
 Климин 278
 Кобелева 74
 Ковалева 326
 Козел 353
 Колесова 347
 Комарова 329
 Копотева 179, 194
 Копысов 78
 Коронатова 182, 186, 226
 Коротких 332
 Косых 182, 186, 226
 Кривенок 163, 189
 Крупко 347
 Кудряшова 192
 Кузнецов 80
 Кулумбегова 74
 Купцова 179, 194
 Кураев 20, 42
 Курбатова 197
 Курьина 263
 Кутенков 281

Л

Лапшина 27, 30, 139, 145
 Ларина 112, 214
 Лученок 335
 Лэйн 18

М

Магур 283
 Мазей 124

Макаров 339
 Максюттов 163, 189
 Малышева 124
 Махатков 342
 Мигловец 199
 Миляева 345
 Минаева 202
 Миронов 83
 Миронычева-Токарева
 160, 226, 345
 Михайлов 176
 Молчанов 204

Н

Наймушина 86
 Наумов 207, 210
 Неретина 90
 Никонова 211
 Носкова 347

О

Орлов 24

П

Панова 260
 Паршина 50
 Патова 218
 Петрова 93
 Пологова 43, 96, 263,
 265, 369
 Попова 332
 Порохина 99
 Потапова 102
 Прейс 43, 105, 286, 355
 Прудникова 289

Р

Ракович 353
 Родионова 272
 Рыбина 50
 Рыкова 12
 Рулева 347

С

Садков 24
 Семенова 350
 Сергеева 211
 Серебренникова 105,
 353, 355
 Сивков 218
 Синюткина 359, 362, 366
 Сирин 221, 223, 339
 Скугарев 50
 Смагин 108
 Смирнов 112
 Степанова 114
 Стойкина 281
 Стрельникова 105, 353,
 355
 Суворов 223
 Сысо 117

