

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА В БОЛОТАХ МЕТОДОМ ИНКУБАЦИИ СУХИХ И ВЛАЖНЫХ ОБРАЗЦОВ

Н.Г. Коронатова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск)

coronat@mail.ru

В статье сравниваются две методики экспериментального изучения разложения торфа в трех болотных экосистемах Бакчарского болотного массива (Западная Сибирь). Образцы торфа закладывались в синтетические мешочки в высушенном и влажном состоянии и помещались в торфяную залежь на глубину 5-10 и 25-30 см. Потери массы из сухих образцов в 5 случаях из 6 были больше, чем из влажных. Достоверность разницы в полученных результатах была выявлена во всех случаях в первые три месяца проведения эксперимента, а через год разница в большинстве случаев стала не достоверна. Динамика изменения массы торфа была сходна для образцов, заложенных в сухом и влажном состоянии, особенно в ряме и в верхнем слое топи, где коэффициент корреляции составил 0,97-0,99. Дисперсионный анализ показал существенное влияние места закладки на потери массы торфа, но не использованной методики.

Ключевые слова: верховое болото, торф, разложение, методика полевого эксперимента.

Введение

В настоящее время внимание многих исследователей занимают вопросы круговорота углерода в биосфере. Это связано с необходимостью изучения механизма ответной реакции природных экосистем на возрастающее количество углекислого газа антропогенного происхождения в атмосфере. Болотные экосистемы играют важнейшую роль в углеродном цикле. Западная Сибирь является самым заболоченным регионом планеты, здесь площадь болот составляет в среднем 50% [*Болота Западной Сибири...* 1976]. В болотах южной тайги сосредоточено $24,2 \cdot 10^9$ т органического углерода [*Yefremov, Yefremova* 2001]. Таким образом, болотные экосистемы, аккумулируя углерод, уменьшают содержание углекислого газа в атмосфере, который может являться причиной глобального потепления климата.

Разложение торфа является составной частью круговорота веществ в болотах. Есть лишь небольшое число работ, где минерализация торфа изучалась в лабораторных и полевых исследованиях, см. напр. [*Louis et al.*, 2003; *Turetsky*, 2004]. В этих работах скорость минерализации торфа определялась по эмиссии углекислого газа, и было установлено, что она составляет 59-140 мкг углерода на грамм торфа в день.

При определении разложения разных видов растений и их фракций в полевом эксперименте общепринятой является методика закладки высушенных образцов с известным весом в синтетических мешочках, которая в англоязычной литературе получила название litter bag technique/method. Однако, нам не известны работы, где этим методом определялась бы скорость разложения торфа. Мы впервые использовали эту методику для определения в полевом эксперименте скорости деструкции разных видов торфа. На начальном этапе работы выяснилось, что после высушивания свойства торфа меняются, что, предположительно, может повлиять на получаемый результат. Поэтому в нашем исследовании параллельно с высушенными образцами были заложены влажные пробы торфа.

Таким образом, в рамках изучения деструкции торфа в болотных экосистемах в полевом эксперименте возникла необходимость отработать методику, которая не применялась ранее на данном объекте и, возможно, модифицировать ее. Поэтому конкретной целью данной статьи является сравнение двух методик изучения деструкции торфа в болотах - путем закладки торфа в сухом и влажном состоянии, - и сравнение полученных результатов (без их интерпретации).

Объекты и методы

Объекты исследования

Работа проводилась на болотах Бакчарского болотного комплекса, который принадлежит восточным отрогам Большого Васюганского болота, расположен в подзоне южной тайги и территориально относится к Томской области (56°51 с.ш., 82°50 в.д.). Параллельная закладка сухих и влажных образцов торфа была сделана в трех болотных экосистемах: транзитной мезоолиготрофной топи (далее «топь»), краевой переходной к рямю части этой топи (далее «край топи») и на ряме.

