

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Т. В. Дементьева, О. Ю. Богданова, Н. А. Шинкеева**

**ФИЗИКОХИМИЯ И БИОЛОГИЯ ТОРФА.  
РУКОВОДСТВО ПО МЕТОДАМ ИЗУЧЕНИЯ  
ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО  
ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ**

**Методическое пособие**

**Томск 2011**

УДК 574.4  
ББК 40.3я73  
Д 26

Печатается по решению  
учебно-методического совета  
Томского государственного  
педагогического университета

**Д26 Дементьева Т.В. Физикохимия и биология торфа.** Руководство по методам изучения трансформации органического вещества торфов: методическое пособие / Т.В. Дементьева, О.Ю. Богданова, Н.А. Шинкеева. – Томск: Томский ЦНТИ, 2011. – 68 с.

В методическом пособии приводятся методы изучения трансформации органического вещества в торфяной залежи: метод частично изолированных проб, абсорбционный метод, метод определения фракционно-группового состава органического вещества по Н. Н. Бамбалову, хемосорбционный метод, лазерного оптико-акустического газоанализа, а также с нашими дополнениями – методика по изучению трансформации торфов и растений торфообразователей.

Методическое пособие разработано для обеспечения дисциплины «Физикохимия и биология торфа» и предназначено для студентов биолого-химического факультета, а также может быть полезным для специалистов, работающих в области торфопедологии, научных сотрудников, аспирантов, студентов других направлений.

**Научный редактор:** член-корр. РАСХН, профессор Томского государственного педагогического университета Л. И. Инишева

**Рецензент:** д.с.-х.н. Р. П. Воробьева

**ISBN 978-5-89702-293-9**

© Томский государственный педагогический университет  
© Т. В. Дементьева, О. Ю. Богданова, Н. А. Шинкеева

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
<b>1. Общие представления о трансформации органического вещества торфов.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Полевые методы изучения трансформации органического вещества торфяных почв и торфов.....</b>	<b>12</b>
2.1. Метод частично изолированных проб.....	12
2.1.1. Характеристика и описание метода.....	12
2.1.2. Результаты исследований.....	15
2.2. Абсорбционный метод.....	19
2.2.1. Характеристика метода.....	20
2.2.2. Совершенствование абсорбционного метода.....	20
2.2.3. Описание метода.....	22
2.2.4. Результаты исследований.....	24
<b>3. Модельные эксперименты по изучению трансформации органического вещества торфов.....</b>	<b>26</b>
3.1. Хемосорбционный метод.....	27
3.1.1. Характеристика метода.....	27
3.1.2. Описание метода.....	30
3.1.3. Результаты исследований.....	34
3.2. Метод лазерного оптико-акустического газоанализа.....	43
3.2.1. Характеристика метода.....	43
3.2.2. Сравнительный анализ использования метода оптико-акустического газоанализа и хемосорбционного метода.....	43
<b>4. Метод определения фракционно-группового состава органического вещества торфов (по Н.Н. Бамбалову).....</b>	<b>46</b>
4.1. Описание метода.....	46
4.1.1. Определение содержания битумов.....	47
4.1.2. Определение содержания гуминовых веществ.....	48
4.1.3. Определение содержания водорастворимых и легкогидролизуемых веществ.....	51
4.1.4. Определение трудногидролизуемых веществ и негидролизуемого остатка.....	53
4.2. Результаты исследований.....	54
<b>Библиография по проблеме трансформации органического вещества торфов.....</b>	<b>57</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Диоксид углерода является одним из конечных процессов минерализации органического вещества (ОВ). Поэтому, зная скорость продуцирования  $\text{CO}_2$ , можно оценить потери органического вещества вследствие минерализации органического вещества. Абсорбционный метод отличается от других методов определения скорости выделения  $\text{CO}_2$  своей доступностью. Поэтому в предлагаемом руководстве большое внимание уделяется, прежде всего, этому методу в разных его модификациях (см. 2.2). Руководство составлено следующим образом – после описания метода приводятся результаты исследований, полученные этим методом.

Руководство начинается с описания общего представления о трансформации органического вещества торфов. Торф является неотъемлемым компонентом торфяных почв. Основной проблемой при освоении торфяных почв является ускоренная минерализация органического вещества и исчезновение органогенных горизонтов как ценного биоресурса. Снижение потерь органического вещества из торфяной залежи – одна из основных задач при оценке биосферной роли болот. С этих позиций очень важным является изучение трансформации органического вещества непосредственно в торфяной залежи. Поэтому в главе 2 приведены метод Н.Н. Бамбалова (метод частично изолированных проб), а также с нашими дополнениями – методика по изучению трансформации торфов и растений торфообразователей. Не могли мы обойти вниманием и метод определения фракционно-группового состава органического вещества по Н.Н. Бамбалову в связи с редким его использованием.

Пособие заканчивается библиографией по вопросу трансформации органического вещества торфов.

Пособие предназначено для специалистов, работающих в области торфоведения, научных сотрудников, аспирантов, студентов других направлений.

## 1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ

Традиционно считается, что процесс разложения растительных остатков состоит из минерализации, т.е. распада белков, жиров и углеводов растений до простых химических веществ ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , минеральных солей), и гумификации – синтеза новых, устойчивых к разложению веществ – гумусовых кислот, являющихся аккумуляторами энергии и элементов питания. Главными агентами процессов трансформации растительных остатков в почвах выступают микроорганизмы.

Современный уровень представлений о процессе гумификации отражает кинетическая теория Д.С. Орлова (1990), основанная на общих представлениях термодинамики. В основе ее лежит неодинаковая биотермодинамическая устойчивость ОВ разных классов. Суть этой теории сводится к тому, что вся цепь превращений ОВ задерживается на том звене, которое представлено наиболее устойчивыми соединениями. По мнению авторов, это гуминовые кислоты и гумин.

Скорость деструкции отдельных органических соединений определяется, прежде всего, их способностью вступать в реакции. Наименее реакционно-способными являются полностью восстановленные соединения с насыщенными связями, более активны в реакциях ненасыщенные или частично окисленные соединения. Поэтому сахара, многоатомные спирты, оксикислоты являются высокореакционными соединениями и служат источником углерода для очень большой группы микроорганизмов. Наименее реакционно-способные углеводороды, гумусовые кислоты могут усваиваться лишь специфическими группами микроорганизмов, и поэтому являются самыми медленно минерализующимися.

Традиционно при изучении преобразования ОВ в почвах обычно рассматривают либо минерализацию, либо гумификацию, причем наблюдается искусственная дифференциация в зависимости от генезиса почв. При исследованиях минеральных почв особое внимание уделяют процессам гумификации – накоплению гуминовых веществ как элемента плодородия, а при исследовании торфяных почв – минерализации, поскольку стоит проблема снизить ее до минимума.

Согласно Д.С. Орлову, О.Н. Бирюковой и Н.И. Сухановой (1996), элементарные реакции гумификации и минерализации пересекаются. Так, окисление, приводящее к углублению гумификации, сопровождается выделением воды и диоксида углерода. Реакции декар-

боксилирования, деметилирования и дезаминирования приводит к конденсации молекул и усложнению структуры органических веществ, а также высвобождению молекул  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_3$ . Таким образом, одна и та же реакция может иметь двойкий результат: и гумификацию, и минерализацию. Количественное соотношение между конечными продуктами реакции и определяет направленность процесса трансформации ОВ как единого процесса.

Имеются данные (Орлов и др., 1990), что интенсивная гумификация сопровождается высокими темпами минерализации. Это обусловлено совокупностью внешних условий и внутренних факторов. К. И. Кобак (1988) на основе литературных данных рассчитала соотношение процессов минерализации и гумификации в разных климатических поясах и разных типов почв. Для этого были оценены темпы накопления гумусовых веществ на основе данных о количестве опада и коэффициентов М.М. Кононовой (1976), из которых следует, что 6 % растительного опада преобразуется в гумусовые вещества, 2,5 % опада составляет стабильный в течение относительно продолжительного времени гумус и представляет собой «чистый вывод» или «нетто-сток» углерода в почвы. В результате расчетов было получено, что в среднем скорость минерализации в 16 раз выше скорости гумификации, а с учетом только нетто-стока в стабильную часть гумуса – в 40 раз. В болотных почвах бореального пояса скорость минерализации в 20 раз выше скорости гумификации. При этом в болотных почвах концентрация общего и «стабильного» углерода максимальна и составляет в среднем соответственно 200 и 133 кг/м<sup>2</sup>. Это свидетельствует о том, что в торфяных почвах все условия трансформации ОВ протекают со скоростью, минимальной для всех наземных биогеосистем, которая резко возрастает после осушения.

Для понимания сущности происходящих в торфяных почвах после осушения процессов рассмотрим в общих чертах образование торфа. Трансформация остатков болотных растений и образования торфа отличается быстрым затуханием во времени и отсутствием достаточных количеств минеральной составляющей (Кобак, 1988), которая активно участвует в образовании гумуса минеральных почв, связывая органическое вещество в органоминеральные комплексы. По данным Л.С. Козловской с соавт. (1978), выход торфа составляет 6–33 % от исходной массы растительных остатков, при этом минимальные значения характерны для низинных торфов, максималь-

ные – для верховых моховых, что не в последнюю очередь связано с химическим составом растительных остатков.

После попадания остатков болотных растений на поверхность почвы их биodeградация продолжается до момента, пока органическая масса находится в торфогенном слое – горизонте с переменным увлажнением, ниже которых практически отсутствует деятельная микрофлора, и процессы трансформации почти затухают.

R.S. Clymo (1992) выделяет в торфогенном горизонте 4 зоны от поверхности, наиболее ярко выраженные на олиготрофных болотах:

1. световая зона (зона фотосинтеза),
2. зона аэробного разложения,
3. переходная зона,
4. зона анаэробного разложения.

В верхней зоне происходит накопление биомассы, ее границы определяются глубиной проникновения солнечного света. В зоне аэробного разложения, с максимальной микробиологической активностью происходят наиболее существенные изменения физических и химических свойств растительных остатков. Нижняя граница аэробного слоя имеет сезонные колебания, синхронные колебаниям уровня болотных вод (УБВ). В анаэробном слое, где численность микробов незначительна, микробиологические процессы затухают, и происходит консервация ОВ, образование стабильного комплекса веществ торфа, практически не изменяющегося с течением времени. На этом этапе состав ОВ торфа является стабильным, или, по крайней мере, находится в состоянии динамического равновесия.

После осушения торфяных почв происходит резкая смена условий трансформации растительных остатков. Прежде всего, коренным образом меняются условия увлажнения, водный режим. Это приводит к смене состава фитоценоза, продуцировавшего торф. Из растительного покрова выпадают мхи, осоки, другие влаголюбивые травы. Поступление биомассы в верхние горизонты резко сокращается. Происходит уплотнение торфяных горизонтов. Коренным образом меняется микробоценоз верхних горизонтов. Все это вызывает изменение процессов, протекающих в почвенных горизонтах. Различают (Поздняков и др., 1998) 3 стадии деградации и эволюции торфяников после осушения и освоения:

1. Механическая деградация (механическая осадка).
2. Физическая деградация (разрушение структуры, физическая деградация растительных остатков, уменьшение скважности).

3. Химическая деградация (например, накопление Fe и токсичных форм удобрений + трансформация ОВ в высоко конденсированные комплексы).

Изменения в составе ОВ торфа происходят на всех стадиях. На первых стадиях наиболее активно происходит вынос растворенных, коллоидных и взвешенных частиц торфа с дренажными водами. Потери сухого вещества торфа при этом пропорциональны количеству удаленной воды и содержанию в ней частиц. По данным В.Е. Раковского (1970), из осушенных торфяных почв на верховом медиум-торфе вымывается 0,135 г ОВ с каждым литром болотной воды, а из осоково-древесного торфа – 0,22 г/л. При этом, больше битумов содержала болотная вода из медиум-торфа, а водорастворимого азота, гуминовых кислот и углеводов – из низинного осоково-древесного (то есть и здесь существует связь с ботаническим составом).

Параллельно происходит резкая интенсификация процессов трансформации ОВ: как минерализации, так и гумификации. Скорость трансформации ОВ торфа зависит от многих факторов, которые будут рассмотрены ниже.

В настоящее время попытки построить адекватную модель трансформации ОВ в почвах сдерживаются до сих пор существующей неполной ясностью в отношении компонентов почвенного гумуса, а также недостатком экспериментальных данных. Подавляющее большинство работ касается данных по трансформации ОВ минеральных почв в агроценозах или под естественной растительностью.

В связи с этим рассмотрим работы по исследованию трансформации ОВ торфа.

Исследованиями было установлено, что при освоении торфяной почвы потери отдельных групп и элементов ОВ не совпадают с общими потерями ОВ.

По результатам четырехлетних наблюдений (Скоропанов и др., 1973) был получен следующий ряд фракций ОВ по их подверженности биохимической деструкции (использовалась собственная методика фракционирования):

ЛГ > Б > Гц > ОМ > НО > ГК<sub>2</sub> > ФГ; ТГ > Ц > ГК > ГК<sub>1</sub>

Отсюда можно предположить, что виды торфа, обогащенные по сравнению с другими видами битумами, ЛГ веществами и гемипеллюлозами, должны быть подвержены минерализации в большей степени. По этой же причине содержание азота в раститель-



ных остатках при трансформации снижается медленнее, чем содержание углерода, поскольку белковые вещества устойчивей, чем углеводы (Раковский, Пигулевская, 1978). Вместе с тем известно, что существенно снижают темпы минерализации ингибирующие вещества-антисептики. Отчасти именно наличие антисептиков в составе болотных растений способствует их неполному разложению и консервации в торфогенном слое. Однако в торфе в отличие от исходных торфообразователей содержание антисептиков всегда ниже (Ривкина с соавт., 1957). Следовательно, их ингибирующая роль при разложении торфа снижается. Вместе с тем имеются данные, что при осушении сфагновых мхов происходит окисление фенольных соединений и перевод их хиноидную форму, что также токсично для минерализующей микрофлоры.

Аналогичный химический состав органической части торфа при одинаковом ботаническом составе и степени разложения должен предполагать идентичность протекания процессов трансформации торфа при осушении. Исходя из этого предположения и на основании особенностей состава ОВ, самую медленную скорость разложения должны иметь среди низинных торфов – древесные и травяные, а среди верховых – сосновые, пушицевые и шейхцериевые. Однако необходима практическая проверка.

Наиболее детальные исследования по особенностям трансформации торфяных почв разного ботанического состава проводились Н.Н. Бамбаловым с сотр. (1984). Ими были выявлены особенности изменений в составе ОВ при осушении и освоении торфяных почв в зависимости от геоботанической природы. Так, в осушенной залежи тростникового торфа наблюдалось снижение ФК, в то время как содержание ГК не менялось. У осокового торфа при одинаковой степени разложения наблюдается уменьшение ФК и накопление ГК. Это может быть связано как с особенностями собственно химических превращений ОВ торфа, так и с условиями выноса водорастворимых органических веществ при осушении.

По мнению Н.Н. Бамбалова (1984) темпы минерализации ОВ тростникового и древесного торфа в 3 раза ниже, чем у гипнового и осокового. Эти параметры вошли в предложенную авторами модель баланса ОВ торфяных почв.

В.Н. Ефимов с сотр. (1986) на основании обобщения литературных и собственных данных доказал, что наиболее динамичным при осушении является ОВ моховых и травяных торфов с низкой сте-

пенью разложения, а наименее – ОВ древесных торфов с высокой степенью разложения.

А.П. Гаврильчик (1992) на основе анализа литературных данных по изменению ОВ при добыче торфа – более жестоком воздействии, чем даже использование осушенной залежи под пропашные культуры – также указывает, что эти изменения и их скорость возрастает при переходе от торфов древесной к торфам травяно-моховой группы. При этом максимальная скорость превращения углеводного комплекса наблюдается в первые 3–4 года (для используемых в сельском хозяйстве – в первые 10–15 лет).

Таким образом, особенности химического состава растений торфообразователей определяют результат процесса трансформации ОВ в торфяной почве, который в первую очередь выражается степенью разложения торфа – показателем уровня деструкции исходных растительных остатков.

Определяющее влияние химического состава растений на уровень деструкции ОВ в торфяных почвах доказывает тот факт, что виды торфа, состоящие почти целиком из растительных остатков одного вида, имеют постоянную для них и неизменно встречаемую в природе степень разложения. Так, степень разложения древесного торфа максимальна и составляет 40–50 %, травяного 30–40 % и мохового 25 % и ниже. В.Е. Раковский с соавт. (1978) указывает, что чем больше степень разложения отдельного торфа отличается от характерной для данного вида, тем реже встречается данный торф в природе. Эти различия он объясняет влиянием примеси других, не участвующих в ботаническом наименовании торфа видов растений, но, тем не менее, сохранивших свою структуру и различимых под микроскопом. Их присутствие часто заставляет болотоведов использовать в ботанической характеристике торфа три и более наименования растений.