Т

Титлянова 226
 Тихомирова 226
 Трофимова 120

Ф

Филиппов 139, 145, 163

Х

Хазин 291
 Хазина 291
 Хакимов 366
 Харанжевская 305

Ц

Цыганов 124

Ч

Черепанова 93
 Чернова 263, 369
 Чистотин 223

Ш

Шадрин 329
 Шестакова 126
 Шеховцов 120
 Шибарева 226
 Шкутов 335

Щ

Щукова 128

Ю

Юрковская 132

Я

Яковлев АП 155, 372
 Яковлев АС 326

AUTHOR INDEX

- A**
 Adamenko 257
 Alekseeva 43, 166
 Alekseychik 136
 Antipin 47
 Antipina 260
 Aurela 136
 Autrey 18
 Averina 353
 Avilov 197
- B**
 Babeshko 124
 Badmazhapova 299
 Balybina 120
 Bakka 302
 Bambalov 353
 Baranov 347
 Barczy 240, 296
 Baužienė 295
 Bazanov 50
 Bednorz 16
 Belenko 359
 Berezin 42, 50
 Bepalova 332
 Bienkowski 226
 Bleuten 138
 Blyakharchuk 263, 265
 Bogacz 17, 235
 Borówka 244
 Borren 138
 Bulavko 155
- C**
 Cherepanova 93
 Chernova 263, 369
 Chistotin 223
 Czóbel 240, 296
- D**
 Datsiuk 315
 Degteva 58
 Desyatkin 20
 Ditwald 226
 Ditz 192
 Drzymulska 232, 248
 Dubrovskaya 128
 Duchko 105, 353, 355
 Dyukarev AG 18, 96
 Dyukarev EA 18, 43, 144, 157, 166
- E**
 Efremov 65
 Efremova 65
 Eritcov 317
 Ermolov 342
 Erofeevskaya 63, 321
- F**
 Filippov 139, 145, 163
 Foereid 139
 Fortuniak A. 152
 Fortuniak K. 141, 148, 152
 Forsyiaak 152, 244
- G**
 Gaca 27, 30, 33, 36
 Garestier 20, 42
 Gashkova 56, 362
 Gavrilo 267
 Glagolev 163, 189
 Gliina 17, 235
 Glukhova 311
 Golovatskaya 166, 211
 Golubina 99
 Golubyatnikov 169
 Goncharova 58
 Gopius 339
 Grabovik 171
 Grenaderova 272
 Gromadka 226
 Grishutkin 60, 90
 Guillaso 20
 Gummert 339
 Gusev 317
 Gutak 257
 Gyninova 299
 Gyulai 237
 Gyuricza 237, 296
- I**
 Ignat'ev 324
 Inisheva 27, 30, 214
 Ivanov 197
 Ivanova 68
- J**
 Januszewska 17
- K**
 Kancerova 71
 Karpenko 275
 Kazantsev 169, 178
 Kharanzhevskaya 305
 Khazin 291
 Khazina 291
 Khakimov 366
 Kirpotin 42
 Kiseleva 302
 Klimin 278
 Kloss 152, 244, 251
 Kobeleva 74
 Kolesova 347
 Komarova 329
 Kopoteva 179, 194
 Kopysov 78
- Koronatova** 182, 186, 226
Korotkikh 332
Kosykh 182, 186, 226
Kouraev 20, 42
Kovaleva 326
Kozel 353
Krivenok 163, 189
Krupko 347