Описание метода закладки проб торфа в синтетических мешочках

Метод закладки проб растительности в синтетических мешочках является общепринятым для исследования скорости разложения растительного вещества [*Козловская с соавт.*, 1978: с. 6-7]. В нашей работе этот метод был применен для изучения скорости деструкции торфа. Для этого в каждой из болотных экосистем был извлечен большой монолит торфа с глубины 40-60 см, который крепко отжимался при отборе; характеристика этих торфов приведена в таблице 1. Торф перебирался вручную для удаления крупных объектов: корневищ, кусочков древесины и т.п. Затем половина объема каждого вида торфа высушивалась в сушильном шкафу при температуре 80°C. Образцы торфа помещались в капроновые или нейлоновые мешочки с размером ячеек 0,2-0,3 мм. Сухие образцы торфа из ряма и края топи закладывались по 2 г, из топи – по 4 г. Большая влагоемкость и влагоудерживающая

способность торфа позволили ожидать, что при взвешивании равного количества влажного торфа, значения его сухого веса также будут близки. Влажный торф из рьяма и края топи взвешивался во влажном состоянии по 15 г, из топи – по 25 г. Объем образцов влажного торфа был приблизительно такой же, как объем сухих образцов. Влажность составила 84% для торфа из рьяма, 90% для торфа из края топи и 89% для торфа из топи.

Таблица 1. Характеристика торфов из разных экосистем

Экосистем <i>a</i>	Зольность, %	Степень разложения, %	Ботанический состав, %
Топь	5,4	15-20	<i>Sphagnum fallax</i> , 71,53±2,42, остатки <i>Carex rostrata</i> , 16,39±2,43, живые корни и корневища <i>C. rostrata</i> , 12,08±1,07
Край топи	1,4	10-15	<i>S. fallax</i> , 95,20±0,46, живые корни <i>Eriophorum vaginatum</i> , 4,80±0,46
Рям	2,4	5-10	<i>S. fuscum</i> , 98,88±0,13, живые корни кустарничков, 1,12±0,13

Во время взвешивания влажный монолит торфа держался в закрытом полиэтиленовом пакете и периодически перемешивался. В ходе взвешивания было отложено по восемь образцов каждого вида торфа для определения их веса в сухом состоянии. Эти образцы были взяты из разных мест торфяного монолита и взвешены в разное время на протяжении дня. Сухой вес образцов, взвешенных во влажном состоянии, приведен в таблице 2. Стандартная ошибка и коэффициент вариации веса торфа из влажных образцов после высушивания оказались невелики. Таким образом, при взвешивании влажного сфагнового торфа было получено почти одинаковое количество растительного вещества в каждой пробе. Это позволило рассчитывать на получение адекватных результатов эксперимента. Содержание большего количества остатков сосудистых растений в торфе топи было, на наш взгляд, причиной большего значения ошибки и коэффициента вариации.

Таблица 2. Средний сухой вес (*M*), стандартная ошибка (*m*) и коэффициент вариации (*c_v*) образцов торфа, заложенных во влажном состоянии

Экосистема	<i>M</i>	<i>m</i>	<i>c_v</i>
Топь	2,68	0,04	4,2
Край топи	1,51	0,01	2,3
Рям	2,46	0,03	2,9

Мешочки с сухими и влажным торфом помещались выше и ниже уровня болотных вод: на глубину 5-10 и 25-30 см в обеих топях, а на рьяме - на глубину 5-10 см на кочках и 25-30 см в межкочьях от поверхности сфагнового покрова. Закладка образцов торфа проводилась с 11 по 15 июня 2006 г. Мешочки помещались непосредственно в торфяную залежь, а место закладки отмечалось. Однако, это оказалось неудобно, так как мешочки с торфом постепенно смещались внутри торфяной залежи, особенно в топяных экосистемах, и их нахождение во время последующих отборов вызывало трудности. Смещение образцов произошло даже на рьяме в верхнем слое торфа через 2 года после закладки. Поэтому в дальнейшей работе мешочки прикреплялись на пластиковые стержни с отмеченным уровнем поверхности сфагнового покрова «0» на таком расстоянии от «0», чтобы при закладке в торфяную залежь оказаться на нужной глубине. В этом случае последующий отбор проб не вызывал затруднений. Отбор образцов производился через 0,5; 1,5; 2,5; 3,7; 12 и 15 месяцев в повторности 5-8 штук. Из проб отбирались живые корни. Фракции корней и торфа без корней отдельно высушивались и взвешивались.

