

Торф и продукты его переработки

УДК 553.97+547.91

СОСТАВ ГЕКСАН – ХЛОРОФОРМНОГО ЭКСТРАКТА ВЕРХОВЫХ ТОРФОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© Ю.В. Коржов¹, Н.Г. Корнатов^{2*}

¹Югорский государственный университет, ул. Чехова, 16, Ханты-Мансийск, 628011 (Россия), e-mail: ykor1962@mail.ru

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, ул. Советская, 18, Новосибирск, 630099 (Россия), e-mail: coronat@mail.ru

Представлены данные об элементном составе и содержании основных групп органических веществ, извлекаемых гексан-хлороформной (4 : 1 об.) смесью, в фускум-торфе и сфагновом мочажинном торфе с низкой степенью разложения, изъятых в южнотаежных верховых болотах Западной Сибири. Показано, что преобладающими группами являются алканы нормального строения и терпеноиды.

Ключевые слова: верховой сфагновый торф, газовая хромато-масс-спектрометрия, элементный состав торфа, гексан-хлороформный экстракт, групповой состав экстракта

Введение

Изучение элементного и химического состава торфов является актуальной задачей как в теоретическом, так и в практическом плане. Теоретическая значимость заключается в необходимости познания внутренних процессов трансформации органического вещества в торфяной залежи для понимания особенностей круговорота углерода в болотных экосистемах. Практическая значимость заключается в потенциальной возможности использования торфяного сырья в различных отраслях промышленности. Известно, что торф содержит разные группы органических соединений, в том числе биологически активные вещества, например, обладающие антиоксидантной [1, 2], фунгицидной и антимикробной активностью [3, 4], а также аминокислоты и набор витаминов [5]. Все это характеризует торф как ценный материал, на основе которого могут быть получены лечебно-профилактические средства.

Эти аспекты изучения болот приобретают особенную актуальность для западносибирского региона, который является наиболее заболоченной территорией мира с богатейшим запасом торфяных ресурсов. Изучение элементного и химического состава западносибирских торфов проводилось главным образом в южнотаежной подзоне. Было показано, что элементный состав верховых торфов Томской области представлен на 53,0–53,5% углеродом, на 4,81–4,89% – водородом, на 1,09–1,26% – азотом, на 0,14–0,15% – серой и на 39,2–41,0% – кислородом [6]. Интересно проследить вариации содержания битумов в верховых торфах Западной Сибири. В Кемеровской области битуминозность торфа составляет 2,5%, из которых 1,6% приходится на восковую фракцию (в пересчете на сухой беззольный образец) [7, 8]; в торфе южнотаежной подзоны содержание битумов выше – 3,4–4,2% в расчете на горючую массу торфа [6]. Среднее содержание битумов в западносибирском фускум-торфе и близком к нему по составу и свойствам верховом комплексном торфе, которые характеризуются низкой степенью разложения, составляет 4,2% при варьировании от 2,0 до 10,0% [9]. По результатам инфракрасной спектроскопии, полученным С.И. Жеребцовым с соавт. [7, 8], восковая фракция верхового торфа представлена смесью свободных карбоновых

Коржов Юрий Владимирович – доцент кафедры геологии, кандидат химических наук, тел.: (3467) 35-76-65, e-mail: ykor1962@mail.ru
Корнатов Наталья Геннадьевна – научный сотрудник, кандидат биологических наук, тел.: (383) 222-54-15, e-mail: coronat@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

кислот, их солей и сложных эфиров, а также жирными спиртами и высшими алканами. Компонентный состав веществ той же восковой фракции по данным газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ–МС) отличается отсутствием эфиров карбоновых кислот, что, вероятно, связано со спецификой данного метода: либо в инжекторе-испарителе происходит термическая деструкция исходных молекул, приводящая к появлению осколочных молекул, либо «тяжелые» молекулы необратимо сорбируются в хроматографической колонке.

Цель данной работы – изучить элементный состав и выявить основные группы органических веществ, экстрагируемых гексан-хлороформной смесью растворителей (4 : 1 по объему) из верховых торфов южной тайги Западной Сибири.