Kudryashova 192
Kuhlmann 145
Kulumbegova 74
Kuptsova 179, 194
Kurbatova 197
Kur'ina 263
Kutenkov 281
Kuznetsov 80
- L**
 Lachacz 21
 Lamentowicz 244
 Lane 18
 Lapshina 27, 30, 139, 145
 Larina 112, 214
 Laurila 136
 Lindroth 136
 Lohila 136
 Luchanok 335
 Lund 136
- M**
 Magur 283
 Makarov 339
 Makhatkov 342
 Maksyutov 163, 189
 Malkiewicz 235
 Malysheva 124
 Mammarella 136
 Marcisz 244
 Mazej 124
 Mažeika 295
 Medzihradzsky 240
 Mendyk 235
 Meysner 27, 30, 33, 36
 Midor 17
 Miglovets 199
 Minayeva 202
 Mikhailov 176
 Milyaeva 345
 Mironov 83
 Mironycheva-Tokareva 160, 226, 345
 Molchanov 204
 Molnár 240, 296
- N**
 Naumov 207, 210
 Naymushina 86
- Neretina** 90
Neumann 296
Nikonova 211
Nilsson 136
Noskova 347
- O**
 Obremaska 244
 Okupny 152, 244
 Orlov 24
- P**
 Panova 260
 Parshina 50
 Patova 218
 Pawlak 141, 148
 Pawłowski 243
 Peichl 136
 Petrova 93
 Piotrowski 148
 Plóciennik 244
 Pologova 43, 96, 263, 265, 369
 Popova 332
 Porochina 99
 Pósa 237
 Potapova 102
 Preis 43, 105, 286, 355
 Prudnikova 289
- R**
 Rakovich 353
 Rémy 42
 Rinne 136
 Rodionova 272
 Ruleva 347
 Rybina 50
 Rykova 12
- S**
 Sadkov 24
 Schulze 145
 Semenova 350
 Serebrennikova 105, 353, 355
 Sergeeva 214
 Schellenberger 296
 Schukova 128
 Shadrin 329
 Shekhovtsov 120
 Shestakova 126
 Shibareva 226
 Shurpali 136
 Sinyutkina 359, 362, 366
 Sirin 221, 223, 339
 Sivkov 218
 Skugarev 50
 Smagin 108
 Smirnov 112
 Stepanova 114
- Stoykina** 281
Strelnikova 105, 353, 355
Styla 27, 30, 33, 36
Suvorov 223
Syso 117
Szajdak 27, 30, 33, 36
Szczepański 27, 30, 33, 36
Szirmai 296
Szkutov 335
- T**
 Taminskas 295
 Tikhomirova 226
 Titlyanova 226
 Trenyik 296
 Trofimova 120
 Tsyganov 124
 Tuittila 136
- V**
 Valyaeva 311
 Varlagin 197
 Veretennikova 157
 Vesala 136
 Vishnyakova 160, 345
 Voistinova 305
 Volkova 39
 Vomperskaya 311
 Vompersky 311
 Vorobyev 42
 Voytehov 53, 308
- W**
 Wibig 16, 148
 Woźniczka 235
- Y**
 Yakovlev AP 155, 372
 Yakovlev AS 326
 Yurkovskaya 132
- Z**
 Zagirova 176
 Zakharova 20, 42
 Zarov 139
 Zavalishin 174
 Ziulkiewicz 152
 Žurek 244, 248, 251