Вместе с тем Л.С. Козловской с соавт. (1978) на основании ботанического анализа торфов и образующих их фитоценозов было установлено, что некоторые виды растений при торфообразовании частично или даже полностью исчезают. В группе исчезающих в процессе торфообразования растений – кустарнички, разнотравье, гипновые мхи; увеличивающихся по количеству своих остатков – пушица, зеленый мох; постоянных – сфагновые мхи и осоки. Исчезающие в торфе виды растений или их отдельные части, полностью теряя клеточное строение при торфообразовании, сохраняются лишь

в виде молекул и их фрагментов или переходят в новообразованные вещества торфа (гумусовые кислоты, гумин), тем не менее, они повышают величину его степени разложения и существенно влияют на химический состав торфа.

В тоже время исследователями отмечается определенная субъективность ботанического анализа (Bohlin, 1988; Dunberg, 1987), в связи с чем именно химический состав торфа имеет приоритетное значение по сравнению с ботаническим составом при определении качества торфа и направлений его использования, оценки его устойчивости к биохимической минерализации, разработки классификации торфяного сырья и т.п., поскольку компоненты химического состава определяются инструментально, с более высокой точностью и в меньшей мере подвержены фактору случайности. Поэтому предложенные в руководстве отдельные методы, позволяют ближе подойти к решению задачи разработки химической классификации торфов.

#### Литература

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 332 с.
2. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М., 1996. – 256 с.
3. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 248 с.
4. Кононова М.М. Формирование гумуса в почве и его разложение// Успехи микробиологии. – 1976. – Вып.11. – С. 134–151.
5. Козловская Л.С. Динамика органического вещества в процессе торфообразования / Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко В.И. – Л.: Наука, 1978. –172 с.
6. Clymo R.S. Models of peat growth // SUO. – Helsinki ISSN 0039-5471. –Vol. 43. – N 4–5, 1992. – P. 127–136.
7. Поздняков А.И. Деградация и эволюция торфяников при сельскохозяйственном использовании (теория и практика рационального использования) / Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д. // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: тез. докл. Т.1. – М., 1998. – С. 129–131.
8. Раковский В.Е. Химическая сущность процессов диагенеза торфа // Органическое вещество современных и ископаемых осадков. – М.: Наука, 1970. – С. 120–142.
9. Скоропанов С.Г. Минерализация органического вещества окультуренной торфяной почвы/ С.Г. Скоропанов, Н.Н. Бамбалов, Л.Т. Кахновская, Т.Я. Беленькая // Вести АН БССР. – 1973. – №4. – С. 37–43.

10. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. – М.: Недра, 1978.
11. Ривкина Х.И., Бенюшевич С.Ю., Кононцева Т.Д. К вопросу содержания антисептиков в торфе и торфообразователях // Труды Московского торфяного ин-та. Вып. 5. – Москва: Изд-во МТИ, 1957. – С. 249–255.
12. Бамбалов Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Под ред. А.В. Тишковича. – Мн.: Наука и техника, 1984, – 175 с.
13. Ефимов В.Н., Лунина Н.В. Изменение состава органического вещества торфяных почв за 70 лет сельскохозяйственного освоения // Почвоведение. – 1986. – №7. – С. 79–88.
14. Гаврильчик А.П. Превращение торфа при добыче и переработке. – Минск: Навука і тэхніка, 1992. – 199 с.
15. Bohlin E., Hamalainen M. Multivariate evaluation of the significance of quantitative botanical analysis in peat characterization // Proc. Int. Peat Congress VIII, Leningrad, 1988. – P. 211–222.
16. Dunberg A., Bohlin E., Geladi P. and Albano C. Automated identification of peat components by means of microspectrophotometry // International Peat Journal, 1987. – N 2. – P. 1–12.

## **2. ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФЯНЫХ ПОЧВ И ТОРФОВ**

### **2.1. Метод частично изолированных проб**

#### **2.1.1. Характеристика и описание метода**

Метод частично изолированных проб можно применять для изучения кинетики трансформации ОВ торфов разного ботанического состава, растений торфообразователей и для исследования биологической сработки мелиорируемых торфяных почв (Бамбалов, 1984).

Этот метод позволяет решить вопросы трансформации органического вещества торфов, торфяных почв, управления процессами почвообразования и минерализацией органического вещества. В этих целях необходимо изучение состава и свойств органического вещества торфяных почв и торфов разного генезиса и закономерностей его трансформации в процессе почвообразования.

Суть метода изучения баланса органического вещества состоит в количественном и качественном определении оставшегося в капсулах органического вещества после закладки навесок торфа определенной массы в верхние горизонты почвенного профиля на определенный срок. Схема закладки капсул в торфяной профиль на рисунке 1.

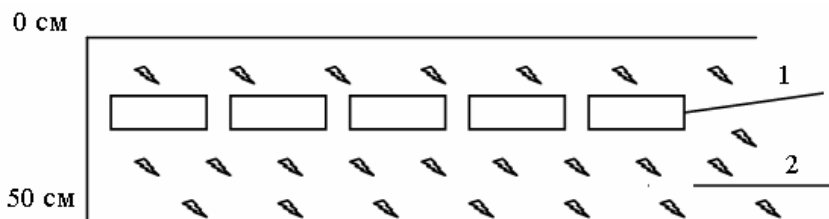


Рис. 1. Схема закладки капсул в торфяной профиль, 1 – капсула с исследуемым материалом; 2 – торфяной профиль

Капсулы готовят из капрона. Для образца торфа 0,5 кг понадобится капрон размером 40 \* 30 см. Капрон складывают пополам и по краям сшивают капроновыми нитками, оставляя один край свободным для помещения образца торфа. Каждой капсуле присваивают номер, который наносят на капсулу водоустойчивым маркером темного цвета. Кроме этого, при закладке капсул в торфяной профиль в стенку капсулы вшивается кусочек из мягкой пластмассы небольшого размера, на котором паяльником дублируют номер капсулы.

На протяжении всего опыта ведут рабочий журнал, в который записывают все текущие работы: координаты места отбора пробы, номер капсулы, вес пустой капсулы, вес капсулы с торфом.

В образцах перед закладкой торфа в капсулы проводят следующие исследования: фракционный состав органического вещества по Пономаревой – Николаевой (Аринушкина, 1970), фракционно-групповой состав азота по методу Э.И. Шконде и И.Е. Королевой (Замятина, 1975), микробиологические на средах МПА и КАА, целлюлозоразрушающие и гумусразрушающие микроорганизмы (Звягинцев, 1991), ферменты: каталаза, полифенолоксидаза, пероксидаза (Хазиев, 1990), ботанический состав торфа и степень разложения (ГОСТ 28245.2-89), зольность (ГОСТ 11305-83), содержание подвижных соединений азота, фосфора, калия (ГОСТы соответственно 27894,3-88; 27894,5-88; 27894,6-88).

Если опыты проводятся с целью определения биологической сработки мелиорируемых торфяных почв, то в этом случае в капсулы помещаются монолиты, взятые из соответствующих слоев торфяных почв. Со всех сторон каждого торфяного монолита отрезают слои толщиной 1-2 см, из которых готовят среднюю пробу для определения влаги и зольности.

Затем образцы торфа помещают в предварительно взвешенные капсулы и взвешивают с точностью до 0,01 г. После этого их зашивают капроновой нитью и помещают в торфяную почву. По истечении намеченного срока, капсулы осторожно извлекают из профиля и в лабораторных условиях определяют количество оставшегося в них органического вещества. Для чего каждую капсулу снаружи очищают аккуратно щеткой, удаляя остатки торфа с поверхности. Капсулу взвешивают, и вес записывают в таблицу. Пример заполнения журнала в таблице 1. Разница в массе заложенного в профиль и извлеченного после опыта органического вещества, выраженная в процентах к исходной массе, является мерой его потерь в данном слое торфа.

Таблица 1.

Пример заполнения журнала

Номер капсулы	Вес пустой капсулы	Вес капсулы с навеской торфа, исходный.	Вес капсулы с навеской торфа после извлечения	Где и когда был отобран образец

При 4–6-кратной повторности точность результатов, выраженных в тоннах на гектар, зависит от точности вычисления запасов органического вещества на гектар торфа, в конечном итоге – от точности определения объемной массы. Может произойти и такое, что вес торфа в капсуле не уменьшается, а увеличивается. Такой эффект описывают в своей статье В.Н. Переверзев и Е.И. Синкевич (1981). Затем в лабораторных условиях отбирают среднюю пробу для проведения анализов, описанных выше. Возможны другие варианты.

Последним этапом этого эксперимента считают обработку полученных данных и их обсуждение.

#### Оборудование и материалы

1. Капрон для изготовления капсул (номер ячейки 5);
2. Капроновые нитки;
3. Пластмассовые этикетки;
4. Ножницы;
5. Перманентный маркер;
6. Паяльник для нанесения номера на этикетки;
7. Полиэтиленовые пакеты для отбора проб торфа на анализ;
8. Весы электронные ВЛКТ-500;

9. Щеточку для очистки капсул;
10. Сухой противень или кристаллизатор для приготовления смешанного образца;
11. Ложка для отбора проб торфа на анализ.

### 2.1.2. Результаты исследований

**Торфа разного ботанического состава.** С целью изучения скорости и направления процесса трансформации органического вещества нами был проведен полевой опыт. В качестве объектов исследования были выбраны 7 видов репрезентативных торфов. Торфа были отобраны из разных объектов и помещены в капсулах в торфяную залежь на 3 года в деятельный горизонт согласно методике описанной выше. Краткая характеристика исходных образцов представлена в таблице 2.

Таблица 2.

Краткая характеристика исходных образцов

Вид, тип торфа	Зольность, %	Степень разложения, %
Медиум-торф, В	0,8	0
Фускум-торф, В	1,1	5 (10)
Древесно-сфагновый, П	8,4	30 (35)
Древесно-травяной, Н	10,4	40–45
Травяно-гипновый, Н	7,1	35
Древесный, Н	12,2	30
Гипновый, Н	46,8	55–60

Примечание: В – верховой, П – переходный, Н – низинный.

Для достижения поставленной цели в исходных и извлеченных образцах были проведены следующие анализы: водно-физические, химические и биологические.

Рассмотрим изменение химических и биологических свойств торфов. Количество общего углерода в исследуемых образцах торфа составляет в среднем 44,6 %. Можно отметить, что по содержанию общего углерода отличается лишь образец торфа гипнового состава, где содержание общего углерода в несколько раз ниже и составляет 9,56 %.

В групповом составе гумуса исследуемых торфов отмечается накопление гуминовых кислот, что указывает на гуматный состав гуму-

са. Однако нужно отметить, что торфа осоково-гипнового, травяно-гипнового, древесного и гипнового видов имеют гуматно-фульватный состав гумуса, а торфа медиум, фускум и древесно-сфагнового видов фульватно-гуматный состав.

Преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами связано с тем, что образование первых протекает достаточно обильно, а фульвокислоты могут выноситься водами. Анализ фракционного состава органического вещества позволяет выявить формы связей отдельных его фракций с минеральной частью почвы. Полученные данные свидетельствуют о том, что в торфах разного ботанического состава гуминовые кислоты распределены по фракциям неодинаково, с явным преобладанием 3-ей фракции. Максимальное накопление фракции 3 гуминовых кислот наблюдается в осоково-гипновом торфе. Первая фракция гуминовых кислот является наиболее окисленной менее полидисперсной, содержит большое количество кислых групп, сильнее насыщена минеральными элементами. Содержание этой фракции в исследуемых торфах колеблется от 2,26 до 9,68. На долю второй фракции приходится небольшое количество гуминовых кислот (связанных с кальцием). В верховых торфах она практически отсутствует, это можно объяснить бедностью растительного опада кальцием.

Численность микроорганизмов в образцах торфа разного ботанического состава неодинакова. Наиболее многочисленными группами являются аммонификаторы и микроорганизмы, усваивающие минеральные формы азота. Микрофлора, произрастающая на МПА в некоторых образцах торфа (медиум, фускум, древесно-травяной, травяно-гипновый и гипновый) имеет некоторое численное преимущество над микрофлорой, растущей на КАА. Соотношение КАА/МПА в этих видах торфа колеблется от 0,5 до 0,7, что свидетельствует о заторможенных минерализационных процессах. Сравнительно мало в исследуемых торфах актиномицетов, максимальная их численность характерна для торфов, в которых происходят интенсивнее процессы минерализации.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на направление и скорость процесса трансформации органического вещества большое влияние оказывает ботанический состав торфа.

**Растения торфообразователи.** С целью исследования процесса трансформации органического вещества растений торфообразо-



вателей было проведено исследование химического состава растений торфообразователей и гумифицированных растений.

В качестве объектов исследования нами были выбраны основные растения торфообразователи (осока и пушица) и заложены в капсулах в торфяной профиль на 2 года.

В процессе разложения в деятельном слое существенно изменяется вес навески растений торфообразователей, часть биомассы теряется за счет ее распада до конечных продуктов минерализации (таблица 3). Убыль в весе определяется химическим составом растений торфообразователей.

Таблица 3.  
Убыль массы растений в процессе трансформации

Образец	Убыль по массе, % мас.	Статистическое отклонение
Июнь		
Осока	29,3	2,08
Пушица	31,6	5,11

В процессе гумификации происходят качественные изменения состава растений торфообразователей, что прослеживается по фракционно-групповому составу органического вещества исходных растений торфообразователей и гумифицированных растений. В таблице 4 приведен частично групповой состав веществ в исходных растениях торфообразователях и гумифицированных растениях.

Таблица 4.  
Групповой состав растений торфообразователей и гумифицированных растений

Образцы	Содержание, % масс.		
	ВР	ГК	ТГ
Торфообразователи			
Осока	19,6	8,7	19,4
Пушица	25,7	5,3	14,5
Гумифицированные растения			
Осока	15,2	19,1	15,5
Пушица	14,1	31,1	15,5

Из полученных данных видно, что образование гуминовых кислот происходит уже на стадии отмирания растений торфообразователей, а в гумифицированных растениях осоке и пушице содержание гуминовых кислот увеличивается от 2 до 5 раз соответственно. При этом в гумифицированных растениях снизилось количество ВР соединений в гумифицированной осоке почти в 2 раза, а в пушице незначительно. Содержание ТГ в гумифицированных растениях подверглось небольшим изменениям, так в осоке произошло уменьшение, а в пушице наоборот незначительно возросло.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в процессе гумификации снижается содержание водорастворимых веществ, а количество гуминовых кислот наоборот увеличивается.

Торфяные монолиты (по Н. Н. Бамбалову). С целью изучения сработки органического вещества торфяных почв были отобраны монолиты торфов двух видов (тростниковый и осоковый) из торфяного профиля с двух разных глубин и заложены в деятельный горизонт торфяной почвы на 1 год (Бамбалов, 1984). Краткая характеристика торфов приведена в таблице 5.

Таблица 5.

Характеристика торфов

Вид торфа	Глубина отбора образцов, см	Степень разложения, %
Тростниковый	5–25	40–50
	40–60	35–40
Осоковый	5–25	20–25
	40–60	20–25

В образцах был проведен химический анализ органического вещества торфов

Проведенный эксперимент показал, что за период исследования тростниковый торф из верхнего горизонта потерял 5,54 % органического вещества, а из нижнего – 1,46 %, то есть почти в 4 раза меньше. Осоковый торф из верхнего горизонта потерял 11,8 % органической массы, а из нижнего – лишь 3,61 %. Разница в скорости минерализации верхних и нижних горизонтов торфа согласуется с разной устойчивостью их к кислотному гидролизу и термическому разложению. Так, содержание гидролизуемых веществ в тростниковом

торфе из верхнего слоя выше на 17,4, а у осокового на 14,5 %, чем в торфе с глубины 40–60 см.

Таким образом, можно сделать вывод, что в более глубоких слоях, где складываются анаэробные условия, идут процессы, приводящие к упрочнению молекул органических соединений.

### **Литература**

1. Бамбалов Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения. – Минск: Наука и техника, 1984. – 175 с.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М., 1970. – 487 с.
3. Замятина Б.Б. Методы определения азота в почве // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – С. 94–95.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии // Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М., 1991. – 304 с.
5. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. – М., 1990. – 189 с.
6. ГОСТ 28245.2–89. Торф. Метод определения ботанического состава и степени разложения. Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
7. ГОСТ 11305–83. Торф. Методы определения зольности. Введ. 01.01.85. взамен ГОСТ 7302–73. – М.: Изд-во стандартов, 1984.
8. ГОСТ (27894,3–88; 27894,5–88; 27894,6–88). Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы анализа. Введ. 01.01.90 до 01.01.2000. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 31 с.
9. Переверзев В.Н., Синкевич Е.И. Сравнительное изучение интенсивности минерализации торфа в почвах Кольского полуострова и Южной Карелии // Почвенно-мелиоративные исследования в Карелии. – 1981. – С.64–72.