Экспериментальная часть

Объекты. Объектами исследования являлись два вида верхового торфа – фускум-торф и сфагновый мочажинный (согласно классификации С.Н. Тюремнова [10]). Торфы были отобраны в экосистемах Бакчарского болота (56°51′ с.ш., 82°50′ в.д.), которое находится в пределах Томской области и относится к северо-восточным отрогам Большого Васюганского болота. Фускум-торф был взят в сосново-кустарничково-сфагновом сообществе рьяма, рН болотных вод соответствовала значению 3,8. Сфагновый мочажинный торф – в примыкающей к рямю обводненной топяной экосистеме с пушицево-сфагновым сообществом, и рН болотных вод равен 3,9. Характеристика изучаемых торфов приведена в таблице 1. Монолиты торфа изымались с глубины 40–60 см, затем эти образцы очищались от наиболее крупных инородных объектов (кусков древесины, крупных живых корневищ и прочего). Далее торф высушивали в сушильном шкафу при температуре 60 °С и измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1. В последующем образцы торфа хранили в сухих бумажных пакетах.

Таблица 1. Общая характеристика торфов, %

Вид торфа	Зольность	Степень разложения	Ботанический состав
Сфагновый мочажинный торф	1,4	10–15	<i>Sphagnum fallax</i> – 95,2±0,5, Живые корни <i>Eriophorum vaginatum</i> – 4,8±0,5
Фускум-торф	2,4	5–10	<i>Sphagnum fuscum</i> – 98,9±0,1, Живые корни кустарничков – 1,1±0,1

Оборудование и условия проведения анализа. Определение содержания углерода, водорода и азота в торфах проводилось на CNHS/O-анализаторе Perkin Elmer 2400 Series II (США).

Анализ экстрактивных веществ торфов осуществляли методом газовой хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Clarus 500 MS фирмы Perkin Elmer (США) с квадрупольным детектором. Применяли колонку аналитическую капиллярную 30 м × 0,25 мм с неподвижной фазой Elite-5MS (метилполисилоксан, 5% фенил) и толщиной пленки 0,2 мкм. Начальная температура колонки была 40 °С в течение 5 мин, затем со скоростью 5 °С/мин температура увеличивалась до 310 °С. Газ-носитель – гелий. Температура источника электронов 190 °С, температура инжектора 220 °С, трансферлайна 300 °С, энергия электронов 70 эВ.

Подготовка проб к ГХ–МС анализу. Согласно модифицированным методикам TNRCC Method 1005 и МУК 4.1.663-97, применяемым для определения органических соединений в объектах окружающей среды [11, 12], навеску сухого измельченного торфа массой около 2,0 г помещали в коническую колбу, приливали 20 мл смеси хлороформа с гексаном (1 : 4 по объему), перемешивали в течение 10 мин при комнатной температуре, смесь отстаивали в течение 30 мин при комнатной температуре, после чего фильтровали через беззольный фильтр марки «синяя лента». Экстракцию повторяли трижды, экстракты объединяли. Затем объединенный экстракт концентрировали на ротационном испарителе в вакууме водоструйного насоса при температуре водяной бани 40 °С до 1 мл, количественно переносили в виалы объемом 2 мл и отдували остаток растворителя в токе азота при температуре 20 °С. Полученный сухой остаток растворяли в 100 мкл хлороформа и вводили внутренний градуировочный стандарт – 1 мкл раствора аценафтена-d₁₀ в хлороформе с концентрацией 1,18 мкг/мкл. Для анализа экстрактов торфа в хроматограф вводили 1 мкл полученного таким образом раствора.

Качественный и количественный анализ. Идентификацию веществ проводили по относительным временам удерживания и по библиотеке масс-спектров, имеющейся в программном обеспечении к прибору: NIST, Wiley и Pflieger/Maurer/Weber. Гомологические ряды групп веществ выявляли путем реконструи-

рования исходной хроматограммы по характеристическим ионам, известным из литературы [12, 13], а также установленным в ходе проведения данного исследования.