Сравнение методов закладки торфа в высушенном и влажном состоянии

Закладка высушенного торфа имеет некоторые существенные недостатки, что и стало причиной поиска возможности закладывать пробы в исходном влажном состоянии. При высушивании сфагновый торф теряет свою структуру: от стебля мхов отделяются боковые ветви, а от ветвей – листья, то есть происходит начальная деструкция растительного вещества. При этом наблюдалась дифференциация торфяного монолита: мелкая фракция, ветви и листья, просыпаются вниз, а сверху оказываются более крупные стебли сфагново. В таком случае во время взвешивания в пробу может попасть преимущественно одна фракция. Другой недостаток заключается в том, что мешочки с торфом «пылят», при этом через ткань выпадают мелкие частицы торфа. Было определено, что в этом случае теряется около 0,001-0,002 г из одного образца. То есть происходит потеря массы торфа, не связанная с естественным процессом разложения. Кроме того, не исключено изменение химического состава вещества торфа при высушивании за счет комплексного воздействия температуры и кислорода воздуха.

Закладка влажных образцов лишена всех перечисленных недостатков. Есть также техническое преимущество при работе с влажными образцами, которое заключается в отсутствии необходимости иметь сушильный шкаф на стационаре, и для работы требуются только весы. Это дает возможность проделать работу сразу после отбора монолитов торфа без транспортировки их в лабораторию в случае отсутствия сушильного шкафа на полевом стационаре. Несомненным недостатком закладки проб во влажном состоянии является невозможность точно определить исходный вес закладываемых образцов. Однако, небольшая величина стандартной ошибки веса торфа после высушивания (см. табл. 2) позволяет использовать эту методику.

Статистическая обработка полученных результатов

Статистическая обработка результатов исследования была проведена как с использованием компьютерных программ, так и вручную. Подсчет средней арифметической, стандартной ошибки, коэффициента вариации,

коэффициента корреляции проводился при помощи статистических функций программы MS Excel 2003. Оценка достоверности разницы между результатами вычислялась на программируемом калькуляторе в соответствии с [Рокицкий, 1973, с. 94]. Для определения доверительной вероятности использована таблица [Рокицкий, 1973, с. 297], промежуточные значения критических точек распределения Стьюдента для уровня доверительной вероятности 0,002 взяты из [Гмурман, 2001, с. 466]. Гипотеза принималась достоверной при уровне доверительной вероятности 90%. Дисперсионный анализ проводился с использованием модуля ANOVA/MANOVA программы STATISTICA версии 6.0.

Результаты и обсуждение

В большинстве случаев потери массы влажных проб были меньше, чем сухих, и разница достигала 11,5% (рис. 1). Изменение массы проб, заложенных во влажном состоянии, значительно превысило ошибку определения массы заложенных образцов (см. табл. 2). При этом ход изменений и для сухих, и для влажных образцов был схож. Данные, полученные после инкубации образцов, заложенных в сухом и влажном состоянии, во многих случаях коррелировали между собой (табл. 3). Высокие значения коэффициента корреляции получены для обоих слоев торфа в ряме и для верхних слоев торфа топяных экосистем. В нижних слоях торфа топей коэффициенты корреляции были невелики.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции динамики разложения сухих и влажных проб торфа