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОБЗОР СТАТЕЙ.....	6
Рыкова В.В. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОЛЕВЫЕ СИМПОЗИУМЫ ПО ТОФЯНИКАМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ (2001, 2007, 2011 гг.).....	12
СЕКЦИЯ 1. БИОРАЗНООБРАЗИЕ ФЛОРЫ И ФАУНЫ БОЛОТ, БИОГЕОХИМИЯ, РАЗНООБРАЗИЕ И РАЗВИТИЕ БОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ	
SECTION 2. BIODIVERSITY OF WETLAND FLORA AND FAUNA, BIOGEOCHEMISTRY, DIVERSITY AND DEVELOPMENT OF WETLAND COMPLEXES	
Bednorz E., Wibig J. SPATIAL DISTRIBUTION AND SYNOPTIC CONDITIONS OF SNOW ACCUMULATION AND SNOW ABLATION IN THE WEST SIBERIAN PLAINS	16
Bogacz A., Glina B., Januszewska K., Midor A. THE EFFECT OF DRAINAGE ON PEATLAND IN ORGANIC SOIL PROPERTIES IN STOLOWE MOUNTAINS NATIONAL PARK (SUDETES).....	17
Dyukarev E.A., Autrey B. B., Dyukarev A.G., Lane C.R. MAPPING OF ISOLATED WETLANDS OF OB-TOM INTERFLUVE USING QUICKBIRD HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGES	18
Garestier F., Zakharova E., Kouraev A., Desyatkin R. V., Guillaso S. GROUND MOVEMENT ESTIMATION IN YAKUTIA USING DUAL-POL INSAR TERRASAR-X DATA	20
Lachacz A. SPRING MIRES OF NORTH-EASTERN POLAND.....	21
Orlov T.V., Sadkov S.A. DETECTING SPATIAL BOG PATTERN USING REMOTE SENSING AND GROUND PENETRATION RADAR (BELAMORO-KULOYSKOE PLATEAU CASE STUDY)	24
Szajdak L. W., Inisheva L. I., Lapshina E. D., Gaca W., Styła K., Meysner T., Szczepański M. THE UREASE ACTIVITY AND NITROGEN FORMS OF SPHAGNUM AND CAREX DOMINATED PEAT	27
Szajdak L. W., Inisheva L. I., Lapshina E. D., Styła K., Gaca W., Meysner T., Szczepański M. THE XANTHINE OXIDASE AND PHENOL OXIDASE ACTIVITY OF NATURAL PEAT AND PEAT-MOORSH SOILS.....	30
Szajdak L. W., Meysner T., Styła K., Gaca W., Szczepański M. THE ENZYMATIC ACTIVITY OF THE SELECTED PEATLANDS IN NORTHERN POLAND.....	33
Szajdak L. W., Styła K., Gaca W., Meysner T., Szczepański M. PHENOL OXIDASE ACTIVITY IN SPRING AND AUTUMN OF PEAT-MOORSH SOILS	36
Volkova I. I. SOUTH SIBERIAN MOUNTAIN MIRES: DIVERSITY AND TYPOLOGY	39
Zakharova E.A., Kouraev A.V., Garestier F., Rémy F., Kirpotin S.N., Vorobyev S.N., Berezin A.Ye. HYDROLOGICAL REGIME OF SIBERIAN WETLANDS FROM SATELLITE AND IN-SITU OBSERVATIONS	42
Алексеева М.Н., Прейс Ю.И., Дюкарев Е.А., Пологова Н.Н. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ВЕРХНЕГО СЛОЯ ТОРФА СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ОТРОГОВ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ	43
Антипин В.К. ИЗУЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ БОЛОТ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ВОДЛОЗЕРСКИЙ» НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ.....	47
Березин А.Е., Базанов В.А., Скугарев А.А., Рыбина Т.А., Паршина Н.В. ЛАНДШАФТЫ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА	50
Войтехов М. Я. К ВОПРОСУ О РАЗНЫХ МЕХАНИЗМАХ АДАПТАЦИИ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ К ОЛИГОТРОФНЫМ УСЛОВИЯМ СФАГНОВЫХ БОЛОТ	53
Гашкова Л.П. СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ И СВИНЦА В РАСТЕНИЯХ <i>CHAMAEDAPHNE CALYSCULATA</i> НА УЧАСТКАХ БОЛОТ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....	56
Гончарова Н.Н., Дёгтева С.В. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ БОЛОТ ХРЕБТА ЗАПАДНЫЕ САЛЕДЫ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ).....	58
Гришуткин О.Г. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОЛОТ В РЕСПУБЛИКЕ МОРДОВИЯ.....	60
Ерофеевская Л.А. ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОФЛОРЫ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ	63
Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. АМФИФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	65
Иванова Е.С. ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ БОЛОТ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	68