Концентрации веществ определяли по внутреннему стандарту – аценафтену- d_{10} . Содержание углеводов в пересчете на сухой торф рассчитывали по формуле

$$m_i = \frac{S_i \cdot m_{st}}{m \cdot S_{st}} \cdot \frac{V_{\text{э}}}{V_{\text{а}}},$$

где m_i – концентрация определяемого вещества (мкг/г); m_{st} – масса внутреннего стандарта (мкг); m – навеска торфа (г); S_i – площадь пика определяемого вещества (усл. ед.); S_{st} – площадь пика стандарта (усл. ед.); $V_{\text{э}}$ – общий объем экстракта (мл); $V_{\text{а}}$ – объем аликвоты экстракта, полученного после фильтрования (мл).

Обсуждение результатов

Битумные и другие сопутствующие органические вещества извлекались из торфа гексан-хлороформной смесью растворителей (4 : 1 по объему). Выбор данного экстрагента был обусловлен составом битумоидов торфа, к которым относятся главным образом неполярные и среднеполярные соединения: предельные и непредельные углеводороды, высокомолекулярные органические кислоты и жирные спирты, их сложные эфиры, воски, смолы, масла [14].

Результаты элементного анализа торфов приведены в таблице 2. Полученные данные типичны для элементного состава верховых торфов.

После экстрагирования органических соединений из торфов гексан-хлороформной смесью масса сухих экстрактов составила 0,46 и 0,55% от абсолютно сухого вещества фускум-торфа и мочажинного торфа соответственно. Суммарное количество веществ, доступных ГХ–МС исследованию (прошедшие хроматографическую систему и представленные на хроматограмме), составило около 50% от общей массы экстрактов. Всего было зарегистрировано 166 индивидуальных пиков. Общий вид хроматограммы для обоих торфов приведен на рисунке 1. Время анализа составило 72–75 мин, наиболее легкие вещества фиксировались с 17 мин, с 29 по 55 мин. интенсивность появления пиков была относительно постоянной, а максимальное число пиков появилось на хроматограмме в период с 55 по 65 мин, когда стали детектироваться наиболее тяжелые молекулы с молекулярной массой более 400.

Полученные данные о содержании классов и групп органических соединений в экстракте приведены в таблице 3. Ряд компонентов, обнаруженных в составе экстрактов, не удалось точно идентифицировать ввиду отсутствия масс-спектров соответствующих веществ в использованной электронной базе масс-спектров органических соединений. Однако для большинства таких соединений достаточно надежно определена их принадлежность к определенным классам или группам органических веществ. Из идентифицированных соединений преобладающими группами были терпеноиды и парафины (нормальные жирные алканы).

Содержание *n*-алканов в обоих торфах было сходно. Соотношение соединений с четным и нечетным количеством атомов углерода в молекуле приведено на рисунке 2. Для изученных торфов характерно бимодальное распределение *n*-алканов с максимумами, приходящимися на C_{16} и C_{25} – C_{31} . Длина гомологического ряда составила C_{39} для мочажинного торфа и C_{33} – для фускум-торфа. Отношение содержания алканов с нечетным количеством атомов углерода к молекулам с четным числом (индекс CPI – carbon preference index [15]) было 2,0 – для мочажинного торфа и 2,9 – для фускум-торфа, т.е. для экстрактов обоих торфов содержание в них углеводов с нечетным количеством атомов углерода в молекуле [$C_{2n+1}H_{4n+4}$] было в 2 и более раза выше, чем алканов с четным количеством атомов углерода [$C_{2m}H_{4m+2}$]. При этом относительное содержание «нечетных» углеводов в сравнении с «четными» оказалось выше в фускум-торфе. Интересно, что для алканов с молекулярной массой от C_{22} до C_{33} индекс CPI возрос в торфах до 9,1–9,6. Несмотря на преобладание алканов с нечетным числом атомов углерода в молекуле, свидетельствующее об их происхождении от высших растений (в данном случае – мхов), максимальное содержание пришлось на цетан $C_{16}H_{34}$, площадь пика которого была наибольшей (23% в мочажинном торфе и 15% в фускум-торфе от содержания всех *n*-алканов). Согласно литературным данным [16], источником цетана в торфах могут являться различные микроорганизмы, главным образом аэробные бактерии и низшие грибы. Отметим, что содержание цетана составило 12,0 и 7,0 мкг/г торфа для мочажинного и фускум-торфа, соответственно, что может косвенно указывать на более высокую численность аэробных микроорганизмов в олиготрофной мочажине на глубине 40–60 см