<i>Экосистема</i>	<i>В слое 5-10 см</i>	<i>В слое 25-30 см</i>
Топь	0,97	0,40
Край топи	0,71	0,53
Ряма	0,98	0,99

Таблица 4. Коэффициенты вариации (%), определенные для результатов для верхнего слоя торфа, полученных разными методами

<i>Срок отбора</i>	<i>Ряма</i>		<i>Край топи</i>		<i>Топь</i>	
	<i>сухие</i>	<i>влажные</i>	<i>сухие</i>	<i>влажные</i>	<i>сухие</i>	<i>влажные</i>
I	11,6	3,1	2,0	2,2	н.д.	н.д.
II	7,8	4,3	3,0	3,7	6,9	2,9
IV	3,9	8,4	4,8	4,0	7,4	8,0
V	5,8	4,3	2,1	2,7	4,8	7,9

Примечания. Сроки: I – 30 июня 2006, II – 25 июля 2006, IV – 30 сентября 2006, V – 10 июня 2007.

Таблица 5. Оценка достоверности разницы между результатами, полученными в разные сроки после закладки сухих и влажных проб

<i>Срок отбора</i>	<i>В слое 5-10 см</i>			<i>В слое 25-30 см</i>		
	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>α</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>α</i>
<i>Ряма</i>						
I	1,522	10	> 0,10	0,342	10	> 0,10
II	0,662	8	> 0,10	0,089	8	> 0,10
IV	1,979	8	< 0,10	2,153	8	< 0,10
V	4,382	8	< 0,01	0,174	8	> 0,10
VI	0,227	8	> 0,10	2,935	8	< 0,02
<i>Край топи</i>						
I	0,200	14	> 0,10	7,724	14	< 0,001
II	0,685	14	> 0,10	3,171	14	< 0,01
III	3,213	14	< 0,01	1,853	14	< 0,10
IV	3,935	14	< 0,002	0,430	14	> 0,10
V	1,886	8	< 0,10	0,695	8	> 0,10
<i>Топь</i>						
II	3,095	8	< 0,02	4,748	8	< 0,002
IV	0,149	8	> 0,10	1,712	8	> 0,10
V	1,481	8	> 0,10	0,059	8	> 0,10

Примечания. t – критерий Стьюдента, n – число степеней свободы, α – доверительная вероятность. Отборы: I – 30 июня 2006, II – 25 июля 2006, III – 24 августа 2006, IV – 30 сентября 2006, V – 10 июня 2007, VI – 24 сентября 2007.

Мы попытались оценить, влияет ли метод закладки образцов на разброс получаемых данных. Для этого были подсчитаны коэффициенты вариации (табл. 4). Выяснилось, что в топяных экосистемах они хорошо согласуются между данными, полученными разным способом закладки. В ряме коэффициенты вариации различались в большей степени и, видимо, не были связаны с использованной методикой.

Достоверность разницы между данными, полученными в разные сроки отбора при закладке сухих и влажных проб, приведены в таблице 5. В ряме в первые два отбора не было обнаружено достоверной разницы. В последующие отборы появилась статистически значимая разница между результатами, полученными разными

методиками закладки. В последующие отборы достоверность разницы в верхнем слое уменьшилась. Сходная картина наблюдалась в верхнем слое краевой части топи, но в нижнем слое топи различие между «сухими» и «влажными» пробами проявились в первые же отборы после закладки. В дальнейшем разница в результатах перестала быть статистически значимой. В топи достоверная разница в полученных результатах была в начале эксперимента, а потом разница также стала недостоверной.