Канцерова Л.В. ОСОБЕННОСТИ ТОРФОНАКОПЛЕНИЯ НА ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ	71
Кобелева Н.В., Кулумбегова Ф.Г. СТРУКТУРА ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ХАСЫРЕЕВ НИЗКОКУСТАРНИКОВОЙ ПОДЗОНАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ СУБАРКТИЧЕСКИХ ТУНДР	74
Копысов С.Г. ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	78
Кузнецов О.Л. РАЗНООБРАЗИЕ ТРАВЯНО-ГИПНОВЫХ СООБЩЕСТВ НА БОЛОТАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ	80
Мионов В.Л. РАЗНООБРАЗИЕ ПРИОЗЕРНЫХ БОЛОТ КАРЕЛИИ	83
Наймушина О.С. ОРГАНОГЕННЫЕ ВОДЫ ВЕРХОВЫХ И НИЗИННЫХ БОЛОТ ТОМСКОГО ПРИОБЬЯ	86
Неретина А.Н., Гришуткин О.Г. ДЕСМИДИЕВЫЕ И ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА «ЕЛЬНИЧНОЕ ОЗЕРО» (МОРДОВИЯ, РОССИЯ)	90
Петрова И.В., Черепанова О.Е. ИЗОЛЯЦИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАПАДНОСИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L	93
Пологова Н.Н., Дюкарев А.Г. ОСТРОВНЫЕ РЯМЫ НА ЮГЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	96
Порохина Е.В., Голубина О.А. БИОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭВТРОФНЫХ БОЛОТ	99
Потапова Н.К. АМФИБИОНТНЫЕ НАСЕКОМЫЕ (INSECTA) ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ г. ЯКУТСКА	102
Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Преис Ю.И., Дучко М.А. ЭВОЛЮЦИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ БОЛОТНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ТОРФООБРАЗОВАНИЯ	105
Смагин В.А. СООБЩЕСТВА СОЮЗА <i>CARICION DAVALLIANAE</i> НА ВОСТОЧНОМ ПРЕДЕЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ	108
Смирнов О.Н., Ларина Г.В. ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ В ГОРНОМ АЛТАЕ	112
Степанова В.А. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТНОГО КОМПЛЕКСА (СРЕДНЯЯ ТАЙГА ИРТЫШСКОГО ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ)	114
Сысо А.И. БИОГЕОХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	117
Трофимова И.Е., Бальбина А.С., Шеховцов А.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	120
Цыганов А.Н., Малышева Е.А., Бабешко К.В., Мазей Ю.А. ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ РАКОВИННЫХ АМЕБ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ НА ГРАНИЦЕ ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЛЕСОСТЕПИ	124
Шестакова А.А. СОСТАВ И СТРУКТУРА БРИОФЛОР БОЛОТ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	126
Щукова В.В., Дубровская Л.И. АНАЛИЗ КЛИМАТО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УВЛАЖНЕННОСТИ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ВОДОСБОРОВ ПОДЗОНЫ ОСИНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ И СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	128
Юрковская Т.К. ЛЕСОБОЛОТНЫЕ СОЧЕТАНИЯ: СТРУКТУРА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ	132

СЕКЦИЯ 2. КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ, НАКОПЛЕНИЕ УГЛЕРОДА, ПРОЦЕССЫ РАЗЛОЖЕНИЯ, ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