по сравнению с рямом. Возможно, это связано с частично аэробными условиями в зоне развития корневых систем трав [17], несмотря на относительно высокий уровень болотных вод, который здесь не опускался ниже 25 см за несколько лет наблюдений. Полученные данные о более высоком содержании цетана в мочажине по сравнению с рямом согласуются с имеющимися в литературе результатами исследования микромицетного комплекса аналогичных экосистем этого же болота: концентрация микромицетов в верхнем полуметровом слое была 2–8 и 2–26 мг/г торфа, а общий запас грибной биомассы во всей толще торфа 0,3–0,5 и 0,5–1,2 кг/м² в ряме и открытой топи соответственно [18].

Алканы изопреноидного строения были представлены пристаном, фитаном и некоторыми другими, которые обнаружены в количестве 0,4 мкг/г абс. сух. торфа в фускум-торфе и 0,8 – в мочажинном.

Циклогексаны и циклопентаны не были обнаружены в нашем исследовании, возможно, вследствие методических погрешностей, поскольку данные соединения являются легколетучими веществами.

Таблица 2. Элементный состав торфов в пересчете на абсолютно сухой образец

Вид торфа	C, %	N, %	H, %	O + S, %
Сфагновый мочажинный торф	48.6	0.7	6.6	42.7
Фускум-торф	48.3	0.6	6.4	42.3