### **2.2. Абсорбционный метод**

К этой группе относится большое количество респирационных методов, а именно различные способы определения минерализации ОВ по скорости образования конечного продукта  $\text{CO}_2$  (Л.А. Иванникова, 1993, Subke, 2004). Различие состоит в способах регистрации и анализе продуцируемого диоксида углерода, а сходство состоит в том, что измерение количества образующегося  $\text{CO}_2$  проводится в закрытых от атмосферного воздуха условиях. Недостатком подобных методов служит нарушение газообмена между торфом и атмосферой, что может приводить к истощению кислорода, накоплению избытка диоксида углерода и возможному угнетению естественного процесса минерализации, осуществляемого микрофлорой. Поэтому эти методы чаще всего используются в эксперимен-

тах на более короткое время при добавлении легкоразлагаемых веществ. А при проведении долговременных опытов с целью получения более полной характеристики о направлении и протекании процесса минерализации ОВ торфа, проводятся дискретные измерения скорости продуцирования  $\text{CO}_2$  путем периодической изоляции торфа от атмосферного воздуха. При этом пересчет полученных результатов на весь период опыта, учитывая изменчивость скорости процесса во времени, может приводить к существенным отклонениям от реальных результатов.

### **2.2.1. Характеристика метода**

Встретившись с необходимостью определения биологической активности почвы, как одного из показателей ее структурного состояния, В.И. Штатнов (1952) впервые применил метод улавливания свободно выделяющийся с поверхности почвы  $\text{CO}_2$  слабым раствором щелочи. Испытание этой простой в техническом отношении методики в лабораторной обстановке и в полевых условиях дало положительные результаты. Определение скорости продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой путем абсорбции его раствором щелочи осуществляется различными измерительными средствами. Одним из главных достоинств этого метода считается возможность обеспечения постоянного потока  $\text{CO}_2$  из торфа за счет градиента концентрации между изолируемой поверхностью торфа и абсорбентом. Материалы различных исследований свидетельствуют о том, что результаты определения зависят от размера сосуда-изолятора, площади поверхности, концентрации поглотителя и времени экспозиции. Принцип метода состоит в улавливании  $\text{CO}_2$  выделяющегося с поверхности торфа слабым раствором титрованной щелочи и количественное определение ее оттитровыванием избытка взятого поглотителя. В дальнейшем методика совершенствовалась.

### **2.2.2. Совершенствование абсорбционного метода**

Метод абсорбции прост в применении, чем и объясняется его широкое использование. Вместе с тем возникают вопросы, связанные с достоверностью полученных данных. Например, когда изолируем участок торфа сосудом-изолятором, то под ним отчасти меняются условия, которые могут оказывать влияние на выделение углекислоты из торфа. Поэтому многими учеными предлагается ряд дополнений. Так, Л. А. Иванникова (1992) в своей работе приводит критический анализ метода. Абсорбция  $\text{CO}_2$  щелочью состоит из его диффузионного переноса к поверхности поглотителя и химического взаимодействия молекул  $\text{CO}_2$  с раствором щелочи. Скорости этих

составляющих процесса абсорбции могут быть различны. Поскольку по результатам титрования фактически определяется количество связанного щелочью  $\text{CO}_2$ , то всегда возникает вопрос: соответствует ли в данных условиях скорость накопления  $\text{CO}_2$  в растворе щелочи скорости диффузии его к поверхности поглотителя? Решение этого вопроса имеет принципиальное значение в оценке истинности результатов и порой является предметом дискуссий.

А.Н. Заяц (1975) также в своей работе описывает метод абсорбции. К недостаткам почти всех модификаций этого метода относятся значительная продолжительность определения (2–3 часа) и нарушение правильного соотношения между изолированной площадью почвы и поглотителя. Последнее приводит к снижению в 1,5–2 раза величины выделения  $\text{CO}_2$ . Поверхность поглотителя должна составлять не менее 30–40 % от изолируемой площади. К недостаткам этого метода следует отнести и неудобство титрования в чашках, приводящее к расхождению параллельных определений, а также потребность в большом количестве сосудов-изоляторов.

Большое внимание совершенствованию метода было уделено И.И. Шарковым (1983, 1984, 1986, 1987). Как считает автор, прежде всего в процессе измерения необходимо обеспечить сохранение естественного градиента концентрации  $\text{CO}_2$  в системе почвенный воздух – надпочвенный воздух, а, следовательно, и естественной скорости диффузии  $\text{CO}_2$  из почвы. Кроме того, под действием сосуда-изолятора не должны существенно изменяться факторы, влияющие на биологическую активность в почве, ее режимы. Также для расчета суммарных потерь углерода из почвы за период наблюдения необходимо иметь динамику среднесуточных показателей скорости продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой, поэтому высказанные авторами условия должны реализовываться при определении в течение суточной или краткой ее экспозициях (Шарков, 1987). Проведенные многочисленные эксперименты показали, что использование сосуда-изолятора диаметром 10 см и 10 мл 1 н. NaOH при площади активной поверхности раствора 20 см позволяет измерять при суточной экспозиции скорость продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой вплоть до 1000 мг/м<sup>2</sup>/ч. Оптимальная глубина заделки нижнего края сосуда в почву 5 см. Расчет суммарных потерь углерода из почвы за вегетационный период может быть сделан на основе среднесуточных показателей скорости выделения  $\text{CO}_2$  из почвы, определенных с интервалом в 5 дней.

### 2.2.3. Описание метода

Для определения эмиссии  $\text{CO}_2$  выбирают ровный участок, с которого аккуратно ножиком удаляются все зеленые части растений, оставляя при этом корни. Если болотная вода выступает на поверхности торфяной залежи, то эксперимент не проводят. Схема проведения опыта - на рисунке 2. На поверхность ставят чашку Петри в двух повторностях (каждую чашку на расстоянии 5 см друг от друга) и определяют исходное содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе сосуда изолятора, для чего чашку со щелочью (10 мл) ставят под сосуд изолятор в тазик, наполненный дистиллированной водой. Аналогично проделывают с опытными чашками Петри, которые стоят непосредственно на поверхности торфяной залежи. Наполнение чашек Петри щелочью производят последовательно, сначала наполняют чашки Петри с контролем, а затем остальные по очереди и накрывают сосудом изолятором, края которого заглубляют в почву на 1,5–2 см. Для предохранения от перегрева стенки сосуда снаружи обертывают белой бумагой или закрашивают белой краской. Во время экспозиции готовятся к титрованию: на столбик или ствол дерева (если на объекте этого нет, то нужно взять с собой штатив) привязывают бюретку и наполняют ее кислотой. У поверхности торфяной почвы и на высоте двух метров определяют температуру воздуха, записывая все данные в журнал. В журнале также отмечают погоду. После экспозиции (для осушенных торфяных почв – не менее 30 минут, а для наливных торфяных почв – 45 мин.) сосуд изолятор снимают и избыток щелочи в чашках Петри титруют 0,05н кислотой по фенолфталеину.

При изучении дыхания торфяной почвы следует иметь в виду, что интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  из торфяной почвы меняется как в течение года, так и в течение суток. Отсюда следует, что единичные измерения дыхания торфяной почвы могут быть малодоказательны и случайны. В связи с этим определять дыхание в течение дня необходимо несколько раз (не менее 3 раз) за вегетационный период. При сравнении нескольких опытных участков определения должны проводиться одновременно на всех участках в часы максимального выделения  $\text{CO}_2$  либо с одинаковым интервалом на протяжении всего периода наблюдений.

Интенсивность дыхания рассчитывают по формуле:

$$M_{\text{CO}_2} / \text{л м}^2 \text{ час} = \frac{(\alpha - \beta) \cdot N_{\text{HCl}} \cdot 22}{S \cdot t}$$

где  $\alpha$  – количество мл 0,05 н HCl, пошедшее на титрование щелочи в контроле (среднее из 2-х определений);

$\beta$  – количество мл 0,05 н HCl, пошедшее на титрование щелочи в опыте;

$N_{HCl}$  – нормальность раствора HCl;

22 – количество мг  $CO_2$ , эквивалентное 1 мл 0,05 н HCl;

S – площадь почвы под изолятором,  $m^2$  (0,02  $m^2$ );

t – время экспозиции, час.

#### Оборудование и материалы

1. Бюретка на 50 мл;
2. Воронка для наполнения бюретки кислотой;
3. Пипетка на 10 мл;
4. Веребочки для крепления бюретки или штатив;
5. Груша;
6. Емкость для слива;
7. Дистиллированная вода (на 10 чашек Петри условно 1,5 литра воды);
8. Поддон или тазик (для одной чашки Петри 1 тазик);
9. 0,05 н HCl (из расхода 40-50 мл кислоты на 1 титрование);
10. 0,2 н. раствора щелочи (10 мл на одну чашку);
11. 1% фенолфталеин;
12. Чашки Петри;
13. Пластмассовый сосуд-изолятор;
14. Ножницы или нож для срезания растений;
15. Термометр срочный метеорологический.

#### ***Пример расчета интенсивности дыхания***

Количество HCl, пошедшего на титрование в контроле составило 38,35 мл, а количество израсходованного на опыт составило 37,05 мл, при нормальности кислоты (HCl) 0,05. Время экспозиции 45 минут, то есть  $\frac{3}{4}$  часа.

Согласно формуле (см. выше) рассчитывают мг  $CO_2$ .

$$MgCO_2 / 1m^2 час = \frac{(38,35 - 37,05) \cdot 0,05 \cdot 22}{0,02 \cdot 45}$$

#### 2.2.4. Результаты исследований

Выделение  $\text{CO}_2$  в значительной степени определяется временем суток. Поэтому с целью выявления наиболее оптимального времени измерения  $\text{CO}_2$  в зависимости от времени года, нами было проведено изучение динамики выделения  $\text{CO}_2$  из торфяной залежи сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза (П.3) и осоково-сфагновой топи (П.5) в течение дня. Определение суточной динамики проводилось с 10–18 часов с интервалом 2 часа между экспозициями.

Данные по суточной динамике  $\text{CO}_2$  представлены в таблице 6, а суточная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  на рисунке 2.

Таблица 6.

Суточная динамика выделения  $\text{CO}_2$ , мг / м<sup>2</sup> · час

Время измерения	П.3	П.5
Июнь		
12:00	29,3	60,0
14:00	73,3	0,0
16:00	80,6	12,2
18:00	51,3	7,3
Июль		
12:00	113,7	17,1
14:00	119,8	128,3
16:00	121	154
18:00	80,7	144,2
Сентябрь		
12:00	56,2	42,76
14:00	48,87	25,99
16:00	6,11	9,77
18:00	20,77	36,65

Полученные данные показали, что в июне максимальное выделение  $\text{CO}_2$  в течение дня наблюдается в П.3 в 16:00 (80,6 мг  $\text{CO}_2$  / м<sup>2</sup>·час), а минимальное в 14:00 в П.5 (0,0 мг  $\text{CO}_2$ /м<sup>2</sup>·час). В июле максимум приходится на 14:00 в открытой топи, а минимум на 10:00 также в П.5. В июле осоково-сфагновая топь характеризуется широкой амплитудой колебаний значений интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  (17,1–154 мг  $\text{CO}_2$ /м<sup>2</sup>·час), а выделение диоксида углерода сосново-



кустарничково-сфагнового фитоценоза изменяется в более узком интервале (80,7–121 мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{час}$ ). В сентябре максимум наблюдается в П.3 в 12:00, а минимум в этом же пункте в 14:00, составляя 56,2 и 6,11 мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{час}$  соответственно.

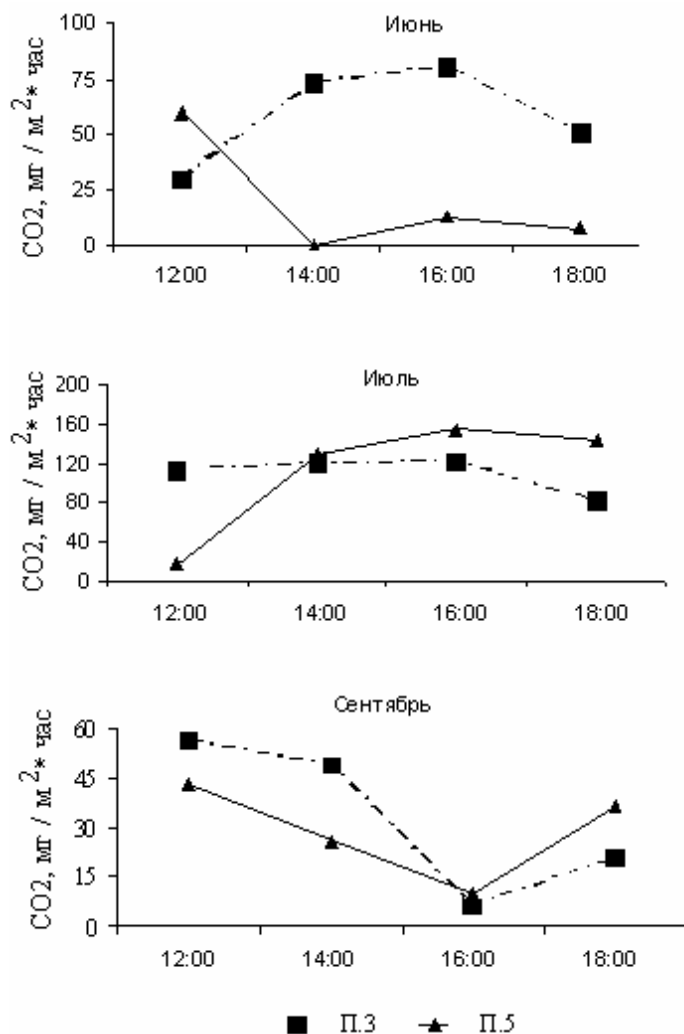


Рис. 2. Суточная динамика выделения  $\text{CO}_2$

Таким образом, согласно полученным данным, измерение интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  в течение летнего периода оптимально проводить в период с 12 до 16 часов. В осеннее время интервал удлиняется с 10:00 до 16:00 в связи с плавным изменением температурного режима воздуха.

#### **Литература**

1. Иванникова Д.А. Способ определения кинетики минерализации органического вещества почвы // Патент: SU №1806375 А3. 1993.
2. Subke J., Inglema I., Peressotti A., Vedove G.D. A new technique to measure soil  $\text{CO}_2$  efflux at constant  $\text{CO}_2$  concentration // Soil Biol. Biochem. – 2004. – V 36. P. 1013–1015.
3. Штатнов В.И. К методике определения биологической активности почвы // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина. – 1952. – Вып. 6. – С. 27–28.
4. Иванникова Л.И. Применение абсорбционного метода для определения естественного потока  $\text{CO}_2$  из почвы. – 1992.
5. Заяц А.Н. Биологическая активность почв и усовершенствование метода ее определения // Вестн. с.-х. науки. – 1975. – №9. – С. 78–83.
6. Шарков И.Н. Исследование параметров раствора щелочи как абсорбента  $\text{CO}_2$  при определении дыхания почвы // Почвоведение. – 1983. – №1. – С. 132–138.
7. Шарков И.Н. Определение интенсивности продуцирования  $\text{CO}_2$  почвой абсорбционным методом // Почвоведение. – 1984. – №7. – С. 136–143.
8. Шарков И.Н. Метод оценки потребности в органических удобрениях для создания бездефицитного баланса углерода в почве пара // Агрохимия. – 1986. – №2. – С. 109–118.
9. Шарков И.Н. Совершенствование абсорбционного метода определения выделения  $\text{CO}_2$  из почвы в полевых условиях. // Почвоведение. – 1987. – №1. – С. 127–133.

### **3. МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ**

Выделение  $\text{CO}_2$  при минерализационных процессах характеризует направленность трансформации органического вещества торфов, скорость которой определяется химической природой торфов.

Модельные эксперименты по процессу деструкции разных по ботаническому составу торфов позволяют провести широкие исследования на большом количестве видов торфа, что в конечном итоге приближает к решению проблемы создания модели трансформации ОВ торфов.

### 3.1. Хемосорбционный метод

Для устранения вышеотмеченных недостатков абсорбционного метода могут использоваться любые способы определения количества  $\text{CO}_2$ , образующегося при минерализации ОВ торфов.

#### 3.1.1. Характеристика метода

Так для изучения в модельных экспериментах скорости минерализации органического вещества торфов был апробирован способ определения кинетики минерализации органического вещества, предложенный для минеральных почв (метод точной навески или метод хемосорбции), в котором инкубация почвенных образцов и регистрация количества продуцируемого  $\text{CO}_2$  осуществляется при постоянном газообмене с атмосферным воздухом. Хемосорбционный метод определения кинетики минерализации органического вещества был предложен Л.А. Иванниковой (1991) для минеральных почв.