SECTION 2. CARBON CYCLE IN MIRE ECOSYSTEMS: PRODUCTIVITY, CARBON STOCK, DECOMPOSITION AND GREENHOUSE GASES EMISSION

Alekseychik P., Lindroth A., Lund M., Mammarella I., Rinne J., Nilsson M., Peichl M., Lohila A., Aurela M., Laurila T., Shurpali N., Tuittila E.-S., Vesala T. SURFACE ENERGY BUDGETS OF FENNOSCANDIAN PEATLANDS: COMPARING 8 SITES WITH DIFFERENT MANAGEMENT HISTORIES	136
Borren W., Bleuten W. CARBON FLUX CHANGES AFTER DRAINING PART OF THE BAKCHAR BOG: A 3-D DYNAMIC MODELING APPROACH	138
Foereid B., Zarov E.A., Filippov I.V., Lapshina E.D. PHOTO-EXPOSE AFFECTS SUBSEQUENT PEAT DECOMPOSITION	139
Fortuniak K., Pawlak W. PRELIMINARY RESULTS OF NET ECOSYSTEM EXCHANGE OF GREENHOUSE GASES (CO_2 , CH_4 , H_2O) AT WETLAND OF BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND	141
Dyukarev E.A. ESTIMATION OF CO_2 ASSIMILATION BY MOSSES AT OLOGOTROPHIC PEATLAND	144
Lapshina E.D., Schulze E.-D., Filippov I.V., Kuhlmann I. THE DOWNWARD MOVEMENT OF DISSOLVED ORGANIC CARBON EXISTS IN THE BOREAL PEATLANDS OF WEST SIBERIA	145

Pawlak W., Fortuniak K., Wibig J., Piotrowski P. GREENHOUSE GASES EXCHANGE AT WETLANDS – METHODOLOGICAL CONSIDERATIONS ON THE EXPERIENCE OF ONE YEAR EDDY COVARIANCE MEASUREMENTS AT BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND.....	148
Ziulkiewicz M., Forsyiaak J., Fortuniak A., Fortuniak K., Kloss M., Okupny D. SELECTED ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE GREENHOUSE GASES MEASUREMENT SITE AT WETLAND OF THE BIEBRZA NATIONAL PARK, POLAND.....	152
Булавко Г.И., Яковлев А.П. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФИТОЦЕНОЗА НА АКТИВНОСТЬ МИКРООРГАНИЗМОВ НАРУШЕННОГО ВЕРХОВОГО БОЛОТА.....	155
Веретенникова Е.Э., Дюкарев Е.А. ЭМИССИЯ МЕТАНА ТОРФЯНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	157
Вишнякова Е.К., Миронычева-Токарева Н.П. РАЗЛОЖЕНИЕ СФАГНОВЫХ МХОВ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ТАЕЖНОЙ И ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОН ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	160
Глаголев М.В., Филиппов И.В., Кривенок Л.А., Максюттов Ш.Ш. ОЦЕНКА ПОТОКА CH_4 ИЗ ПОЧВ РОССИИ НАБОРОМ ПРОСТЕЙШИХ МОДЕЛЕЙ.....	163
Головацкая Е.А., Алексеева М.Н., Дюкарев Е.А. ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ.....	166
Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. ТУНДРОВЫЕ ОЗЁРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КАК ИСТОЧНИКИ МЕТАНА.....	169
Грабовик С.И. ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ СФАГНОВЫХ МХОВ НА БОЛОТАХ КАРЕЛИИ (РОССИЯ).....	171
Завалишин Н.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ БИОТИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА И ЭМИССИИ УГЛЕРОДА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА.....	174
Загирова С.В., Михайлов О.А. ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА МЕЗО-ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ.....	176
Казанцев В.С. ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ТУНДРОВЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	178
Копотева Т.А., Купцова В.А. ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ.....	179
Коронатова Н.Г., Косых Н.П. СООТНОШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНОГО И МОХОВО-ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСОВ НА СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ВЫПУКЛЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТАХ.....	182
Косых Н.П., Коронатова Н.Г. ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО ПРИРОСТА И ПРОДУКЦИИ ДВУХ ВИДОВ СФАГНОВЫХ МХОВ ПО ШИРОТНОМУ ГРАДИЕНТУ.....	186
Кривенок Л.А., Глаголев М.В., Максюттов Ш.Ш. УДЕЛЬНЫЕ ПОТОКИ CH_4 ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	189
Кудряшова С.Я., Дитц Л.Ю. КАРТИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС.....	192
Купцова В.А., Копотева Т.А. СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ И ПРОДУКЦИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ.....	194
Курбатова Ю.А., Авиллов В.К., Варлагин А.В., Иванов Д.Г. РОЛЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В CO_2 ОБМЕНЕ МЕЖДУ АТМОСФЕРОЙ И ЗАБОЛОЧЕННЫМИ ЛЕСАМИ ЮЖНОЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТАЙГИ.....	197
Мигловец М.Н. РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ЭМИССИЕЙ МЕТАНА КАМЕРНЫМ МЕТОДОМ НА МЕЗООЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ (РЕСПУБЛИКА КОМИ).....	199
Минаева Т.Ю. ВОССТАНОВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА БОЛОТ В ХОДЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ: ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....	202
Молчанов А.Г. ЗАВИСИМОСТЬ ГАЗООБМЕНА ЗАБОЛОЧЕННОГО ПУШИЦЕВО-СФАГНОВОГО СОСНЯК ОТ УРОВНЯ ПОЧВЕННО-ГРУНТОВЫХ ВОД.....	204
Наумов А.В. О ПОКАЗАТЕЛЯХ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	207
Наумов А.В. ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ И CO_2 -ГАЗООБМЕН В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ).....	210
Никонова Л.Г., Головацкая Е.А. РАЗЛОЖЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА ТОМСКОГО РАЙОНА.....	211
Сергеева М.А., Инишева Л.И., Ларина Г.В. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ В БОЛОТАХ ГОРНОГО АЛТАЯ.....	214
Сивков М.Д., Патова Е.Н. ГОДОВЫЕ ПОТОКИ МЕТАНА НА ПЕРЕХОДНОМ БОЛОТЕ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ЗОНЫ (РЕСПУБЛИКА КОМИ) НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	218
Сирин А.А. БОЛОТА, УГЛЕРОД, КЛИМАТ: ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	221
Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Сирин А.А. ПОТЕРИ УГЛЕРОДА ПРИ ОСУШЕНИИ И ХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	223