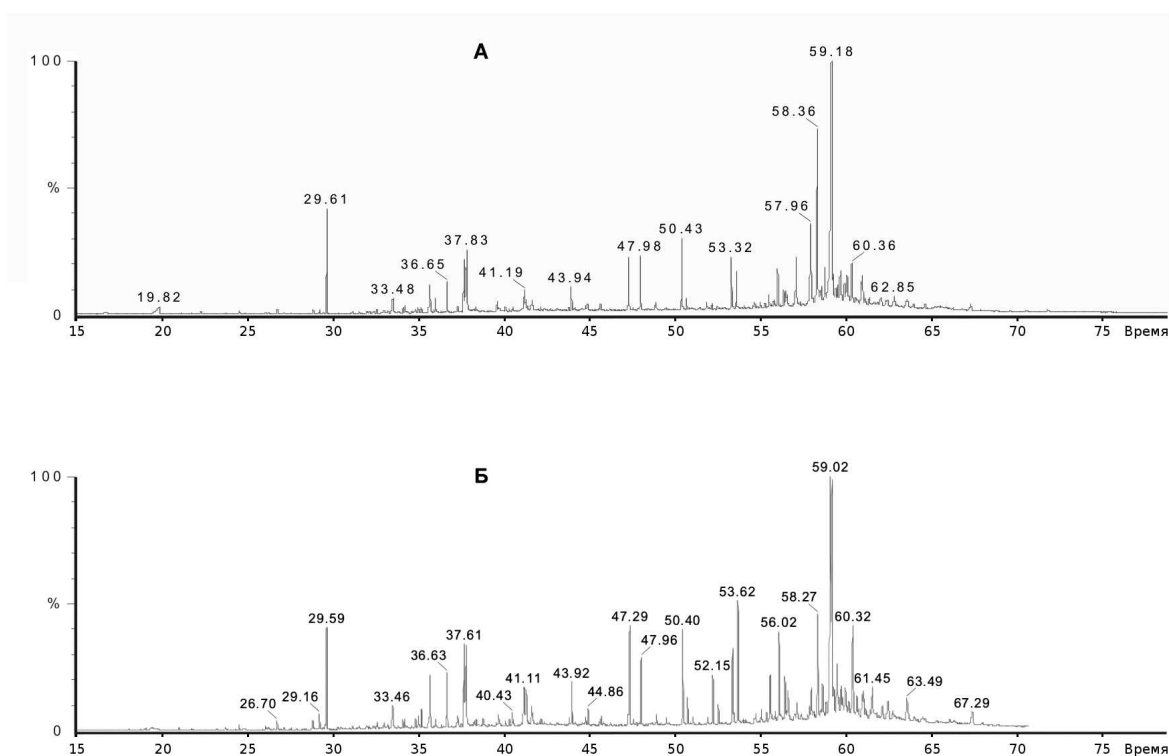


Рис. 1. Общий вид хроматограмм гексан-хлороформных экстрактов торфов, полученных в условиях газовой хромато-масс-спектрометрии: А – мочажинный торф, Б – фускум-торф

Таблица 3. Состав экстрактивных веществ торфов согласно ГХ–МС анализу, % от массы экстракта

Классы и группы веществ	Мочажинный торф	Фускум-торф
Нормальные алканы	10,1	11,2
Терпеноиды	18,1	17,4
Токоферолы	0,6	2,3
Карбоновые кислоты	4,4	4,3
Кетоны	1,8	5,3
Биарены и триарены	0,04	0,05
Неидентифицированные соединения	16,1	14,1

Терпеноиды на хроматограммах имели пики с временами удерживания 56 мин и выше. Определение их принадлежности к данной группе было осуществлено по электронной библиотеке масс-спектрометрических данных. В большинстве случаев терпеноиды относились к тритерпенам и политерпенам, включали стерины. Эта группа экстрактивных веществ оказалась первой по массовой доле от всех идентифицированных органических соединений.

Токоферолы (витамин Е) также определялись по электронной библиотеке масс-спектрометрических данных, для них характеристичным являлся осколочный ион с m/z 165. Они были представлены β - и γ -токоферолом, а также α -токоферолом. Содержание последнего было в 1,2 раза ниже по сравнению с β - и γ -токоферолом в мочажинном торфе, и в 3,7 раз – в фускум-торфе. Полученные в данной работе оценки содержания витамина Е в фускум-торфе оказались в 2 раза выше, а в мочажинном торфе – немного ниже в сравнении с данными по щелочному экстракту низинного торфа [5].

Карбоновые кислоты определялись по характеристическим ионам m/z 60+73+129 и были представлены гомологическим рядом монокарбоновых кислот, включая молекулы с числом атомов углерода C_8 – C_{18} (рис. 3). Наибольшее содержание было отмечено для пальмитиновой кислоты $C_{15}H_{31}COOH$, которая широко распространена в природе (особенно высоко ее содержание в микроорганизмах), при этом ее концентрация в мочажинном торфе была в 1,4 раза выше, чем в фускум-торфе. Суммарное содержание остальных ее гомологов было практически одинаковым – 9,0 и 9,1 мкг/г абсолютно сухого торфа в фускум-торфе и мочажинном. Вероятно, высокая концентрация в экстрактах *n*-алкана цетана C_{16} обусловлена именно превалированием пальмитиновой кислоты, которая оказывается генетически связанной с ним.

Суммарное содержание кетонов, определенных по характеристическим ионам m/z 58+59, составило 23,9 мкг/г в фускум-торфе и 9,8 мкг/г в мочажинном торфе, т.е. в первом случае их содержание было в 2,4 раза выше. Хроматографический анализ показывает, что среди идентифицированных кетонов распространены молекулы с числом атомов углерода от C_{21} до C_{32} с максимальным содержанием C_{27} -кетона, на долю которого приходится 49 и 43% в мочажинном и фускум-торфе, соответственно (рис. 4).