**Теория метода.** По закону Фика поток  $\text{CO}_2$  через патрубок инкубационного сосуда 1 и поток  $\text{CO}_2$  через патрубок поглотительного сосуда 2 отображают формулы (1) и (2).

$$Q_1 = Dt \frac{S_1}{h_1} (C_{\text{н}} - C_A) \quad (1)$$

$$Q_2 = Dt \frac{S_2}{h_2} (C_{\text{н}} - C_{\text{п}}) \quad (2)$$

где  $C_{\text{н}}$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере инкубационного сосуда;

$C_A$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере;

$C_{\text{п}}$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере поглотительного сосуда;

$Q$  – поток  $\text{CO}_2$  через соответствующий патрубок;

$S$  – площадь сечения патрубков;

$h$  – их длина;

$t$  – время диффузии;

$D$  – коэффициент диффузии.

Общий поток  $\text{CO}_2$ , проходящий через всю измерительную систему, высчитывается по формуле, которая вытекает из формул (1) и (2):

$$Q_{\text{н}} = Dt \frac{S_1}{h_1} \left[ (C_{\text{н}} - C_A) + \frac{S_2}{h_2} (C_{\text{н}} - C_{\text{п}}) \right]$$

Можно положить  $C_n = 0$ , т.к. площадь поглотителя много больше  $S_2$  и  $\text{CO}_2$  не накапливается, откуда

$$Q_2 = Dt \frac{S_1}{h_1} (C_n - 0)$$

$$C_n = \frac{Q_2 h_2}{S_2 Dt}$$

$$Q_1 = Dt \frac{S_1}{h_1} \left( Q_2 \frac{h_2}{S_2} Dt - C_n \right)$$

$C_A, S_1$  и  $h_1$  определяем из холостого опыта.

$$Q_x = Dt \frac{S_2}{h_2} (C_A - C_n) ; \quad C_n = 0$$

$$C_A = \frac{Q_x h_2}{S_2 Dt}$$

Величина  $Q_1$  потока  $\text{CO}_2$  в атмосферу и общий поток  $Q_n$  определяются по формулам

$$Q_1 = Dt \frac{S_1}{h_1} \left( \frac{Q_2 h_2}{S_2 Dt} - \frac{Q_x h_2}{S_2 Dt} \right)$$

$$Q_1 = \frac{S_1}{h_1} \frac{h_2}{S_2} (Q_2 - Q_x)$$

$$Q_n = Q_2 + (Q_2 - Q_x) \frac{S_1}{h_1} \frac{h_2}{S_2} \quad (3)$$

Все величины правой части в формуле (3) измеряются непосредственно. Если параметры патрубков одинаковы ( $S_1 = S_2$  и  $h_1 = h_2$ ), расчет значительно упрощается:  $Q_n = 2Q_2 - Q_x$

Однако на практике это зачастую невозможно. Выход возможен путем проведения системы холостых измерений, а именно: измерение потока  $\text{CO}_2$  из атмосферы в поглотительную колбу ( $Q_x^2$ ) через патрубок с параметрами  $S_2$  и  $h_2$  и измерение потока  $\text{CO}_2$  из атмосфе-

ры, проходящего через всю измерительную систему ( $Q_x^1$ ). При этом следует иметь в виду, что при прохождении диффузионного потока через систему патрубков с разными  $S$  объем потока через каждый патрубок сохраняется одинаковым при прочих равных условиях.

В рамках этих условий  $CO_2$  через патрубок поглотительной колбы определяется отношением  $S_2/h_2$ , а при прохождении через всю измерительную систему отношением

$$\frac{S_2}{h_2 + \frac{S_2}{S_1} h_1}$$

Таким образом, при изменении площади одного из патрубков в  $n$  раз длина пути диффузионного потока в этом патрубке изменится в  $n$  раз.

Диффузионный поток  $CO_2$  из атмосферы через патрубок поглотительной колбы в холостом определении выразим в виде

$$Q_x^2 = DtS_2 \frac{C_A}{h_2}$$

А в холостом определении целым измерительным устройством выразим как

$$Q_x^1 = Dt \frac{S_2}{\frac{S_1 h_2 + S_2 h_1}{S_1}} C_A$$

Отношение указанных потоков будет иметь вид соотношения

$$\frac{Q_x^2}{Q_x^1} = \frac{S_2 (S_1 h_2 - S_2 h_1) / S_1}{h_2 S_2},$$

которое окончательно будет иметь вид

$$\frac{S_2}{h_2} \frac{h_1}{S_2} = \frac{Q_x^2}{Q_x^1} - 1$$

Отсюда общий поток  $CO_2$  из почвы будет равен

$$Q_n = Q_2 + (Q_2 - Q_x^2) \frac{Q_x^1}{Q_x^2 - Q_x^1}$$

и отпадает необходимость определения параметров измерительных устройств.

Поскольку концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере меняется, измерения должны проводиться параллельно. Для выполнения этого условия каждое измерительное устройство должно быть приведено к общему контролю. Достигается это с помощью коэффициентов, которые показывают, во сколько раз при одинаковой концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере соответствующие потоки  $\text{CO}_2$  отличаются от таковых в контрольном устройстве, или в общем виде  $k_i = Q_i/Q_k$ .

Ниже приведено описание метода с нашими изменениями для торфов.

### 3.1.2. Описание метода

Для инкубирования образцов торфа используется приготовленная серия измерительных систем. Каждая система состоит из инкубационного сосуда (И), имеющего патрубок **1** для газообмена с атмосферой и поглотительного сосуда (П) с патрубком **2** для газообмена между инкубационным и поглотительным сосудами. Схема измерительных систем приведена на рисунке 4. Навеску свежееотобранного торфа помещают в инкубационный сосуд и соединяют его с поглотительным сосудом. В поглотительный сосуд помещают щелочь и закрывают пробкой. В таком состоянии образцы инкубируются при комнатной температуре. В течение инкубации периодически заменяют и оттитровывают щелочь в опытных и контрольных измерительных системах и определяют количество продуцируемого  $\text{CO}_2$  по формуле:

$$Q_n = Q_{\text{оп}} + (Q_{\text{оп}} - Q_k k k_2) \frac{k_1}{k k_2 - k_1} \quad (4)$$

где:

- $Q_{\text{оп}}$  — количество продуцируемого почвой  $\text{CO}_2$  за время экспозиции, мг
- $Q_{\text{оп}}$  — количество  $\text{CO}_2$ , диффундирующее к поверхности поглотителя в опытном измерении, мг;
- $Q_k$  — количество  $\text{CO}_2$ , диффундирующее к поверхности поглотителя в контрольном измерении, мг;
- $k$  — коэффициент, показывающий отношение диффузионного потока  $\text{CO}_2$ , через патрубок поглотительного сосуда к общему диффузионному потоку  $\text{CO}_2$  в контрольной измерительной системе;
- $k_1$  — коэффициент, показывающий отношение диффузионного потока  $\text{CO}_2$  в опытной измерительной системе к диффузионному потоку  $\text{CO}_2$  в контрольной измерительной системе;

- $k_2$  – коэффициент, показывающий отношение диффузионного потока  $\text{CO}_2$  через патрубок поглотительной колбы в опытной измерительной системе к таковому в контрольной измерительной системе.

Перед инкубацией с торфом измерительные системы калибруют. Калибровка состоит из 3 этапов.

**На первом этапе калибровки** в инкубационный сосуд помещают дистиллированную воду, одинаковую по объему во всех системах, иницирующую торф. В поглотительный сосуд помещают дозированное количество щелочи (0,2н NaOH или KOH). В таком состоянии измерительные системы выдерживают в течение 7 дней для поглощения  $\text{CO}_2$ , который поступает из атмосферного воздуха через патрубок 1 и далее через патрубок 2 в поглотительный сосуд. Перед тем, как поместить дозированное количество щелочи в поглотительный сосуд, определяют нормальность щелочи, значение **а**. Проводится измерение количества HCl, израсходованного на титрование исходной щелочи (холостое определение). Перед титрованием поглотительных сосудов определяют нормальность HCl, значение **п**. Первый этап калибровки проводят в 3-х повторностях для определения более точного значения **к**, (табл.7).

Таблица 7.

Пример заполнения журнала  
и расчета  $\text{CO}_2$  на первом этапе калибровки

№ колбы	Калибровка измерительной системы, дата и время определения			Титрование, дата и время определения		
	Кол-во NaOH в поглотительном сосуде, мл	Кол-во дист. воды в инкубационном сосуде, мл	Кол-во HCl, израсходованного на титрование исходного раствора NaOH, мл (а)	Измерение титра HCl, (п)	Кол-во кислоты, израсходованное на титрование в опытных системах, мл (в)	Расчет $\text{CO}_2$ мг/сосуд ( $Q_{\text{от}}$ )
1	20	200	17,53	0,18957н	14,82	7,474 ( $Q_1$ )
2	20	200			15,04	6,661 ( $Q_2$ )
Контроль	20	200			14,90	7,178 ( $Q_k$ )

После экспозиции щелочь из поглотительной колбы переносят в колбу для титрования, оттитровывают 0,2 н соляной кислотой и определяют диффузионный поток  $\text{CO}_2$  к поверхности поглотителя ( $Q_{\text{оп}}$ ). Производится расчет по формуле:

$$Q_{\text{опыт}} = a \frac{1}{(1 - e^{\frac{\ln 2a(a+b)}{(1-b/a)100}})^4} \frac{b}{n(1-a)100}$$

где,  $a$  – количество HCl, израсходованное на титрование исходного раствора NaOH (холостое определение), мл;

$b$  – количество HCl, израсходованное на титрование опытного образца (после экспозиции), мл;

$44$  – коэффициент пересчета, мг  $\text{CO}_2$ , эквивалентное 1 мл 1 н HCl;

$n$  – нормальность HCl.

По наиболее схожим показателям  $Q_i$  определяют контрольные измерительные системы (не менее 3-х штук). Надо так подобрать сосуды, чтобы в конечном итоге в контроле оказались сосуды с одинаковыми показателями, как при измерении поглотительных колб, так и общих (в собранном виде) систем.

Затем рассчитывается коэффициент  $k_i$  по формуле  $k_i = Q_i/Q_k$ . Коэффициент  $k_i$  является отношением диффузионного потока  $\text{CO}_2$  в каждой измерительной системе к диффузионному потоку  $\text{CO}_2$  в контрольной измерительной системе, поэтому определять контрольные сосуды надо после того, как вы проведете по 3 раза измерения  $\text{CO}_2$  при первой и второй калибровке (т.е. измерительных систем в собранном виде и отдельно поглотительных колб).

**На втором этапе** проводят калибровку поглотительных сосудов измерительных систем. Для этого поглотительные сосуды заполняют щелочью, помещают на специальную подставку, закрывают сверху пробкой и выдерживают 3,5 суток.

После экспозиции щелочь из поглотительной колбы переносят в колбу для титрования, оттитровывают 0,2н соляной кислотой и определяют диффузионный поток  $\text{CO}_2$  к поверхности поглотителя ( $Q_{\text{оп}}$ ).

Рассчитывается коэффициент  $k_2$  по формуле  $k_2 = Q_i/Q_k$ . Коэффициент  $k_2$  является отношением диффузионного потока через патрубок поглотительной колбы в опытной измерительной системе к таковому в контрольной измерительной системе. Пример заполнения



и расчета на втором этапе калибровки в таблице 8.

**Третий этап** калибровки заключается в следующем. Поскольку концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере меняется и отражается на величине потоков  $\text{CO}_2$  при холостых измерениях, то калибровка измерительных систем и отдельно поглотительных системах проводится параллельно. Все измерительные системы делятся на две части. Сначала калибруются  $\frac{1}{2}$  поглотительных систем и  $\frac{1}{2}$  измерительных систем одновременно, затем к поглотительным сосудам плотно присоединяют инкубационный сосуд, а у поглотительных сосудов убирают инкубационный сосуд.

Таблица 8.

Пример заполнения журнала  
и расчета  $\text{CO}_2$  на втором этапе калибровки

№ поглотительной колбы	Калибровка измерительной системы, дата и время определения		Титрование, дата и время определения		
	Количество NaOH в поглотительном сосуде, мл	Кол-во HCl, израсходованное на титрование исходного раствора NaOH, мл (а)	Измерение титра HCl, (n)	Кол-во кислоты, израсходованное на титрование в опытных системах, мл (в)	Расчет $\text{CO}_2$ мг/сосуд ( $Q_{\text{оп}}$ )
1	20	17,92	0,17527н	16,82	6,474 ( $Q_i$ )
2	20			15,44	7,661 ( $Q_i$ )
Контроль	20			15,90	6,178 ( $Q_k$ )

Калибровка проводится не менее 3-х раз и занимает 14 дней, после чего высчитывается коэффициент  $k$ :

$$k = Q_{k2}/Q_{k1}$$

$Q_{k2}$  – средняя величина  $\text{CO}_2$ , диффундирующего к поверхности поглотителя системы (всех поглотительных систем);

$Q_{k1}$  – средняя величина  $\text{CO}_2$ , диффундирующего к поверхности поглотителя системы (всех измерительных систем).

$k$  – коэффициент, показывающий отношение общего диффузионного потока  $\text{CO}_2$  через патрубок поглотительного сосуда к общему диффузионному потоку  $\text{CO}_2$  через патрубок инкубационного сосуда.

После того как будут найдены все необходимые величины, количество продуцируемого  $\text{CO}_2$  высчитывается по формуле (4).

### 3.1.3. Результаты исследований

**Трансформация органического вещества торфов.** Для эксперимента были отобраны 24 образца торфа из репрезентативных торфяных залежей в естественном состоянии, характеристика которых приведена в таблице 9.

Таблица 9.

Общетехнические свойства торфов

№ образца п/п	Вид торфа	Степень разложения, %	Зольность, %
<i>Верховые виды торфа:</i>			
1.	Комплексный	15	2,1
2.	Комплексный	5	1,3
3.	Пушицево-сфагновый	15	2,9
4.	Пушицево-сфагновый	35	1,5
5.	Сфагновый мочажинный	5	1,1
6.	Сфагновый мочажинный	10	2,8
8.	Шейхцериево-сфагновый	15	1,1
10.	Фускум	10	4,4
11.	Фускум	5	2,1
12.	Шейхцериево-сфагновый	20	1,3
<i>Низинные виды торфа:</i>			
13.	Древесно-осоковый	30	9,8
14.	Древесный	25	10,4
18.	Осоковый	20	6,9
21.	Вахтовый	35	9,4
24.	Осоково-гипновый	25	5,8

Метод позволяет определить: 1 – скорость минерализации органического вещества торфов; 2 – кумулятивное накопление  $\text{C}-\text{CO}_2$  в торфах; 3 – провести сравнение скорости минерализации разных по ботаническому составу торфов; 4 – изучить влияние свойств торфов на скорость минерализации его органического вещества; 5 – изучить динамику скорости органического вещества торфов.

Рассмотрим полученные результаты в соответствии с вышеперечисленными задачами.

**1.** Вспышка интенсивности минерализации в начале эксперимента происходит за счет первоначального наличия наиболее доступ-

ных органических веществ (простые сахара, гемицеллюлозы), после разложения которых интенсивность минерализации постепенно снижается, принимая вид экспоненциальной кривой. В верховых торфах такая закономерность нарушается, а интенсивность минерализации принимает синусоидальную зависимость. Так в исследуемых верховых торфах скорость минерализации органического вещества меняется в пределах 1,8–22,3 мг  $\text{CO}_2$  на 100 г/сутки (рис. 3). Общая закономерность для этой группы торфов заключается в увеличении скорости минерализации на 16-е сутки.