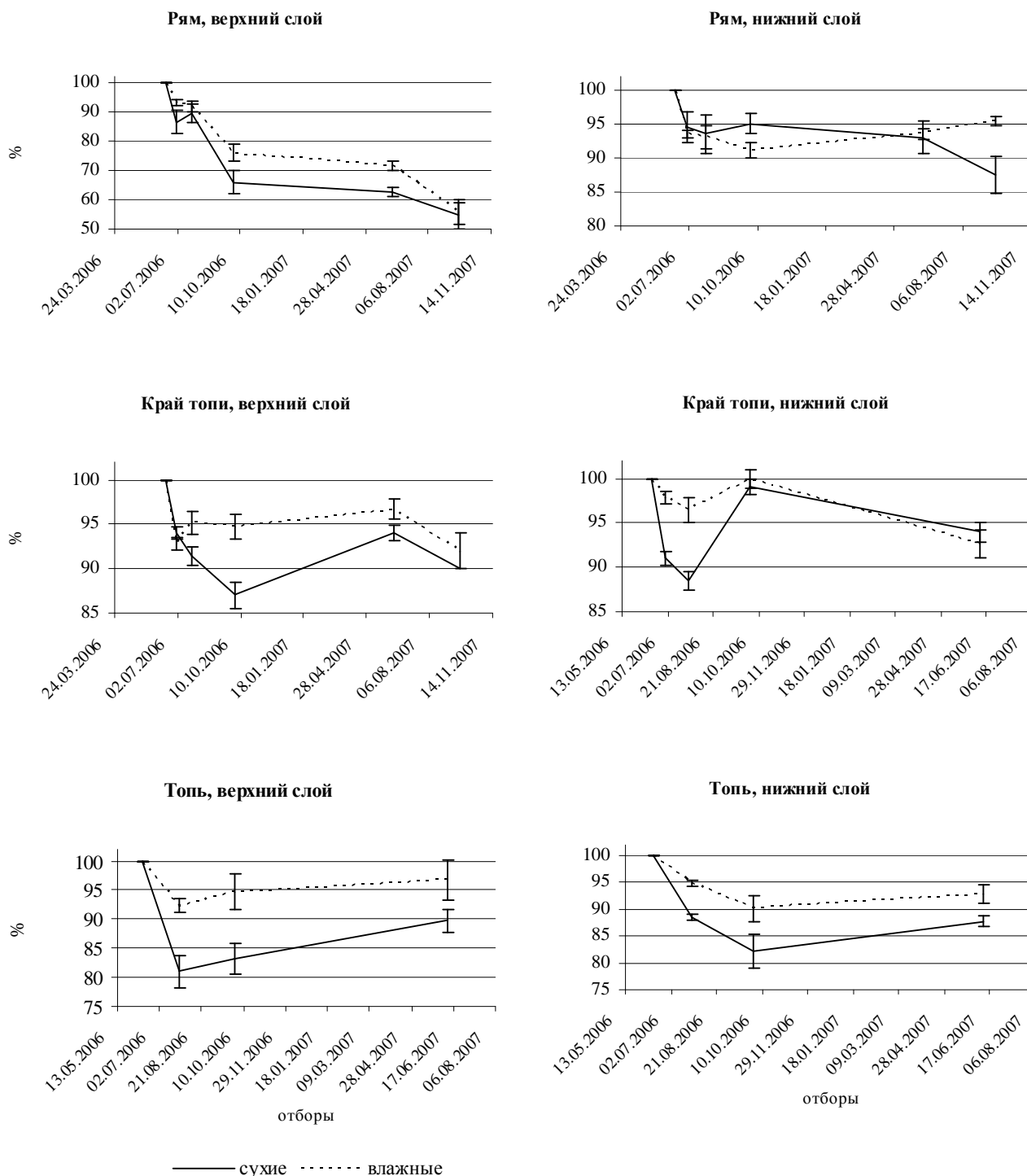


Рис. 1. Изменение массы сухих и влажных проб торфа (% от исходного) в различных экосистемах на разных глубинах.