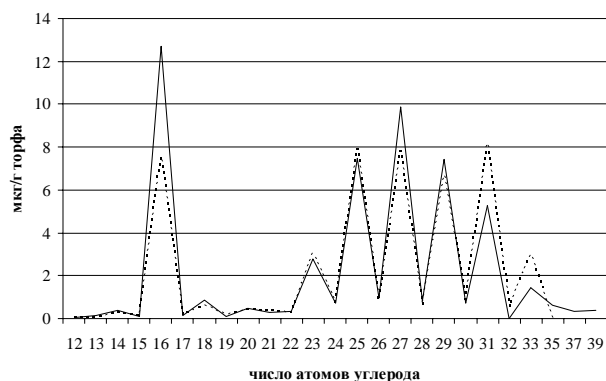


Рис. 2. Концентрации гомологов ряда *n*-алканов. Сплошная линия – мочажинный торф, пунктирная линия – фускум-торф

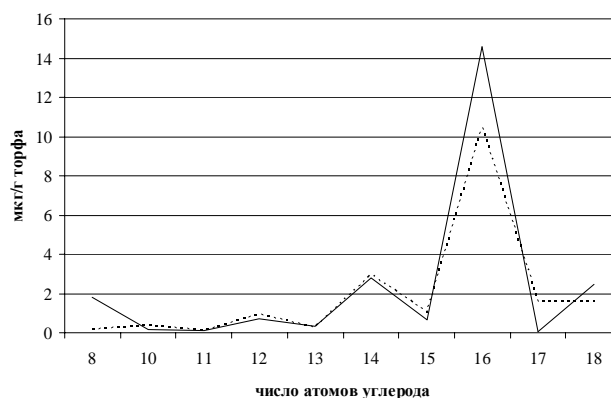
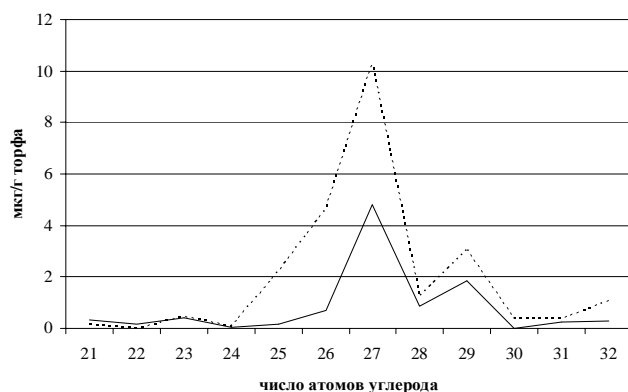


Рис. 3. Концентрации гомологов ряда жирных кислот. Сплошная линия – мочажинный торф, пунктирная линия – фускум-торф

Рис. 4. Концентрации гомологичных кетонов. Сплошная линия – мочажинный торф, пунктирная линия – фускум-торф



Кроме перечисленных выше веществ, идентифицированных в экстрактах, в хроматограммах наблюдались слабые пики ароматических углеводородов, которые представлены в основном биядерными (нафталины) и триядерными аренами (фенантрены). Нафталины C_{10} – C_{12} выявлялись по молекулярным ионам m/z 128+142+156 и ряду осколочных ионов m/z 115, 77, 78 и др., фенантрены – по молекулярным ионам с m/z 178+192. Концентрация каждой группы не превысила 0,1 мкг/г в обоих торфах. Их содержание было минимальным среди выявленных групп органических соединений. Вместе с тем алкилбензолы не были обнаружены в экстрактах, хотя имеются литературные сведения, указывающие на их наличие в торфах сходного генезиса. Так, отмечалось, что их количество в верхнем полуметровом слое фускум-торфа значительно меньше, чем нафталинов и фенантронов [16]. Полициклоарены с числом циклов более 3 не были идентифицированы в нашем исследовании, хотя в западносибирских торфах фиксировалось их наличие в концентрации, не превышающей 0,05 мкг/г [16].

Группа неидентифицированных соединений составила от четверти до трети всего экстракта. В эту группу вошли также спирты, точное количественное содержание которых не было установлено, однако по предварительной оценке на их долю приходится около 2% от массы экстракта.

Выводы

Элементные составы мочажинного и фускум-торфа типичны для верховых торфов.

Среди идентифицированных соединений в групповом составе гексан-хлороформного (4 : 1 об.) экстракта в наибольшем количестве (более 10%) представлены *n*-алканы и терпеноиды. Преобладают нечетные *n*-алканы с числом атомов от C_{23} до C_{33} , а также цетан (C_{16}). Другой преобладающей группой были соединения с большой молекулярной массой – терпеноиды.