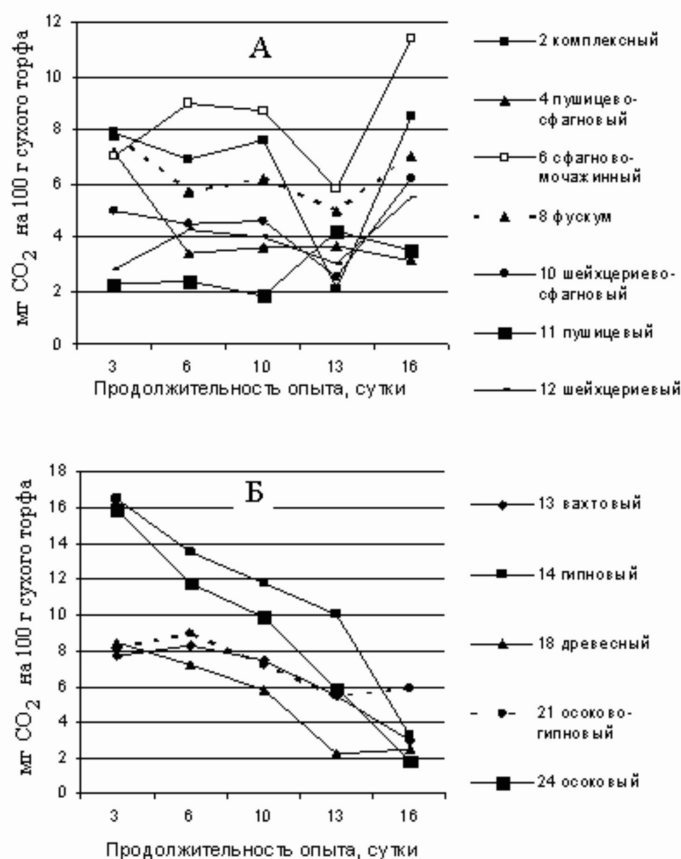


Рис. 3. Скорость минерализации органического вещества: А – верховые, Б – низинные торфа

2. В результате по величине накопления  $C-CO_2$  в процессе минерализации в условиях модельного опыта верховые торфа располагаются в следующий ряд:

*сфагново-мочажинный > комплексный > фускум > пушицево-сфагновый > шейхцериевый > пушицевый,*

а низинные – в ряд:

*гипновый > осоковый > осоково-гипновый > вахтовый > древесный > древесно-осоковый.*

За период опыта (16 суток) кумулятивное накопление  $CO_2$  в низинных торфах достигало пределов 60–200 мг диоксида углерода на 100 г, а в верховых – 3–130,0 мг/100г (рис. 4).

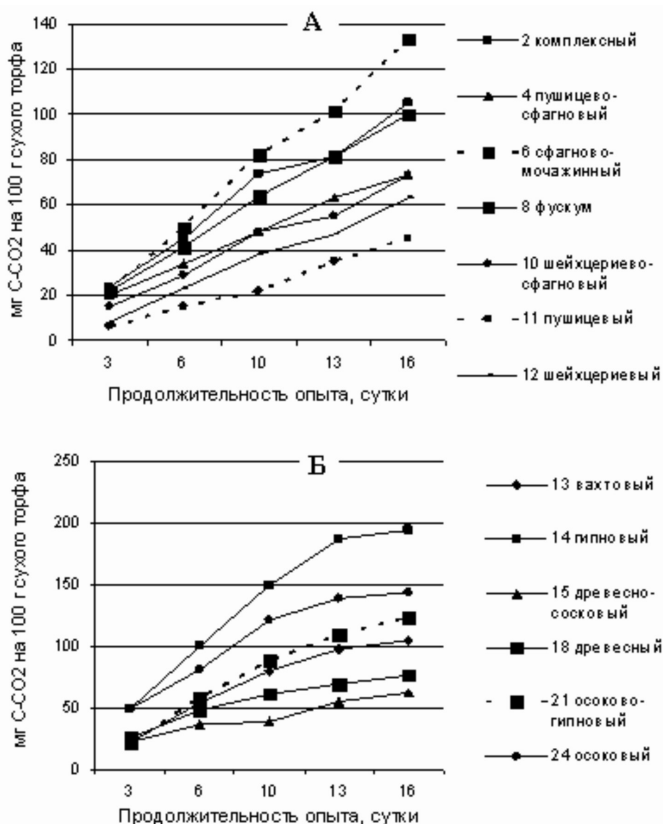


Рис. 4. Кумулятивное накопление  $CO_2$ , А – верховые торфа, Б – низинные торфа

3. Динамика активности минерализации торфов неодинакова. В большей степени это относится к шейхцериевому торфу, скорость минерализации которого вообще невелика (2,0–4,0 мг С–СО<sub>2</sub> на 100 г/сутки), а периоды незначительного ее увеличения и снижения не совпадают с общей закономерностью, отмечаемой для верховых торфов. Невысокими значениями скорости разложения характеризуется и пушицевый торф. Заметим, что шейхцериевый и пушицевый виды торфа относятся к травяной группе. А травянистые растения торфообразователи обогащены легкоминерализуемыми веществами.

При отмирании растений процессы минерализации активизируются, и доступные для биохимического разложения вещества распределяются между легкогидролизуемым и гумусовым комплексом торфа, причем гумусовый комплекс преобладает, а, следовательно, степень доступности органического вещества торфа для биохимического разложения существенно снижается. Наибольшей скоростью минерализации из низинных видов торфа характеризуется сфагновый мохажинный торф, в составе которого до 55 % занимают мохажинные растения: осока топяная, шейх церия, сфагнум балтикум и другие виды низинных сфагновых мхов.

4. Кроме ботанического состава важным параметром, определяющим процесс трансформации органического вещества торфов, является степень разложения, то есть отношение бесструктурной части (гуминовые вещества, остатки растений) к общему количеству торфа. Различия степени разложения определяются разницей ботанического состава торфов. Преимущественное развитие определенных растительных ассоциаций обуславливает накопление различного по химическому составу органического вещества, обладающего разной биохимической устойчивостью. Степень разложения торфа величина аддитивная, она зависит от комплекса условий и, в первую очередь, от содержания целлюлозы и антисептиков, а также компонентов, стимулирующих развитие микроорганизмов. Целлюлоза как компонент торфа разрушается одна из первых и обычно полностью (древесные, травяные торфа). Повышенное содержание в торфе более биохимически устойчивых или содержащих антисептики торфообразователей, например, мхов, снижает степень его разложения.

Рассмотрим интенсивность минерализации верховых торфов одинакового ботанического состава, но разной степени разложения

(рис. 5). Увеличение степени разложения снижает интенсивность разложения во всех трех видах торфов верхового типа. В особенности это прослеживается на пушицево-сфагновых торфах, степень разложения которых различается на 20%.

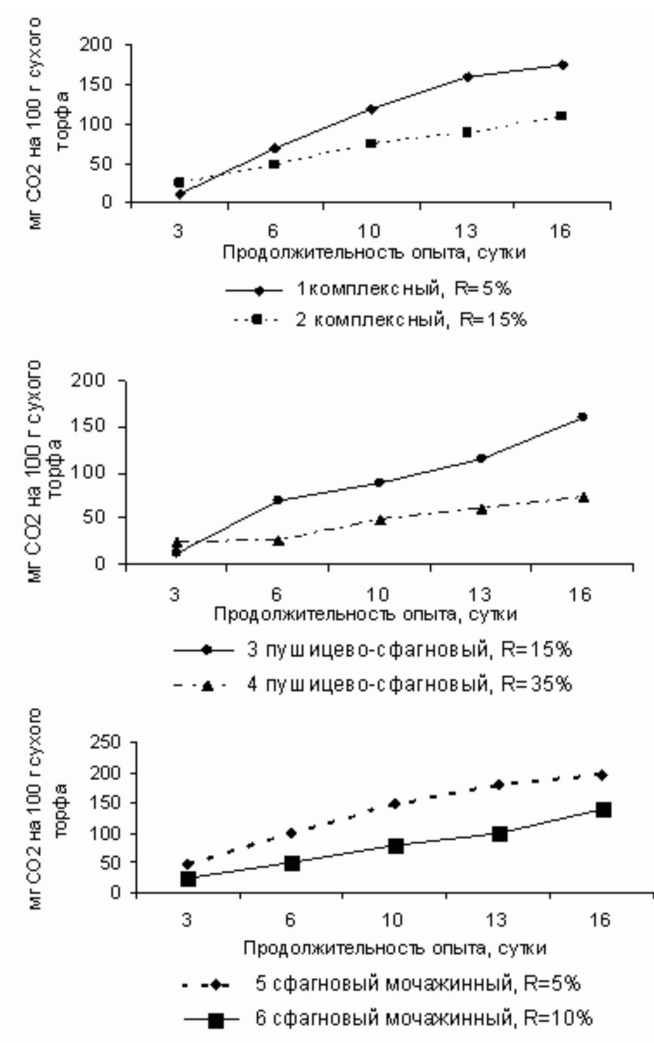


Рис. 5. Интенсивность минерализации верховых торфов разной степени разложения

5. Скорость минерализации большинства изученных низинных торфов незначительно превышает пределы, отмечаемые для верховых торфов (1,0-9,0 мг C-CO<sub>2</sub> на 100 г/сутки). Особенность низинных торфов в отличие от верховых заключается в том, что наибольшая скорость минерализации отмечается в самом начале эксперимента с последующим постепенным снижением. Наибольшая скорость минерализации в начальный период опыта характерна для гипнового и осокового торфов (соответственно 16,6 и 15,8 мг C-CO<sub>2</sub> на 100 г/сутки), что в полтора раза выше скорости минерализации верховых торфов. Заметим, что зольность этих торфов составляет соответственно 14,5 и 11,5 %.

**Трансформация органического вещества торфов в эксперименте с биохимической составляющей.** С целью объяснения пульсационного характера динамики скорости минерализации ОВ нами был проведен опыт по выяснению характера пульсации с использованием выше приведенного метода. В точках наивысшей активности отбирали образцы торфа и определяли численность физиологических групп микроорганизмов, ферментативную активность и другие биохимические показатели. Опыт был проведен в пяти повторностях в течение 60 дней на торфах:

1. верхового типа (1-фускум, R=10 %, A=4,44 %, глубина=0,75 м; 2-фускум, R=10 %, A=2,86 %, глубина=1,75 м);
2. низинного типа (3-осоковый, R=15 %, A=7,81 %, глубина=0,75 м; 4-осоковый, R=25%, A=7,31 %, глубина=3,5 м).

Общую численность жизнеспособных микроорганизмов определяли на торфяном агаре, аэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы на среде Гетчинсона-Клейстена, автохтонные микроорганизмы на среде Никитина (гумат натрия). Доля автохтонных микроорганизмов от их общей численности указывала на активность процесса минерализации ОВ торфа (рис. 6).

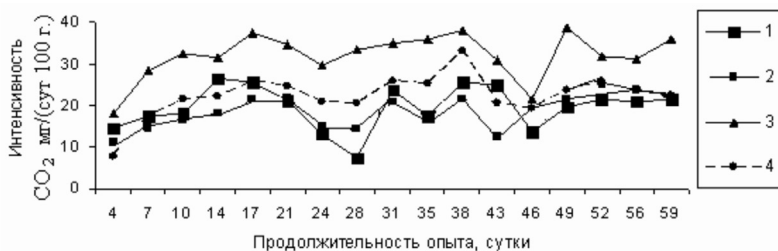


Рис. 6. Интенсивность выделения CO<sub>2</sub> в течение опыта

Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  увеличивалась через определенные интервалы времени (15–17 дней). Нами было проведено микробиологическое тестирование по четырем первым отмечающимся пикам в процессе эксперимента (табл. 10).

Таблица 10.

Состав микрофлоры при максимальном выделении  $\text{CO}_2$  в процессе эксперимента,  $1 \times 10^6$  кл/г сухого торфа

№ образца	Вид торфа, глубина(см)	Пики определения											
		I			II			III			IV		
		Микрофлора											
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Ф, 75	175	81	81	385	221	0	207	172	2	1366	586	2
2	Ф, 175	101	18	82	82	82	0	5	0	2	594	251	3
3	О, 150	120	0	113	284	287	0	440	212	2	528	160	5
4	О, 150	350	287	62	605	535	0	319	197	3	242	68	0
					Появляются бациллы, актиномицеты			Появляются бактерии точечные, плоские и мутные			Появляются бактерии, бесцветные миксобактерии бациллы, сохраняются бактерии точечные		

Примечание: 1 – общая численность; 2 – флюоресцирующие; 3 – грибы рода *Penicillium*; Ф – фускум-торф, О – осоковый торф

Общая численность микрофлоры показывает, что процесс является пульсирующим и неоднозначным. Такая же закономерность отмечается и для видового состава микрофлоры. Интенсивность процесса минерализации к концу опыта не уменьшилась. Это показывает, что перестройка сообщества микроорганизмов и развитие их жизнедеятельности происходит за 15–17 дней, но процесс трансформации не прекращается. По мере изменения химического состава в процессе разложения органического вещества происходит сукцессия видов микроорганизмов, участвующих в деструкции. В пер-



вую очередь развиваются микроорганизмы, использующие простые водорастворимые соединения – неспороносные бактерии и «сахарные» грибы, за ними спороносные бактерии, разрушающие клетчатку, затем деструкторы лигнина и гумусовых веществ.

В опыте можно было пронаблюдать влияние степени разложения на интенсивность выделения  $\text{CO}_2$ , так один и тот же вид торфа минерализуется с большей интенсивностью, если он залегает ближе к поверхности, то есть содержит большое количество доступных для микроорганизмов веществ.

Таким образом, при однородном по ботаническому составу стратиграфическом профиле торфяной почвы интенсивность процесса минерализации более глубоких слоев при их выходе на поверхность будет постепенно падать.

**Трансформация органического вещества торфов в эксперименте с внесением минерального азота.** С целью исследования трансформационных процессов ОВ торфов разного ботанического состава с добавлением минерального азота был поставлен опыт, для проведения которого были отобраны три образца торфа: верховой сфагновый, низинный древесно-травяной и низинный древесный. Схема опыта включала следующие варианты:

1. Торф верховой (контроль), C:N = 56;
2. Торф верховой + N1 (0,60 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на 100 г с.в.), C:N = 20;
3. Торф верховой + N2 (1,81 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на 100 г с.в.), C:N = 10;
4. Торф низинный древесно-травяной (контроль), C:N = 18;
5. Торф низинный древесно-травяной + N (0,966 г  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  на 100 г с.в.), C:N = 10;
6. Торф низинный древесный (контроль), C:N = 21.

Торф естественной влажности смешивался с кварцевым песком в весовом соотношении 1:1. Для изменения соотношения C:N в 3 варианта опыта были внесены разные дозы  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Инкубирование проводилось в течение 8 дней при температуре 20 °C и влажности 0,3 ПВ (30 % от полной влагоемкости).

Интенсивность выделения диоксида углерода изменяется в пределах от 8,4 до 174,7 мг  $\text{CO}_2$  на 100 г торфа за сутки. Общее количество выделившегося  $\text{CO}_2$  служит интегральным показателем трансформации ОВ, подвергшегося деструкции до конечных продуктов. По результатам эксперимента можно сказать, что максимальное количество  $\text{CO}_2$  накапливается в варианте 4, а минимальное – в варианте 3. За 8 дней эксперимента в варианте 4 было потеряно в виде углекислоты 0,3 % органического углерода (максимум), в варианте

3 – 0,07 % (минимум).

На первом этапе разложения верховой торф подвержен трансформации в наименьшей степени. Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  низинных торфов в 1,5–7 раз выше, чем верхового. Максимальная скорость трансформации характерна для низинного древесно-травяного торфа (59 мг  $\text{CO}_2$  на 100 г/сутки). Низинный древесный торф по скорости трансформации занимает промежуточное положение. Однако с течением времени темпы разложения исследуемых видов торфа сближаются. Максимальная скорость выделения  $\text{CO}_2$  низинным древесно-травяным торфом объясняется высоким содержанием легкогидролизуемых форм ОВ.

Сравнение динамики выделения  $\text{CO}_2$  двух видов низинных торфов (варианты 4 и 6) показывает, что торфа с меньшей степенью разложения характеризуются большей скоростью трансформации ОВ.

Высокая скорость выделения диоксида углерода по сравнению с другими торфами сохранилась на протяжении всего эксперимента. Но если в других вариантах опыта резкое снижение выделения  $\text{CO}_2$  и затем ее повышение, и наоборот, наступает между 1–2 сутками наблюдений, то в варианте с древесно-травяным торфом – на сутки позже. Второе изменение интенсивности выделения диоксида углерода в сторону небольшого снижения отмечается между 5–6 сутками и далее оно практически остается стабильным. Аналогичная динамика выделения  $\text{CO}_2$  наблюдается в варианте с верховым торфом.

Первоначальная медленная трансформация верхового торфа может быть связана с повышенной кислотностью среды, обогащенностью веществами-антибиотиками (смолами, фенолами и т.д.), а также особенностями структуры их первичного микробоценоза. Вместе с тем верховой торф имеет крайне низкую степень обогащенности органического вещества азота (C:N=56) и невысокое содержание его водорастворимых и легкогидролизуемых форм. Все это создает особые условия жизнедеятельности микрофлоры и определяет интенсивность трансформационных процессов. Можно предположить, что после стабилизации интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  (примерно через неделю) в торфах происходит окончательное формирование специфичного и устойчивого в конкретных условиях микробоценоза, обладающего определенной интенсивностью обменных процессов. Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  при разных внешних условиях зависит лишь от внутренних факторов: химического состава органического вещества торфа, кислотности среды, качественно- и количественного состава зольной части торфа.