Складывается впечатление, что закладка сухих или влажных образцов оказывает влияние на скорость разложения в первый период - либо сразу, либо спустя некоторое время. Однако, через год результаты, полученные обоими способами, в большинстве случаев не различались достоверно. Вероятно, во время высушивания торфа происходит его начальная деструкция, что является причиной больших потерь массы торфа, заложенного в высушенном состоянии, и наличия статистически значимой разницы в получаемых результатах в первый период эксперимента. Дальнейшая деструкция связана с изменением химического состава растительного вещества торфа. Этот процесс протекает в болотах очень длительное время. Поэтому через год разница в результатах, полученных обоими способами, выравнивается и перестает быть статистически значимой.

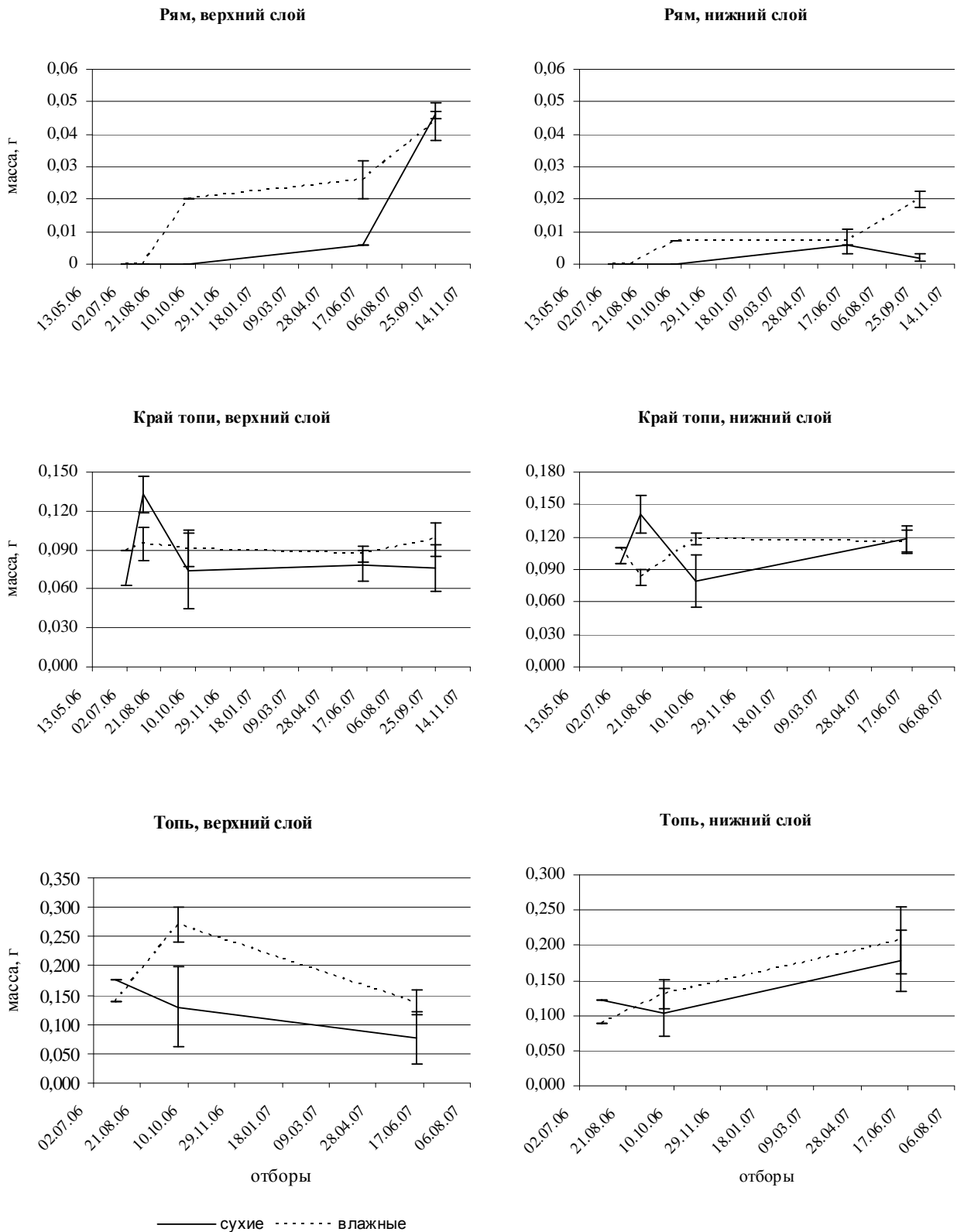


Рис. 2. Изменение массы живых корней, прорастающих в пробы торфа.