В количестве от 1 до 5% присутствуют карбоновые кислоты (с максимумом C_{16}), кетоны (с максимумом C_{27}) и токоферолы.

В незначительном количестве представлены би- и триарены.

Благодарности

Авторы выражают сердечную признательность канд. хим. наук Андрею Михайловичу Чибиряеву (НИОХ СО РАН) за любезную помощь в подготовке статьи, ценные замечания и полезные советы.

Список литературы

1. Исмадова Р.Р., Федько И.В. Химические свойства и антиоксидантная активность торфа // Башкирский химический журнал. 2008. Т. 15, №1. С. 34–35.
2. Федько И.В., Гостищева М.В., Исмадова Р.Р. Сравнительное изучение химического состава и биологической активности торфа в зависимости от степени его разложения // Химия растительного сырья. 2008. №1. С. 127–130.
3. Юдина Н.В., Писарева С.И., Зверева А.В., Дмитрук С.Е., Калинин Г.И. Полисахариды из торфов и мхов // Химия растительного сырья. 1999. №4. С. 97–100.
4. Зайцева Т.Л., Навоша Ю.Ю., Шерemet Л.С., Пармон С.В. Усовершенствованный метод количественного определения биологически активных тритерпеноидов в экстрактах торфа и растений-торфообразователей // Химия растительного сырья. 2000. №4. С. 35–37.
5. Жилиякова Т.П., Касимова Л.В. Влияние химических свойств торфов на состав щелочного экстракта // Химия растительного сырья. 2003. №3. С. 35–39.
6. Архипов В.С., Маслов С.Г. Состав и свойства типичных видов торфа центральной части Западной Сибири // Химия растительного сырья. 1998. №4. С. 9–16.
7. Жеребцов С.И., Мусин Ю.В., Моисеев А.И. Состав битумов алкилированного торфа // Химия твердого топлива. 2009. №3. С. 16–18.
8. Жеребцов С.И., Мусин Ю.В., Моисеев А.И. Влияние алкилирования на состав и выход битумоидов торфа // Химия растительного сырья. 2009. №2. С. 125–130.
9. Шинкеева Н.А., Маслов С.Г., Архипов В.С. Характеристика группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири // Вестник ТГПУ. 2009. Вып. 3. С. 116–119.
10. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. 3-е изд., перераб. и доп. М., 1976. С. 139–181.
11. Кульков М.Г., Артамонов В.Ю., Коржов Ю.В., Углев В.В. Индивидуальные органические соединения нефти как индикаторы техногенного нефтяного загрязнения водной среды // Известия Томского политехнического университета. Геоэкология. 2010. Т. 317, №1. С. 195–200.
12. МУК 4.1.663-97. Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии. Методические указания.

13. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М., 2003. 493 с.
14. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. М., 1978. 232 с.
15. Hsieh M., Philp P.R. Ubiquitous occurrence of high molecular weight hydrocarbons in crude oils // *Organic Geochemistry*. 2001. Vol. 32. Pp. 955–966.
16. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., Gulaya E.V. Hydrocarbon composition of the organic matter of peats in the south of Western Siberia // *Solid Fuel Chemistry*. 2010. V. 44, N5. Pp. 324–334.
17. Frolking, S., Roulet, N.T., Moore, T.R., Richard, P.J.H., Lavoie, M., Muller, S.D. Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation // *Ecosystems*. 2001. Vol. 4. Pp. 479–498.
18. Головченко А.В., Семёнова Т.А., Полякова А.В., Инишева Л.И. Структура микромицетного комплекса олиготрофных торфяников южно-таежной подзоны Западной Сибири // *Микробиология*. 2002. Т. 71, №5. С. 667–674.

Поступило в редакцию 12 июля 2012 г.

После переработки 18 декабря 2012 г.