## **Литература**

1. Иванникова Л. А. Способ определения кинетики минерализации органического вещества почвы. Патент СССР. № 1806375 от 08.04.1991.

## **3.2 Метод лазерного оптико-акустического газоанализа**

### **3.2.1 Характеристика метода**

Техника лазерной оптико-акустической спектроскопии позволяет исследовать кинетику газообмена, в том числе одновременные измерения концентраций  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  с высокой чувствительностью в реальном масштабе времени при вариациях параметров атмосферы и дозированных воздействиях на растения загрязняющих газов и аэрозолей.

В последнее время в зарубежной литературе появились публикации по применению метода лазерной оптико-акустической спектроскопии для изучения фотосинтеза (Soukroe-Kossi, Leblanc, 1990) и регистрации этилена, выделяемого растениями (De Vries, Martis, Reuss et. al 1996.; Harren, Bijnen, Reuss et. al., 1990).

Техника лазерной оптико-акустической спектроскопии, развиваемая в Институте оптики атмосферы СО РАН в течение 25 лет, позволяет исследовать кинетику газообмена, в том числе одновременные измерения концентраций  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  с высокой чувствительностью в реальном масштабе времени при вариациях параметров атмосферы и дозированных воздействиях на растения загрязняющих газов и аэрозолей (Антипов, Капитанов, Пономарев, Сапожникова, 1984; Агеев, Астафурова и др., 1994; Ageev, Astafurova, Ponomarev et. al., 1996). А также этот метод можно использовать для исследований кинетики выделения  $\text{CO}_2$  торфов (Инишева, Дементьева, Агеев, Сапожникова, Пономарев, 1999; Инишева, Белова, Дементьева, Агеев, 1999).

### **3.2.2 Сравнительный анализ использования метода оптико-акустического газоанализа и хемосорбционного метода**

Интенсивность минерализации органического вещества 2-х видов торфа, измеренная двумя методами, приведена по средним значениям (рис. 7).

В кинетике выделения  $\text{CO}_2$  прослеживается общая закономерность. Так, отмечается увеличение интенсивности минерализа-

ции в начале и постепенное снижение к концу эксперимента. Также наблюдается синусоидального типа закономерность в верховом торфе при измерении обоими методами; в низинном торфе такая закономерность обнаружена только при измерениях методом оптико-акустического газоанализа. Следует отметить также, что интенсивность продуцирования  $\text{CO}_2$ , измерения хемосорбционным методом, значительно выше и превышает значения, полученные при оптическом газоанализаторе, в 5–8 раз. Это расхождение может быть вызвано тем, что условия измерения кинетики эмиссии  $\text{CO}_2$  торфами при проведении экспериментов двумя методами были не совсем одинаковы.

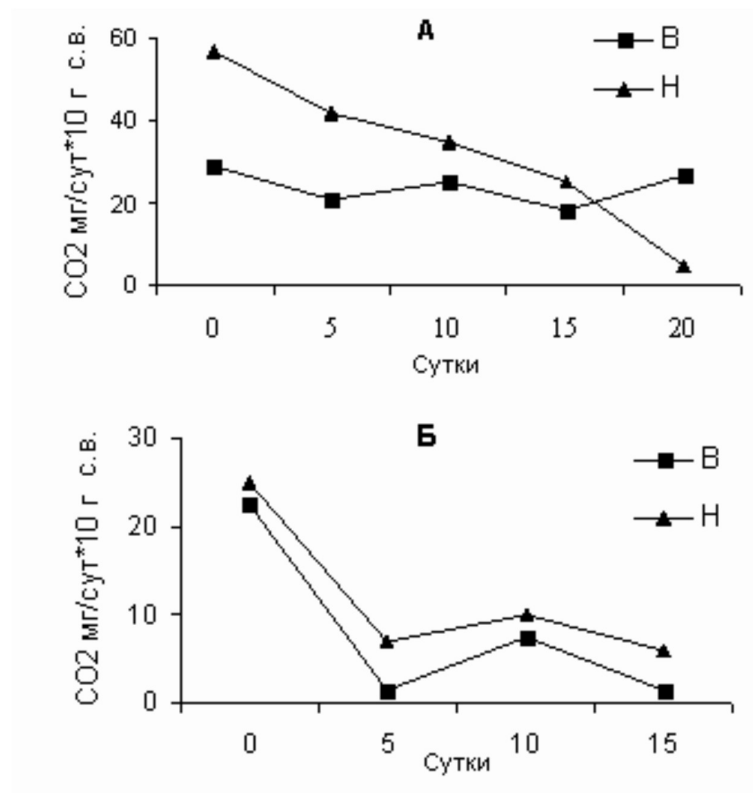


Рис. 7. Результаты измерений кинетики эмиссии  $\text{CO}_2$  торфами хемосорбционным (А) и оптико-акустическим (Б) методами: В – верховой, Н – низинный торф.

Если в опыте с оптико-акустическим методом образцы торфов до начала исследований находились в торфохранилище при условиях, максимально приближенных к естественным. При этом надо полагать, строгие анаэробные условия в полной мере не были соблюдены, то опыты с калиброванными объемами были выполнены хронологически раньше, следовательно, в них использовались менее трансформированные образцы, что, по-видимому, и оказало влияние на результаты измерений эмиссии  $\text{CO}_2$ . Однако резкое увеличение микробиологической активности, которое проявлялось в начале цикла измерений выделения  $\text{CO}_2$  и был зарегистрирован и тем и другим методом. Для окончательного заключения о причинах расхождения в абсолютных значениях эмиссии  $\text{CO}_2$  необходимы дополнительные эксперименты.

Таким образом, проведенные эксперименты по измерению кинетики выделения  $\text{CO}_2$  двумя независимыми методами позволили изучить эмиссию  $\text{CO}_2$  из торфов разного ботанического состава, подтвердили закономерности трансформации органического вещества торфа и показали применимость любого из этих методов.

#### Литература

1. N Soukpoe-Kossi C.N., Leblane R.M. // J. Mol. Struct. – 1990. – V. 217. – P.69–84.
2. De Vries H.S.M., Martis A.A.E., Reuss J., Parker D.H., Peruzzelli L., and Harren F.J.M. // 9<sup>th</sup> International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena. Conference digest. Nanjing. P.R. – China, 1996. – P. 365–366.
3. Harren F.J.M., Bijnen F.G.G., Reuss J. et. al. // Appl. Phys. – 1990. – V. B50. – №2. – P.137–144.
4. Антипов А.Б., Капитанов В.А., Пономарев Ю.Н., Сапожникова В.А. Оптико-акустический метод в лазерной спектроскопии молекулярных газов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 128 с.
5. Агеев Б.Г., Астафурова Т.П., Пономарев Ю.Н., Сапожникова В.А., Косицин К.Д. // Оптика атмосферы и океана. – 1994. – Т. 7. – № 7. – С. 986–990.
6. Ageev B. G., Astafurova T.P., Ponomarev Yu.N., Sapozhnikova V.A., Zaitseva T.A., and Zotikova A.P. // J. Plant Physiol. – 1996. – V.148. – P.137–242.
7. Инишева Л.И., Дементьева Т.А., Агеев Б.Г., Сапожникова В.А., Пономарев Ю.Н. Использование разных методов для определения скорости минерализации торфов // Третье Сибирское совещание по климатологическому мониторингу: тезисы докл. – Томск, 1999. – С. 81–82.
8. Инишева Л.И., Белова Е.В., Дементьева Т.В., Агеев Б.Г. Кинетика разло-

жения органического вещества торфов в искусственно аэробных условиях // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования: матер. совещания. – М.: ГЕОС, 1999. – С. 186–188.

9. Агеев Б.Г., Астафурова Т.П., Пономарев Ю.Н., Саложникова В.А. // Оптика атмосферы и океана. – 1997. – Т.10. – № 4–5. – С. 438–448.

#### 4. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИОННО-ГРУППОВОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ (ПО Н. Н. БАМБАЛОВУ)

##### 4.1 Описание метода

Для анализа берётся навеска 14–20 г воздушно-сухого (влажности 10–15 %) торфа. Торф должен быть предварительно измельчён до состояния просеивания через сито с диаметром ячеек 0,25 мм. Также берётся навеска 1–1,5 г на определение влажности и зольности, значения которых необходимы для пересчёта результатов анализа всех компонентов на органическую массу. Анализ ведётся в трёх-четырёх повторностях.

Схема анализа фракционно-группового состава торфа представлена на рисунке 8 (Бамбалов Н.Н., Беленькая Т.Я., 1998).



Рис. 8. Схема анализа фракционно-группового состава торфа

#### 4.1.1 Определение содержания битумов

Анализ битумов (Б) ведётся в аппарате Грефе. Для навески торфа делают гильзу из плотной фильтровальной бумаги с диаметром 35 мм и высотой 100–120 мм. На дно помещают кусочек обезжиренной ваты и заполняют гильзу торфом. Таким же кусочком ваты прикрывают торф в гильзе. Готовую гильзу помещают в марлевый мешочек, сшитый из двух слоёв марли, и подвешивают на крючки в пробке холодильника в аппарате Грефе с таким расчётом, чтобы конденсирующиеся пары хлороформа из холодильника стекали по центру гильзы. Мешочек с гильзой не должен касаться жидкости в колбе. В колбу наливают 250 мл хлороформа. Пускают воду в рубашку холодильника и включают песочную баню, на которой установлена колба прибора. Экстракция ведётся до момента, когда капли хлороформа, стекающие с мешочка, окажутся бесцветными, а на мешочке не будет следов битумов. В среднем экстракция продолжается 18–20 часов. После окончания экстракции гильзу с торфом извлекают из аппарата Грефе и помещают в фарфоровую чашку в вытяжном шкафу до испарения растворителя (хлороформа).

Хлороформную вытяжку битума количественно переводят в колбу для отгонки растворителя ёмкостью 500 мл, соединённую с холодильником Либиха и приёмником, куда стекает в процессе отгонки хлороформ.

Остаток после отгонки хлороформа переносят количественно, смывая свежими порциями растворителя, во взвешенные на аналитических весах бюксы. Бюксы с битумами оставляют в вытяжном шкафу для удаления остатков хлороформа, а затем в сушильном шкафу доводят до постоянной массы при 60° С. Разность между минимальным весом бюкса с битумами и весом пустого бюкса составляет количество битумов, извлечённых из навески торфа.

Содержание Б определяют по формуле (в %):

$$Б = m_{\text{сух}} \cdot 100 \% / OM_{\text{исходной навески торфа}} \cdot \%;$$

$$OM_{\text{исходной навески торфа}} = m_{\text{навески}} (1 - W / 100) (1 - A / 100).$$

Примечание: W – влажность; A – зольность; OM – органическая масса.

Полученные данные записываются в журнал, пример ведения журнала приведен в таблице 11.

Таблица 11.

## Определение выхода битумов (% на ОМ)

№ повт.	Вес пуст. гильзы, г	Вес гильзы с навеской, г	Навеска, г	W, % нав	A, % нав	ОМ навески, г	Вес чашечки (пустой) под битумы, г
1	2	3	4	5	6	7	8

Продолжение таблицы 11

Вес чашечки с битумами, г		Вес сухих Б, г	Выход Б, %	Средний выход Б, %
1-ое взвешивание	Контрольное взвешивание			
9	10	11	12	13

**4.1.2 Определение содержания гуминовых веществ (ГВ)**

**Определение ГК-1 (щелочной фракции).** От остатка торфа, освобожденного от Б, берётся навеска массой 4 г и переносится в литровую колбу Эрленмейера. К навеске в колбе добавляют 0,1 н NaOH из расчёта 150 мл раствора на 1 г навески, температура 25 °С, время настаивания 16–20 часов. Затем применяют обратный способ отделения жидкости от осадка, т.е. в фильтруемую жидкость погружают Г-образную трубку (сифон), один конец которой обёрнут фильтрующим материалом, чтобы избежать подсоса частичек осадка, другой опущен в чистую ёмкость на 5 л. К остатку в колбе добавляют свежую порцию щелочи в указанном ранее количестве, настаивают 16–20 часов и сифонируют гуматы. Таким образом, обработку торфа щелочью проводят 4 раза. Все 4 порции гуматов соединяют вместе. После сифонирования последней порции гуматов остаток торфа заливают водой 3–4 раза по 500 мл каждый раз до нейтральной реакции на универсальную индикаторную бумагу, отстаивают и сифонируют водные растворы сифоном в ёмкость к гуматам.

Остаток торфа в колбе, отмтый от щелочных гуматов до нейтральной реакции, фильтруют через воздушно-сухой взвешенный фильтр и 1–2 раза промывают на фильтре. Фильтрат присоединяют к гуматам; гуматы хорошо перемешивают, замеряют объём и отбирают для осаждения гуминовых кислот (ГК) 1 л. В колбу с гуматами приливают 10%-ю HCl из расчёта 20 мл кислоты на 1 литр гума-



тов (до сильно кислой реакции). Кислоту добавляют постепенно при подогревании на песочной бане и перемешивании, что способствует ускорению осаждения кислот. Выпавшим ГК дают осесть и по возможности отделяют раствор фульвокислот (ФК). ГК фильтруют через абсолютно-сухой взвешенный беззольный фильтр.

ГК на фильтре промывают дважды 0,5%-й HCl, затем холодной водой отмывают до нейтральной реакции на индикаторную бумагу. ГК с фильтром подсушивают на воздухе, помещают во взвешенный бюкс и сушат до постоянного веса в сушильном шкафу при 80 °C. Высушенные ГК с фильтром помещают во взвешенный тигель и озоляют в муфельной печи при температуре 800 °C в течение 2 часов с момента нагрева печи до нужной температуры.

В высушенном остатке после определения ГК устанавливают влажность и зольность.

**Определение ГК-2 (пирофосфатной фракции).** От остатка торфа, освобожденного от Б, берётся навеска массой 2,5 г и переносится в литровую колбу Эрленмейера. К навеске в колбе добавляют 200 мл 0,1 н  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  (нейтрализованного 0,1 н HCl до pH=7), температура 25 °C, время настаивания 16–20 часов. Затем применяют обратный способ отделения жидкости от осадка, т.е. в фильтруемую жидкость погружают Г-образную трубку (сифон), один конец которой обёрнут фильтрующим материалом, чтобы избежать подсоса частичек осадка, другой опущен в чистую ёмкость. К остатку в колбе добавляют порцию воды в указанном ранее количестве, настаивают 16–20 часов и сифонируют гуматы.

Таким образом проводят обработку торфа пирофосфатом натрия и водой ещё по одному разу (должно быть 4 вытяжки). Все 4 порции гуматов соединяют вместе. Остаток торфа в колбе фильтруют через воздушно-сухой взвешенный фильтр и 1–2 раза промывают водой на фильтре. Фильтрат присоединяют к гуматам; гуматы хорошо перемешивают, измеряют объём и отбирают для осаждения ГК 0,3 л. В колбу с гуматами приливают 10 %-ю HCl из расчёта 20 мл кислоты на 1 литр гуматов (до сильно кислой реакции). Кислоту добавляют постепенно при подогревании на песочной бане и перемешивании, что способствует ускорению осаждения кислот. Выпавшим ГК дают осесть и по возможности отделяют раствор ФК. ГК фильтруют через абсолютно-сухой взвешенный беззольный фильтр.

ГК на фильтре промывают дважды 0,5%-ой HCl, затем холодной водой отмывают до нейтральной реакции на индикаторную бумагу.

ГК с фильтром подсушивают на воздухе, помещают во взвешенный бюкс и сушат до постоянного веса в сушильном шкафу при 80 °С. Высушенные ГК с фильтром помещают во взвешенный тигель и озоляют в муфельной печи при температуре 800 °С в течение 2 часов с момента нагрева печи до нужной температуры.

Содержание ГК определяют по формуле:

$$ГК = \frac{m_{\text{абс.сух.ГК}} \cdot (1 - A_{ГК} / 100) \cdot V_{\text{общ.ГВ}}}{V_{\text{ГВ на осаждение}} \cdot OM_{\text{исходного торфа}}} K_1 \cdot 100\%$$

Коэффициент пересчета  $K_1$  рассчитывается по формуле

$$K_1 = OM_{\text{торфа после определения Б}} / OM_{\text{навески на ГК}}$$

$$OM_{\text{торфа после определения Б}} = m_{\text{торфа после битумов}} (1 - W / 100) (1 - A / 100)$$

где А – зольность, ОМ – органическая масса. Полученные данные записываются в журнал. Пример ведения журнала приведен в табл. 12.

Таблица 12.