Мы предположили, что, несмотря на подтвержденную разницу в результатах, полученных при закладке сухих и влажных образцов, влияние других факторов может оказаться более значимым. Чтобы проверить это предположение был проведен дисперсионный анализ отдельно для проб, заложенных в верхнем и более глубоком слое торфяной залежи (табл. 6). Было выявлено, что место закладки образцов, является значимым фактором, а метод закладки – нет. При этом фактор «место закладки» в данном случае подразумевает не только тип болотной экосистемы, где были заложены пробы, но также вид заложенного торфа. В нашем эксперименте невозможно установить, что именно, тип экосистемы или вид торфа, действительно влияет на результат опыта, так как не проводилось реципрокного эксперимента.

Таблица 6. Результаты дисперсионного анализа

Факторы	Для слоя 5-10 см			Для слоя 25-30 см		
	<i>n</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Место закладки	2	98,53	0,01	2	48,44	0,02
Метод закладки	1	10,29	0,09	1	0,25	0,67

Примечания. *n* – число степеней свободы, *F* – критерий Фишера, *p* – уровень значимости.

При проведении данного эксперимента важно учитывать массу живых подземных органов сосудистых растений, прорастающих в пробы торфа, поскольку корни и корневища участвуют в пополнении запаса торфа на протяжении всей зоны распространения корней [Frolking *et al.*, 2001; Коронатова и Шибарева, 2009]. Поэтому была предпринята попытка оценить влияние способа закладки проб на массу живых корней и корневищ, прорастающих в мешочки (рис. 2). Предполагалось, что использованный метод не окажет существенного влияния на результаты. Однако, выяснилось, что средние значения запасов подземных органов во «влажных» пробах были выше, хотя полученные результаты были близки при использовании обеих методик. Кроме того, в ряде случаев планки погрешностей перекрывались, что позволяет предположить отсутствие достоверной разницы между запасом подземных органов в «сухих» и «влажных» образцах в отдельные сроки отбора. Следует отметить, что в первых отборах, сделанных в течение июня-августа 2006 г., повторности не соблюдались, поэтому в этих случаях абсолютная погрешность была посчитана по средней относительной погрешности тех отборов, где она была известна. В ряме, где запас корней был самым низким, прорастание ими проб, заложенных во влажном состоянии, началось раньше, а запасы выше. В топяных экосистемах обращает на себя внимание перекрест графиков в один из первых отборов, когда наблюдалось большее содержание подземных органов в «сухих» пробах по сравнению с «влажными». Видимо, торф, подготовленный тем или иным образом, различается по своим свойствам, которые оказывают влияние на естественный рост корней и корневищ, создавая более или менее привлекательные условия для их прорастания.

Заключение

Поскольку при использовании влажных образцов материал подвергается меньшей обработке и менее изменен, можно предположить, что результаты, полученные при этом, более адекватно отражают реальные процессы, происходящие в торфяной залежи болотных экосистем. Следовательно, использование высушенного торфа в эксперименте приведет к получению завышенных оценок потери массы торфа, особенно в первый год проведения эксперимента, и недооценки запаса живых подземных органов сосудистых растений. С другой стороны, различия, полученные при использовании двух методик, несущественны по сравнению с различиями, обусловленными видом торфа или болотной экосистемы. Кроме того, динамика изменений массы торфа в случае закладки как сухих, так и влажных образцов является сходной. Таким образом, для проведения многолетнего эксперимента по разложению торфа возможно использование обеих методик с учетом указанных особенностей.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность Евгении Паршиной, своим коллегам, а также студентам Сибирского государственного Медицинского университета (г. Томск), которые помогали в проведении полевого эксперимента. Работа поддержана грантом СО РАН для молодых ученых.