*Korzhev Yu.V.*¹, *Koronatova N.G.*^{2*} THE COMPOSITION OF HEXANE-CHLOROFORM EXTRACT OF OMBROTROPHIC PEATS OF SOUTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA

¹*Ugra State University, ul. Chekhova, 16, Khanty-Mansiysk, 628011 (Russia), e-mail: ykor1962@mail.ru*

²*Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of SB RAS, ul. Sovetskaia, 18, Novosibirsk, 630099 (Russia), e-mail: coronat@mail.ru*

The paper presents data on the elemental composition and content of the major groups of organic substances extracted by hexane-chloroform (4:1 vol.) mixture in a fuscum peat and a sphagnum hollow peat with a low degree of decomposition, collected from the southern taiga ombrotrophic bogs of Western Siberia. It is shown that the dominant groups are the follows: alkanes of normal structure, carotenoids and terpenoids.

Keywords: ombrotrophic *Sphagnum* peats, gas chromatography-mass spectrometry, elemental composition of peat, hexane-chloroform extract, the extract group composition

References

1. Ismatova R.R., Fed'ko I.V. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal*, 2008, vol. 15, no. 1, pp. 34–35. (in Russ.).
2. Fed'ko I.V., Gostishcheva M.V., Ismatova R.R. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2008, no. 1, pp. 127–130. (in Russ.).
3. Iudina N.V., Pisareva S.I., Zvereva A.V., Dmitruk S.E., Kalinkina G.I. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 1999, no. 4, pp. 97–100. (in Russ.).
4. Zaitseva T.L., Navosha Iu.Iu., Sheremet L.S., Parmon S.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2000, no. 4, pp. 35–37. (in Russ.).
5. Zhiliakova T.P., Kasimova L.V. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2003, no. 3, pp. 35–39. (in Russ.).
6. Arkhipov V.S., Maslov S.G. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 1998, no. 4, pp. 9–16. (in Russ.).

* Corresponding author.

7. Zherebtsov S.I., Musin Iu.V., Moiseev A.I. *Khimiia tverdogo topliva*, 2009, no. 3, pp. 16–18. (in Russ.).
8. Zherebtsov S.I., Musin Iu.V., Moiseev A.I. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia*, 2009, no. 2, pp. 125–130. (in Russ.).
9. Shinkeeva N.A., Maslov S.G., Arkhipov V.S. *Vestnik TGPU*, 2009, no. 3, pp. 116–119. (in Russ.).
10. Tiuremnov S.N. *Torfiane mestorozhdeniia*. [Peatlands]. Moscow, 1976, pp. 139–181. (in Russ.).
11. Kul'kov M.G., Artamonov V.Iu., Korzhov Iu.V., Uglev V.V. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Geoekologiya*, 2010, vol. 317, no. 1, pp. 195–200. (in Russ.).
12. *MUK 4.1.663-97. Opredelenie massovoi kontsentratsii organicheskikh soedinenii v vode metodom khromato-mass-spektrometrii. Metodicheskie ukazaniia*. [MUK 4.1.663-97. Determination of the mass concentration of organic compounds in water by gas chromatography-mass spectrometry. Methodical instructions.]. (in Russ.).
13. Lebedev A.T. *Mass-spektrometriia v organicheskoi khimii*. [Mass spectrometry in organic chemistry]. Moscow, 2003, 493 p. (in Russ.).
14. Rakovskii V.E., Pigulevskaia L.V. *Khimiia i genesis torfa*. [Chemistry and genesis of peat.]. Moscow, 1978, 232 p. (in Russ.).
15. Hsieh M., Philp P.R. *Organic Geochemistry*, 2001, vol. 32, pp. 955–966.
16. Serebrennikova O.V., Preis Yu.I., Kadychagov P.B., Gulaya E.V. *Solid Fuel Chemistry*, 2010, vol. 44, no. 5, pp. 324–334.
17. Frolking, S., Roulet, N.T., Moore, T.R., Richard, P.J.H., Lavoie, M., Muller, S.D. *Ecosystems*, 2001, vol. 4, pp. 479–498.
18. Golovchenko A.V., Semenova T.A., Poliakova A.V., Inisheva L.I. *Mikrobiologiya*, 2002, vol. 71, no. 5, pp. 667–674.

Received July 12, 2012

Revised December 18, 2012