Титлянова А.А., Биеньковски П., Косых Н.П., Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П., Шибарева С.В., Тихомирова Н.А., Дитвалд Э., Громадка П. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ФИТОМАССЫ, ПРОЦЕССЫ ЕЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ В НЕКОТОРЫХ ЛЕСНЫХ И БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ 226

СЕКЦИЯ 3. ГЕНЕЗИС, ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ SECTION 3. GENESIS, PALEOECOLOGY AND EVOLUTION OF MIRE ECOSYSTEMS

Drzymulska D. DEVELOPMENT OF MIRES IN POLAND – CHANGES IN FLORA AND VEGETATION SINCE THE LAST GLACIATION	232
Glina B., Bogacz A., Malkiewicz M., Mendyk Ł., Woźniczka P. GENESIS AND EVOLUTION OF THE SHALLOW ORGANIC SOILS IN THE CENTRAL PART OF SUDETES MOUNTAINS (SW POLAND)	235
Gyulai F., Gyuricza Cs., Pósa P. ARCHAEOBIOLOGICAL MACROREMAINS FROM THE FORMER PEATLAND OF LAKE BALATON.....	237
Molnár M., Medzihradsky Zs., Barczy A., Czóbel Sz. PRELIMINARY RESULTS OF THE VEGETATION RECONSTRUCTION BASED ON POLLEN ANALYSIS IN THE SÁRRÉT BASIN IN WESTERN HUNGARY	240
Pawłowski D. CLADOCERA REMAINS IN MIRE SEDIMENTS — A CASE STUDY ON THE MIRES OF THE GRABIA RIVER VALLEY, CENTRAL POLAND	243
Żurek S., Borówka R.K., Forsyjak J., Kloss M., Lamentowicz M., Marcisz K., Obremaska M., Okupny D., Plóciennik M. THE VALLEY AND WATERSHED MIRES OF THE LODZ REGION AND THEIR SIGNIFICANCE FOR THE PALAEOECOLOGICAL CHANGES.....	244
Żurek S., Drzymulska D. ORIGIN AND PALAEOECOLOGY OF MIRES IN THE VICINITY OF LAKE WIGRY	248
Żurek S., Kloss M. CZERWONE BAGNO MIRE - UNIQUE FRAGMENT OF WETLAND BIEBRZA VALLEY	251
Адаменко М. М., Гутак Я.М. НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ КУЗНЕЦКОГО АПАТАУ В ГОЛОЦЕНЕ (НА ПРИМЕРЕ ТИГЕРТЫШСКОГО ГОРНОГО УЗЛА).....	257
Антипина Т.Г., Панова Н.К. ГЕНЕЗИС И ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ БОЛОТ В ГОЛОЦЕНЕ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОНДИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ).....	260
Бляхарчук Т.А., Курьина И.В., Пологова Н.Н., Чернова Н.А. РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ УВЛАЖНЁННОСТИ КЛИМАТА И БОЛОТНОГО МЕСТООБИТАНИЯ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНОГО РАЗРЕЗА ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	263
Бляхарчук Т.А., Пологова Н.Н. ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА ПО ДАННЫМ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ У ПОСЁЛКА ПОЛЫНЯНКА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ	265
Гаврилов Д.А. МИКРОБИОМОРФНЫЙ КОМПЛЕКС ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ СО ВТОРЫМ ГУМУСОВЫМ ГОРИЗОНТОМ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	267
Гренадерова А.В., Родионова А.Б. ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИЕНИСЕЙСКОЙ СИБИРИ	272
Карпенко Л.В. ГЕНЕЗИС И СТРАТИГРАФИЯ БОЛОТ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СЫМ-ДУБЧЕСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ	275
Климин М.А. МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПИГМЕНТНОГО ПРОФИЛЯ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	278
Кутенков С.А., Стойкина Н.В. СТРАТИГРАФИЯ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ И РАЗВИТИЕ МАССИВОВ БОЛОТНЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ.....	281
Магур М.Г. ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗОТОПНЫХ ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>SPHAGNUM FUSCUM</i> (SCHIMP.) KLINGGR. В ЗОНЕ ВЫПУКЛЫХ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	283
Прейс Ю.И. ДЕТАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БОЛОТА КАК ОТКЛИК НА ИЗМЕНЕНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО КЛИМАТА ГОЛОЦЕНА (СРЕДНЯЯ ТАЙГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ).....	286
Прудникова Т.Н. ДРЕВНЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ УБСУНУРСКОЙ КОТЛОВИНЫ.....	289
Хазина И.В., Хазин Л.Б. ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ.....	291

СЕКЦИЯ 4. ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БОЛОТА: МЕЛИОРАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ, ОХРАНА БОЛОТ И БОЛОТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ SECTION 4. ANTHROPOGENIC IMPACT ON MIRES: MELIORATION, RECLAMATION, PROTECTION OF MIRES AND WETLANDS

Baužienė I., Mažeika J., Taminskas J. RECENT TRANSFORMATION OF PEAT BOGS IN LITHUANIA..... 295