Список литературы

- Иванов К.Е., Новиков С.М. (ред.). 1976. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. – Л.: Гидрометеоиздат. – С. 9.
 Гмурман В.Е. 2001. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа. – 479 с.
 Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. 1978. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука. – 176 с.
 Коронатова Н.Г., Шибарева С.В. 2009. Изменение массы торфа в процессе его разложения на болотах Польши и Западной Сибири // Материалы Российской конференции «Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу» (г. Томск, 8-10 октября 2009 г.). – Томск: Аграф-Пресс. – С.247-249.
 Рокицкий П.Ф. 1973. Биологическая статистика. – Минск: Вышейш. школа. – 320 с.
 Frolking S. *et al.* 2001. Modeling northern peatland decomposition and peat accumulation // *Ecosystems*, **4**, 479-498.
 Louis V.L.ST. *et al.* 2003. Mineralization rates of peat from eroding peat islands in reservoirs // *Biogeochemistry*, **64**, 97-110.
 Turetsky M.R. 2004. Decomposition and organic matter quality in continental peatlands: the ghost of permafrost past // *Ecosystems*, **7**, 740-750.
 Yefremov S.P., Yefremova T.T. 2001. Present stocks of peat and organic carbon in bog ecosystems of West Siberia // Carbon Storage and Atmospheric Exchange by West Siberian Peatlands / Bleuten W., Lapshina E.D. (eds.). – Tomsk. - pp. 73-78.

AN INVESTIGATION OF THE PEAT DECOMPOSITION IN MIRES USING METHOD OF INCUBATION OF DRY AND WET SAMPLES

N.G. Koronatova

In the paper two techniques of experimental studying of peat decomposition in three mire ecosystems of Bakchar complex (Western Siberia) are compared. The investigation was carried out in a raised bog, in a poor fen and in the transitional to the raised bog part of the poor fen. From each mire ecosystem a big monolith of peat was retrieved and litter bag experiment was designed. A half part of each monolith was dried, the dried up and the moist samples of peat were enclosed in synthetic litter bags, which were located in a peat deposit at 5-10 and 25-30 cm depth. The weight of dry peat samples were 2 or 4 g per litter bag. In order to estimate peat mass

losses from moist samples, we leave 8 of them, dried and weighted. The weight of moist samples after drying were 2.46 ± 0.03 , 1.51 ± 0.01 and 2.68 ± 0.04 g in the raised bog, transitional part of the poor fen and the poor fen, respectively. The samples were collected several times during 1.5 year in 5-8 replicates, separated into peat and root fractions, dried up and weighted.

Peat mass losses from dried up samples were higher than from non-dried ones in 5 cases from 6. Reliability of a difference in the obtained estimates has been revealed almost in all cases in first three months of incubation, and in one year the difference is not become authentic. Pattern of peat mass dynamics during a year was similar for dried up and non-dried samples, especially in the raised bog and in the upper layer of the poor fen in which the correlation coefficient was 0.97-0.99. The factor analysis has shown essential influence of the place of peat incubation on peat mass losses (i.e. mire ecosystem and/or peat type) and it has not revealed the influence of using technique. Mass of roots penetrated in samples was higher in samples with non-dried peat. Thus, both methods showed comparable estimates, some overestimate of peat mass loss may be obtained using dried up samples. Absence of physical decomposition of peat moss material that usually take place during drying and low value of standard error allow to use non-dried peat for the litter bag experiment of peat decomposition.

Keywords: bog, fen, peat, decomposition, litter bag method.

Поступила в редакцию: 15.11.2009
Переработанный вариант: 07.12.2009