Определение выхода ГК – щелочной и пирофосфатной вытяжек, (% на ОМ)

№ повторности	Вес пустой гильзы, г	Вес пустой чашечки, г	Вес чашечки с гильзой и торфом после определения Б, г		Вес торфа после определения Б, г	W, % ост. п / опред. Б	А, % ост. п / опред. Б	ОМ торфа после определения Б, г	Навеска торфа на определение ГК, г
			1-ое взвеш.	Контрол. взвешив.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щелочная вытяжка									
Пирофосфатная вытяжка									

Продолжение таблицы 12

ОМ навески торфа на ГК, г	Общий объём (V) ГВ, л	Объём (V) на осадение, л	Вес бюкса с фильтром (абсол. сух.), г	Вес бюкса с фильтром и ГК (абсол. сух.), г	Вес сухих ГК, г	Вес пустого тигля, г	Вес тигля с золой, г	Вес золы, г	Выход ГК, %	Средний выход ГК, %
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Щелочная вытяжка										
Пирофосфатная вытяжка										

#### 4.1.3 Определение содержания водорастворимых (ВР) и легкогидролизуемых (ЛГ) веществ

Торф, освобождённый от Б и гуминовых веществ (ГВ) (после щелочной вытяжки) переносят в колбу Эрленмейера на 250 мл, в которую добавляют 5 % серную кислоту (из расчёта 20 мл кислоты на 1 г навески. Последней порцией кислоты смывают торф со стенок колбы. Колбу соединяют с обратным холодильником и помещают в кипящую водяную баню. В холодильник подают воду. Гидролиз продолжается 2 часа при температуре 96–97° С. Для полноты гидролиза содержимое колбы время от времени встряхивают. Затем надосадочная жидкость сливается, остаток в колбе повторно заливается тем же количеством кислоты, и гидролиз продолжается ещё 2 часа при тех же условиях.

Затем содержимое колбы фильтруют через двойной бумажный фильтр, на котором будет находиться остаток торфа должен быть взвешен (воздушно-сухой вес). Торф на фильтре промывается горячей дистиллированной водой до нейтральной реакции на универсальную индикаторную бумагу. Фильтр с торфом, освобождённый от Б, ГВ, ВР и ЛГ, в развёрнутом виде подсушивают на воздухе, взвешивают и по разности определяют количество лигнин-целлюлозного остатка. Определяют влажность и зольность этого остатка.

Содержание ВР и ЛГ высчитывают по формулам:

$$\text{ВР} + \text{ЛГ} = 100 - \text{Б} - \text{C}_{\text{ор}} - \text{ГК} - \text{ФК} \quad (\%).$$

Коэффициенты пересчета  $K_2$  и  $K_3$  рассчитывают по формулам:

$$K_2 = \frac{\text{ОМ торфа после определения ГК}}{\text{ОМ навески на ВР}}$$

$$K_3 = \frac{\text{ОМ лщо}}{\text{ОМ навески на ТГ}}$$

Остаток после гидролиза ВР рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ог}} = \left( \frac{\text{ОМ торфа после ВР}}{\text{ОМ исходного торфа}} \right) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 100 \%,$$

где ОМ – органическая масса. Полученные данные записываются в журнал, пример ведения журнала приведен в таблице 13.

Таблица 13.

Определение выхода ВР и ЛГ веществ (% на ОМ)

№ повторности	Вес пустой чашки и фильтра (возд. сух), г	Вес чашки с фильтром и торфом после определения ГК щел.		Вес остатка п/опред ГК щел, г	W, % ост п / опред ГК щел.	A, % ост п / опред ГК щел.	ОМ торфа после определения ГК щел, г	Масса навески на ВР+ЛГ, г	ОМ навески на ВР+ЛГ, г
		1-ое взвеш.	Контрольное взвешивание						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Продолжение таблицы 13

Вес пуст чашки и фильтра (возд. сух), г	Вес чаш с фильтр и ост п/ гидролиза, г		Вес остатка, п/гидролиза г	W, % ост п/гидролиза	A, % ост п/гидролиза	ОМ остатка п/гидролиза, г	G <sub>ог</sub> (ост после гидролиза), %	Выход ВР+ЛГ, %	Средний выход ВР+ЛГ, %
	1-ое взвешивание	Контрольное взвешивание							
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

#### 4.1.4 Определение содержания трудногидролизуемых веществ (ТГ) (целлюлозы) и негидролизуемого остатка (НО) (лигнина)

Остаток торфа (лигнино-целлюлозный) снимают с фильтра во взвешенный бюкс и подсушивают до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при 40°C. Подсушенный до хорошей растираемости остаток взвешивают, учитывая потери на фильтре, и растирают в ступке.

В колбу Эрленмейера ёмкостью 250 мл берут навеску 0,5–1,0 г на гидролиз и одновременно навеску для определения влажности и зольности остатка. Навеску в колбе заливают 72 % серной кислотой из расчёта 10 мл кислоты на 1г навески, выдерживают при комнатной температуре 2,5 часа, периодически помешивая содержимое. Затем в колбу приливают дистиллированную воду из расчёта разбавления раствора в 15 раз, ставят в кипящую водяную на 6-ти часовой гидролиз при температуре 96–97 °C.

После окончания гидролиза содержимое колбы фильтруют через абсолютно сухой взвешенный беззольный фильтр. Остаток на фильтре и края фильтра тщательно промывают горячей водой до нейтральной реакции на индикаторную бумагу. На фильтре остаётся негидролизуемая часть торфа, принимаемая за лигнин. НО высушивают вместе с фильтром при температуре 105 °C и озоляют.

ТГ и ФК высчитываются по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 \text{ТГ} &= (\text{ОМ}_{\text{ТГ}} / \text{ОМ}_{\text{исходный навески}}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 100, \% \\
 \text{ФК} &= (\text{ОМ}_{\text{ФК}} \cdot \text{ОМ}_{\text{торфа после Б}} \cdot 100) / (\text{ОМ}_{\text{торфа ГК}} \cdot \text{ОМ}_{\text{исход. навески}}), \% \\
 \text{НГО (лигнин)} &= (\text{ОМ}_{\text{НГО}} / \text{ОМ}_{\text{исходной навески}}) \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 100, \% \\
 \text{ОМ}_{\text{ТГ}} &= \text{ОМ}_{\text{ЛЦО}} - \text{ОМ}_{\text{лигнина}} \\
 \text{ОМ}_{\text{исходной навески}} &= m_{\text{навески}} \cdot (1 - W / 100) \cdot (1 - A / 100) \\
 \text{Коэффициенты пересчета:} \\
 K_1 &= \text{ОМ}_{\text{торфа после определения Б}} / \text{ОМ}_{\text{навески на ГК}} \\
 K_2 &= \text{ОМ}_{\text{торфа после определения ГК}} / \text{ОМ}_{\text{навески на ВР}} \\
 K_3 &= \text{ОМ}_{\text{лцо}} / \text{ОМ}_{\text{навески на ТГ}} \\
 \text{ОМ}_{\text{ФК}} &= \text{ОМ}_{\text{навески на ГК}} - (\text{ОМ}_{\text{ГК}} \cdot V_{\text{общ. ГВ}} + \text{ОМ}_{\text{навески после ГК}}) \\
 \text{ОМ}_{\text{ГК}} &= m_{\text{ГК абс. сух.}} \cdot (1 - A_{\text{ГК}} / 100) \\
 \text{ОМ}_{\text{НГО}} &= m_{\text{лигнина абс. сух.}} \cdot (1 - A_{\text{лигнин}} / 100).
 \end{aligned}$$

Примечание: W – влажность, A – зольность, OM – органическая масса. Полученные данные записываются в журнал. Пример ведения журнала приведен в таблицах 14–15.

Таблица 14.

Определение выхода лигнино-целлюлозного остатка (ЛЦО) и ФК, % на OM

№ повторности	Вес пустой чашки с фильтром, г	Вес чашки с фильтром и возд. сухим ЛЦО, г	Масса возд.-сухого ЛЦО, г	W, % ЛЦО	A, % ЛЦО	OM ЛЦО, г	Выход ЛЦО, %	Сред выход ЛЦО, %	OMФК, г	Выход ФК, %	Сред выход ФК, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 15.

Определение выхода негидролизуемого остатка – лигнина (НГО) и трудногидролизуемых веществ (ТГ), % на OM

№ повторности	Нав на гидролиз, г	W, % ЛЦО	A, % ЛЦО	OM нав на гидр, г	Вес пуст бюкса с фил (абс. сух.), г	Вес бюкса с фил и НГО (абс. сух.), г	Вес НГО (абс. сух.), г	A, % лигнина (НГО)	OM лигнина (НГО), г	Выход лигнина (НГО), %	Сред выход лигнина (НГО), %	OM ТГ, г	Выход ТГ, %	Сред выход ТГ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

#### 4.2. Результаты исследований

Целью исследований является изучение фракционно-группового состава органического вещества отдельных репрезентативных торфов. Объектами послужили один вид верхового и переходного типа и три вида торфа низинного типа, отобранные с двух торфяных месторождений.

Фракционно-групповой состав органического вещества торфа представлен в таблице 16. В исследуемых объектах наблюдается различная битуминозность, что связано с разным начальным содержанием битумов в растениях. Более высокая битуминозность верховых торфов объясняется синтезом смолистой части за счёт конденсации гуминовых кислот с сахарами и альдегидами. Происходит не только накопление гуминовых кислот в результате распада, но и превращение их в битумные вещества при взаимодействии кислот с продуктами неполного разложения (клетчатка, белки, жиры).

Таблица 16.  
Групповой состав органического вещества торфа, % ОВ

Содержание ОВ, % СВ	Б	ГВ			ВР+ЛГ	ТГ	НГО (лигнин)
		0,1 н NaOH		0,1 н Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>			
		ГК	ФК	ГК			
Сосново-пушицевый верховой торф, R=35 %							
93,7	9,5	38,4	5,1	5,7	14,7	7,2	25,0
Осоковый переходный торф, R=45 %							
95,1	6,7	40,4	4,5	5,9	16,4	6,5	25,4
Травяно-моховой низинный торф, R=40 %							
95,7	3,6	39,2	3,6	11,7	16,3	8,5	25,8
Травяной низинный торф, R=45 %							
89,6	3,9	31,0	3,7	2,2	17,9	8,8	34,7
Древесно-травяной низинный торф, R=25 %							
91,9	5,1	43,6	6,4	5,7	14,1	6,3	24,4

*Примечание:* ОВ – органическое вещество; СВ – сухое вещество; Б – битумы; ГВ – гумусовые вещества; ГК – гуминовые кислоты; ФК – фульво-кислоты; ВР+ЛГ – водорастворимые и легкогидролизующиеся вещества; ТГ – трудногидролизующиеся вещества (целлюлоза); НГО – негидролизующиеся вещества (лигнин); 0,1 н NaOH – щелочная фракция ГК; 0,1 н Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – пирро-фосфатная фракция ГК.

В низинном торфе эти процессы изменяются под влиянием водно-минерального режима, при котором происходит образование торфа. Параллельно с разрушением целлюлозы под действием микробов наступает распад легкогидролизующихся веществ и, прежде всего сахаров и их полиоз. Потери углеводного комплекса, таким

образом, резко увеличивают содержание битумов. Самое высокое количество битумов наблюдается в верховом сосново-пушицевом торфе – 9,5 % при самом высоком содержании сосны – 25 %, пушицы – 25 % и невысоком содержании вахты. Несколько меньше содержится в переходном осоковом торфе (6,7 %): сосны – 5 %, пушицы – 5 %, вахты – 5 % и в низинном древесно-травяном торфе (5,1 %): вахты – 25 %. Самое низкое содержание битумов наблюдается в низинных торфах: травяном – 3,9 % (сосны – 5 %, вахты – 5 %) и травяно-моховом – 3,6 % (пушицы – 10 %, вахты – 10 %).

Наибольшее содержание ВР+ЛГ и ТГ характерно для низинного (17,9 % и 8,8 % соответственно), переходного (15,4 % и 6,5 %). Наименьшее количество ВР, ЛГ и ТГ соответствует верховому торфу. По содержанию негидролизующей части торфа – лигнина обнаруживается зависимость, связанная с уменьшением данной группы веществ при увеличении в торфе доли ГВ. Это можно объяснить тем, что лигнины являются единственными исходными веществами при торфообразовании, как считают многие исследователи до настоящего времени, хотя и есть доказательства образования ГВ при отсутствии лигнина.

#### **Литература**

1. Бамбалов Н. Н., Беленькая Т. Я. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв // Почвоведение. – 1998. – №12. – С. 1431–1437.



## БИБЛИОГРАФИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ

1. Агеев Б.Г., Дементьева Т.В., Инишева Л.И., Пономарев Ю.Н., Сапожникова В.А. Эмиссия  $\text{CO}_2$  при трансформационных процессах в торфе // Оптика атмосферы и океана. – 12. – № 9. – 1999. – С. 829–831.
2. Александрова Л.Н. О механизме образования гумусовых веществ и процессах превращения его в почве / Гумус и биологическая аккумуляция элементов в почве. – Т. 105. Вып. 1. – Л., 1966. – С. 3–18.
3. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука. – 1980. – 287 с.
4. Алиев С.А. Азотфиксация и физиологическая активность органического вещества почв. – Новосибирск : Наука, 1988. – 145 с.
5. Андреева И.М. О процессах минерализации гумусовых веществ // Записки Ленинград. с-х. ин-та. – 1968. – Т.117. – Вып. 1. – С. 22–26.
6. Антропогенное перераспределение органического вещества в биосфере. – С.-Пб.: Наука, 1993. – 206 с.
7. Бамбалов Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / под ред. А.В. Тишковича. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 175 с.
8. Бамбалов Н.Н. Минерализация и трансформация органического вещества торфяных почв при их сельскохозяйственном использовании (на примере торфяных почв Белоруссии). Дисс. ... д-ра с.-х. наук. – Минск, 1983. – 497 с.
9. Бамбалов Н.Н. Уравнение баланса органического вещества торфяных почв // Химия и химическая технология торфа. – Мн.: Наука и техника, 1979. – С.7–9.
10. Бамбалов Н.Н., Беленькая Т.Я. Фракционно-групповой состав органического вещества целинных и мелиорированных торфяных почв // Почвоведение. – 1998. – №12. – С. 1431–1437.
11. Бамбалов Н.Н., Брезгунов В.С., Малышев Ф.А. Трансформация торфа, внесенного в почву в качестве удобрения // Проблемы повышения эффективности торфа в сельском хозяйстве. – Минск, 1984. – С. 60–76.
12. Бамбалов Н.Н., Скоропанов С.Г. Вопросы трансформации органических почв // Изв. АН БССР. Сер. с.-х. наук. – 1976. – №1. – С. 30–36.