Czóbel Sz., Gyuricza Cs., Molnár M., Schellenberger J., Trenyik P., Szirmai O., Neumann K., Barczy A. NATURAL VALUES OF HUNGARIAN MIRES IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE. A REVIEW.....	296
Бадмажапова И.А., Гынинова А.Б. ВЛИЯНИЕ ОГНЯ НА ГРУППОВОЙ СОСТАВ ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ	299
Бака С.В., Киселева Н.Ю. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РАМСАРСКОГО ВОДНО-БОЛОТНОГО УГОДЬЯ «КАМСКО-БАКАЛДИНСКАЯ ГРУППА БОЛОТ».....	302
Воистинова Е.С., Харанжевская Ю.А. ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ ВОД В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	305
Войтехов М.Я. О МЕСТЕ СФАГНОВЫХ БОЛОТ В СИСТЕМЕ СУКЦЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ.....	308
Вомперский С.Э., Вомперская М.И., Глухова Т.В., Валяева Н.А. ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ ОТОРФОВАННОСТИ И ЗАПАСА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ В ЮЖНОЙ ТАЙГЕ	311
Дацюк В.В. ОБЗОР СОЮЗА CARICION DAVALLIANAE KLIKA 1934 В УКРАИНЕ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ЕГО СООБЩЕСТВ	315
Ерицов А.М., Гусев В.Г. НОВЫЙ СПОСОБ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ.....	317
Ерофеевская Л.А. БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ БОЛОТИСТЫХ ПОЧВ	321
Игнатъев Л.А. ПЕРСПЕКТИВА БИОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПОНЕНТОВ НЕФТИ ПРИ ВНЕСЕНИИ ЕЕ В ПОЧВУ	324
Ковалева Е.И., Яковлев А.С. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ОХРАНЫ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ	326
Комарова В.М., Шадрин Д.С. АНТРОПОГЕННАЯ ДИГРЕССИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА.....	329
Коротких Н.Н., Беспалова Т.Л., Попова Т.В. ФЛОРИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТ ТЕРРИТОРИИ ПРИРОДНОГО ПАРКА «КОНДИНСКИЕ ОЗЕРА»	332
Лученок Л.Н., Шкутов Э.Н. ФИЗИЧЕСКАЯ И БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ НА МНОГОВЕКОВОМ ВРЕМЕННОМ ЛАГЕ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ.....	335
Макаров Д.А., Гуммерт И., Гопиус Ю.А., Сирин А.А. ОЦЕНКА ПОТЕРИ ТОРФА ПРИ ЛЕСОТОРФЯНОМ ПОЖАРЕ ПО ПОЛОЖЕНИЮ КОРНЕВОЙ ШЕЙКИ ПНЕЙ ДЕРЕВЬЕВ	339
Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ВЕРХОВОГО БОЛОТА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ.....	342
Миropyчева-Токарева Н.П., Милыева Е.В., Вишнякова Е.К. ФИТОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ.....	345
Носкова О.С., Рулева Ю.А., Колесова Н.Е., Крупко М.С., Баранов С.А. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНЕГО НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ НИЖЕГОРОДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ ЛЕТА 2010 ГОДА (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНИКА «КЕРЖЕНСКИЙ»).....	347
Семенова Н.М. ОХРАНА БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ОТ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ ДО ОБЪЕКТОВ ВСЕМИРНОГО НАСЛЕДИЯ.....	350
Серебrenникова О.В., Ракович В.А., Стрельникова Е.Б., Дучко М. А., Аверина Н.Г., Козел Н.В., Бамбалов Н.Н. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТОРФА БОЛОТ БЕЛАРУСИ В СВЯЗИ С ПРОЦЕССАМИ ФОРМИРОВАНИЯ, НАРУШЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ.....	353
Серебrenникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Преис Ю.И. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФА НАТИВНЫХ И ОСУШЕННЫХ УЧАСТКОВ БОЛОТА ТЁМНОЕ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)	355
Синюткина А.А., Беленко А.А. ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА БОЛОТНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ТОРФЯНОГО ПОЖАРА).....	359
Синюткина А.А., Гашкова Л.П. АНАЛИЗ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ БОЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	362
Хакимов И.Р., Синюткина А.А. ДИНАМИКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2008-2012 гг	366
Чернова Н.А., Пологова Н.Н. ТРАНСФОРМАЦИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТОМСКОГО ВОДОЗАБОРА.....	369
Яковлев А.П. РЕАЛИЗАЦИЯ БИОСФЕРНОСОВМЕСТИМОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННЫХ ПЛОЩАДЕЙ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В БЕЛАРУСИ	372
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	375
AUTHOR INDEX	376

*На обложке спутниковое изображение Landsat-7 Большого Васюганского болота
(центральная часть, южно-таёжная подзона)*

Научное издание

Сборник материалов IV Международного полевого симпозиума
«Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее»
(The 4th International Field Symposium “West Siberian Peatlands and Carbon Cycle:
Past and Present”, WSPCC 2014)

Редактор В.С. Сумарокова
Подготовка оригинал-макета Н.Г. Коронатова

Подписано в печать 04.08.2014 г.
Формат 60X84/8. Бумага офсетная 80 г/м².
Печать цифровая. Печ. л. 47,75; усл.-печ. л. 44,4; уч.-изд. л. 46,1
Тираж 150 экз. Заказ №

ООО «Издательство ТГУ», 634029, г. Томск, ул. Никитина, 4
ООО Типография «Интегральный переплет»,
634040, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 1