13. Бамбалов Н.Н., Соколов Г.А. Мероприятия по регулированию баланса органического вещества торфяных почв и их рациональному использованию // Торфяная промышленность. – 1991. – № 7. – С.26–32.
14. Бамбалов Н.Н., Хоружик А.В., Янковская Н.С. Закономерности и особенности гумификации в торфяных почвах // Органическое вещество почв и методы его исследования / Ленингр. с.-х. ин-т. – Л., 1990. – С. 29–33.
15. Барановский А.З., Метелица Л.П. Минерализация органического вещества торфяных почв // Мелиорация переувлажненных земель. – Мн.: Ураджай, 1974. – С. 196–200.
16. Барсуков А.И. Пути снижения минерализации органического вещества торфяно-болотных почв / А.И. Барсуков, Г.Д. Горбутович [и др] // Проблемы Полесья. – Мн.: Наука и техника, 1974. – Вып. 3. – С. 69–93.
17. Батуро В.А. Химический состав торфообразователей и начальная стадия торфообразования // Доклады АН БССР. – Минск, 1957. – №2. – С. 62–67.
18. Батуро В.А., Шинкарева Т.А., Раковский В.Е., Курбатова-Беликова Н.М. Исследование процесса гумификации растений торфообразователей: сборник трудов // Комплексное использование торфа. – М.-Л., 1965. – С. 7–13.
19. Белковский В.И., Войтова А.С., Решетник А.П., Загорец Л.И. Накопление растительных остатков в торфяно-болотной почве в зависимости от характера ее использования // Изв. АН БССР. Сер. с.-х. наук. – 1980. – №1. – С. 50–54.
20. Белковский В.И., Дречина Л.В., Швейдель Л.Я. Эффективность обогащения торфяных почв минеральными компонентами и их влияние на минерализацию органического вещества // Проблемы Полесья. – Мн. : Наука и техника, 1981. – Вып. 7. – С. 91–102.
21. Бирюкова О.Н., Орлов Д.С. Запасы органического вещества и типа гумуса в почвах и торфах севера европейской части России // Почвоведение. 1993. № 10. С. 39–51.
22. Боголюбова Л.И. Особенности битуминологической характеристики органического вещества торфов на примере приморских областей торфонакопления // Накопление и преобразование органического вещества современных и ископаемых осадков: Сб. научн. тр. Геол. института. – М.: Наука, 1990. – С. 82–114.
23. Боголюбова Л.И. Особенности превращения тканей растений торфообразователей в приморских голоценовых областях тор-

- фонакопления и микрокомпонентный состав торфов // Осадочная оболочка Земли в пространстве и времени. – М.: Наука, 1989. – С. 131–146.
24. Бокова Е.Н. Об образовании газообразных продуктов при биохимическом разложении органического вещества ила, торфа, почвы и породы // Труды научно-исслед. ин-та геофизики и геохимии методов разведки. – 1954. – Вып. 2. – С. 59–67.
  25. Брезгунов В.С., Бамбалов Н.Н. Изменение органического вещества верхового торфа под влиянием приемов первичного окультуривания // Мелиорация и использование осушенных земель. – Мн.: Ураджай, 1968. – С. 224–228.
  26. Вернер В.С. Исследование превращений полисахаридов в процессе торфообразования // Изв. АН БССР. Сер. хим. наук. – 1967. – №3. – С. 102–108.
  27. Вознюк С.Т. Интенсивность и характер минерализации торфяников УССР при различных агро-мелиоративных приемах / С.Т. Вознюк, Н.В. Давыдова, Н.К. Красовский [и др.]. // Проблемы Полесья. – Мн.: Наука и техника, 1981. – Вып. 7. – С. 24–29.
  28. Германова Н.И. Интенсивность процессов минерализации остатков растений торфообразователей верховых болот при разной влажности // Болотные биогеоценозы и их изменение в результате антропогенного воздействия. – Л.: Наука, 1983. – С.82–90.
  29. Германова Н.И. Разложение растений торфообразователей верховых болот // Исследования по лесному болотоведению и мелиорации. – Петрозаводск, 1978. – С. 50–63.
  30. Германова Н.И., Егорова Р.А. Баланс органического вещества гидролесомелиорации торфяных почв среднетаежной подзоны // Лесоведение. – 1998. – №3. – С. 12–18.
  31. Германова Н.И., Яковлева В.И. Динамика минерализации органического вещества верховых торфообразователей при внесении удобрений // Болотно-лесные экосистемы Карелии и их динамика. – Л., 1980. – С. 156–168.
  32. Голуб Е.С., Раковский В.Е., Вальц И.Э., Колосова М.Х. Химические превращения растительных остатков при образовании торфов // Химия твердого топлива. – 1967. – №4. С. 71–74.
  33. Гришина Л.А., Копчик Г.Н., Макаров М.И. Трансформация органического вещества почв. – М., 1990. – 88 с.
  34. Дементьева Т.В. Характеристика органического вещества торфа и оценка его биохимической устойчивости как основа раци-

- онального использования торфяных почв: Дисс. ... канд. с.-х. наук. – Томск, 2000. – 208 с.
35. Демкина Т.С., Золотарева Б.Н. Определение скорости минерализации гумусовых веществ в почве // Почвоведение. – 1997, №10. – С. 1217–1221.
  36. Деревягин А.В. Пути трансформации органического вещества в почвах // Химия в сельском хозяйстве. – 1986. – №3. – С. 49–51.
  37. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика. – Новосибирск: Наука, 1984. – 152 с.
  38. Донских И.Н., Шаповалов В.И., Бережная И.В., Мелешкина И.О. О скорости разложения целлюлозы в освоенных болотных торфяных почвах разной степени увлажнения // Записки ЛСХИ. – Л.-Пушкин, 1974. – Т. 218. – С. 54–59.
  39. Дречина Л.В. Влияние степени увлажнения и pH среды на скорость разложения растительных остатков // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. – Минск, 1974. – С.102–122.
  40. Загуральская Л.М. Разложение некоторых растений торфообразователей в естественных условиях // Взаимодействие болота и леса. – М.: Наука, 1967. – С. 82–88.
  41. Зайдельман Ф.Р. Скорость биохимического разложения органического вещества осушенных торфяных почв при разных способах пескования / Ф.Р. Зайдельман, А.П. Шваров, Е.Б. Павлова, С.Н. Головин // Почвоведение. – 1997. – №9. – С. 1148–1156.
  42. Ершов В.В. Скорость разложения клетчатки в мелиорированных торфяных почвах // Продуктивность торфяных почв под луговыми агроценозами. – Петрозаводск, 1981. – С. 46–57.
  43. Ефимов В.Н. Торфяные почвы. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 120 с.
  44. Ефимов В.Н. Торфяные почвы и их плодородие. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 264 с.
  45. Ефимов В.Н. Трансформация органического вещества и азота в почвах осушаемых болот // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – №2. – С. 17–21.
  46. Ефимов В.Н., Лунина Н.В. Изменение состава органического вещества торфяных почв за 70 лет сельскохозяйственного освоения // Почвоведение. – 1986. – №7. – С. 79–88.
  47. Ефимов В.Н., Царенко В.П. Органическое вещество и азот в торфяных почвах // Почвоведение. – 1992. – №10. – С. 51–55.

48. Ефремова Т.Т. Изменение органического вещества торфяных почв под влиянием осушения и естественного облесения (на примере низинных болот Томской области): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 1971. – 27 с.
49. Иванникова Л.А., Гармаш Г.Г. Определение параметров минерализации органических веществ в почве способом реакционно-кинетического фракционирования // Почвоведение. – 1994. – №9. – С. 28–36.
50. Инишева Л.И., Баженов Д.А., Головацкая Е.А., Инишев Н.Г. Моделирование эмиссии CO<sub>2</sub> из болотных почв // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2003. – С. 72–77.
51. Инишева Л.И., Дементьева Т.В., Белова Е.В. К вопросу об эмиссии CO<sub>2</sub> из болот // Чтения памяти Ю.А. Львова: матер. 2 межрегион. эколог. конф. – Томск, 1998. – С. 84–86.
52. Инишева Л.И., Дементьева Т.В. Интенсивность трансформационных процессов в торфах разного ботанического состава // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1998. – № 3–4. – С. 18–23.
53. Инишева Л.И., Порохина Е.В., Санникова Ю.В. Изучение кинетики разложения органического вещества торфов // Методы исследований органического вещества почв. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2005.
54. Инишева Л.И., Белова Е.В., Дементьева Т.В., Агеев Б.Г. Кинетика разложения органического вещества торфов в искусственно аэробных условиях // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования: матер. совещания. – М.: ГЕОС, 1999. – С. 186–188.
55. Инишева Л.И., Дементьева Т.В. Скорость минерализации органического вещества торфа // Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 196–203.
56. Инишева Л.И., Тарновская Л.И., Шишмина Л.В., Дементьева Т.В. Характеристика гуминовых кислот некоторых торфов Томской области // Торф в сельском хозяйстве. – Томск, 1997. – С. 49–60.
57. Керженцев А.С., Кузнецова Е.В. Модель трансформации органического вещества в почве // Информационные процессы изучения биосферы. – Пущино: НЦБИ АН СССР, 1990. – С. 152–157.
58. Кленов Б.М., Корсунова Т.М. Гумус некоторых типов почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1976. – 160 с.

59. Козловская Л.С. Процессы разложения болотных растений в торфяных почвах // Почвенные исследования в Карелии. – Петрозаводск, 1974. – С. 190–196.
60. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. – Л.: Наука, 1978. – 172 с.
61. Козловский Ф.И. О формах анаэробных процессов в торфяниках Центральной Барабы // Почвоведение. – 1959. – №3.
62. Кононова М.М. Новое в области биохимии почвенного гумуса // Микроорганизмы почвы и их роль в урожайности растений. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – С. 9–11.
63. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.
64. Кононова М.М. Процессы превращения органического вещества и их связь с плодородием почвы // Почвоведение. – 1968. – №8.
65. Костычев П.А. О растворимых в воде продуктах разложения органического вещества // Материалы по изучению русских почв. – СПб., 1906. – Вып. 17.
66. Кравков С.П. Материалы к изучению процессов разложения растительных остатков в почве. – СПб., 1908.
67. Лабораторное моделирование процесса разложения торфа. – Мн., 1980. – С. 65–127.
68. Лебедев К.К. Послойные изменения негидролизующего остатка низинных торфяных залежей // Тр. ин-та торфа. – Минск, 1959. – Т.7. – С. 36–49.
69. Лихобабенко В.С., Нагибина В.В., Раковский В.Е. К вопросу о вторичных химических реакциях, протекающих в торфяных залежах // Труды Калининского политех. ин-та. – 1967. – Вып 3(16). – С. 93–97.
70. Лиштва́н И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа: учебн. пособие для вузов. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
71. Лиштва́н И.И., Базин Е.Т., Косов В.И. Физические процессы в торфяных залежах. – Минск: Наука и техника, 1989. – 287 с.
72. Лиштва́н И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
73. Лукашев В.К., Лукашев К.И. Научные и прикладные аспекты изучения процессов минерализации органического вещества // Проблемы Полесья. – Мн.: Наука и техника, 1981. – Т. 7. – С. 19–23.

74. Лукошко Е.С., Раковский В.Е. Влияние отдельных факторов на разложение растений торфообразователей в торфогенном слое // Химия и генезис торфа и сапропелей. – Мн.: Наука и техника, 1962. – С. 3–10.
75. Люжин М.Ф. Влияние условий разложения на процессы минерализации растительных остатков и изменение их химического состава // Записки ЛСХИ. – 1970. – Т.137. – Вып. 4. – С. 85–91.
76. Макаров Б.Н. Упрощенный метод определения дыхания почвы (биохимической активности) // Почвоведение. – 1957. – №9. – С. 119–122.
77. Микробиология и биохимия разложения растительных материалов. – М.: Наука, 1988. – 336 с.
78. Маль С.С. Углеводы и азотсодержащие вещества торфа. – Мн., 1982. – 231 с.
79. Ничипорович Д.В., Лобач Т.Я. Трансформация органического вещества микроразложений в осушенных торфяных почвах // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 2. – 1987. – №3. – С. 68–74.
80. Олиневич В.А. Процессы минерализации и гумификации органического вещества торфяных почв в связи с их освоением. Автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Киев, 1966. – 20 с.
81. Олиневич В.А., Кофман И.Я. Качественный состав органического вещества осушенных торфяных почв УССР // Почвоведение. – 1977. – №1. – С. 73–82.
82. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 332 с.
83. Орлов Д.С. Кинетическая теория гумификации и вероятные схемы строения молекулы гуминовых кислот // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. – 1977. – №9. – С. 5–16.
84. Орлов Д.С. Органическое вещество в почве и органические удобрения. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 98 с.
85. Орлов Д.С. Трансформация органического вещества в гумусе // Природа. – 1994. – №7. – С. 32–36.
86. Переверзев В.Н. Биохимия гумуса и азота почв Кольского полуострова. – Л., 1987. – 303 с.
87. Пестряков В.К. О трансформации органического вещества в модельном лабораторном опыте / В.К. Пестряков, В.П. Ципленков, Н.В. Ковш [и др.] // Вестник ЛГУ. Серия 3. – 1988. – №4. – С. 82–88.

88. Печкуров А.Ф. О минерализации торфа // Тр. Института мелиорации и вод хозяйства АН БССР. – 1955. – Т. 6. – С. 250–256.
89. Пигулевская Л.В., Раковский В.Е. Изменение химического состава отдельных видов торфа в зависимости от их возраста // Труды института торфа АН БССР. – 1957. – Т.6. – С. 110–122.
90. Пигулевская Л.В., Раковский В.Е. Химический состав торфообразователей и влияние его на состав торфов // Труды института торфа. – Минск, 1957. – Т.6. – С. 3–11.
91. Плоткина Ю.М. Изменение гуминовых кислот низинных торфов при сельскохозяйственном освоении торфяных почв // Физико-химические, геохимические и микробиологические процессы мелиорированных почв Полесья. – Минск, 1974. – С. 77–102.
92. Покотило А.С., Ефимова Н.М. Режим уголекислоты в почвенном воздухе осушенного низинного торфяника лесостепной зоны Тюменской области // Сибирский вестник с.-х. науки. – 1977. – №1. – С. 70–73.
93. Прозорова М.И. Влияние влажности и температуры на скорость минерализации торфа // Экология. – 1988. – №2. – С. 3–7.
94. Раковский В.Е. О процессах изменения торфа и о трактовке этих процессов // Торфяная промышленность. – 1946. – №5–6. – С. 29–30.
95. Раковский В.Е. Химическая сущность процессов диагенеза торфа // Органическое вещество современных и ископаемых осадков. – М.: Наука, 1970. – С. 120–142.
96. Раковский В.Е., Лукошко Е.С. Изменение химического состава растений торфообразователей в течение вегетационного периода // Комплексное использование торфа. – М.-Л., 1965. – С. 24–30.
97. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. – М.: Недра, 1978.
98. Рогусски В. Интенсивность минерализации осушенных торфяников в условиях Польши // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. – Мн., 1969. – С. 142–159.
99. Скобеева Е.И., Тюремнов С.Н. О морфологии разрушения остатков растений в торфяной залежи // Вестник Моск. ун-та. Биология, почвоведение. – 1967. – №3. – С. 84–90.
100. Скоропанов С.Г. Мелиорация торфяников и проблема органического вещества // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. – Минск, 1969. – С. 21–33.



101. Скоропанов С.Г. Минерализация органического вещества окультуренной торфяной почвы. / С.Г. Скоропанов, Н.Н. Бамбалов, Л.Т. Кахновская [и др.] // Вести АН БССР. – 1973. – №4. – С. 37–43.
102. Скоропанов С.Г. – Регулирование баланса органического вещества торфяных почв: рекомендации / С.Г. Скоропанов, В.И. Белковский, В.С. Брезгунов [и др.]. – Мн.: Ураджай, 1982. – 32 с.
103. Скрынникова И.Н. Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах (на примере исследований окультуренных многозольных торфяных почв долины р. Яхромы). – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
104. Сукачев В.Н. Болота, их образование, развитие и свойства. – Л., 1962. – 162 с.
105. Титлянова А.А. Что мы знаем о продукции болот? // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее. – Новосибирск, 2001. – С. 136–139.
106. Трибис В.П. Оценка скорости минерализации органического вещества торфяных почв // Почвоведение. – 1990. – №2. – С.105–110.
107. Трофимов С.Я. О динамике органического вещества в почве // Почвоведение. – 1997. – №9. – С.1081–1086.
108. Трусов А.Г. О некоторых химико-биологических процессах, совершающихся при гумификации растительных остатков // Журн. оп. Агрономии. – 1916. – Т.17.
109. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
110. Чертов О.Г. О методике изучения функционально-динамических характеристик трансформации органического вещества почв / О.Г. Чертов, С.Н. Чуков, М.А. Надпорожская [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 1994. – №17. – С. 106–107.
111. Царенко В.П. Азот в торфяных почвах и его трансформация. Автореф. дисс. ... док. с.-х. наук. – СПб.-Пушкино, 1992. – 32 с.
112. Широких П.С. Органическое вещество и соединения азота в низинных торфяных почвах с различным ботаническим составом // Сибирский вестник с.-х. науки. – 1981. – №1. – С. 16–20.
113. Юдина Н.В., Инишева Л.И. Изменение состава органического вещества торфов в зависимости от условий и срока хранения // Химия твердого топлива. – 1996. – С. 14–17.

114. Ageev B.G., Golovatskya E.A., Dementjeva T.V., Inisheva L.I., Ponomarev Y. N., Sapozhnicova V.A. Comparision of two methods for measurements of CO<sub>2</sub> emission at transformation processes in peat // Seventh International Symposium on Atmosperic And Ocean Optics, Gennadii G. Matvienko et.al, Proceeding of SPIE. – Vol. 4341 (2000), P. 641–643.
115. Cambell C.W. Soil organic carbon, nitrogen and fertility. Soil Organic Matter. EC sevier Publishing Company. – New York, 1978. – P. 173–271.
116. Inisheva L.I., Dementjeva T.V., Savicheva O.G., Borovkova A.F., Aristarkhova Y.E. Nechaev D.V The organic transformation of peat in outover peatland. // Peatland Restoration and reclamation. – Techniques and Regulatory Consideration, Duluth, Minnesota, USA, International Peat Society, 1998, – P. 202–204.
117. Flaig W., Beutelspacher H., Rietz E. Chemical composition and physical properties of humic substances // Soil components. N.Y. etc. – 1975. – Vol. 1: Organic components. – P. 1–911.
118. Jenkinson D.S. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effect of plant cover and soil type on the loss of carbon from <sup>14</sup>C-labelled ryegrass decomposing under field conditions // J. Soil Science. – 1977. – V. 28. – P. 424–434.
119. Maryanova Victoria. Impact of various genesis on chemical structure of peat humic substances. In: L. Rochefort and J.-Y. Daigle (eds) Sustaining our peatlands// Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Peat Symposium. – Quebec, Canada, 2000. – P. 618–626.
120. Maryanova Victoria, Bambalov Nikolay, Szajdak Lech. Hydrophobic and hydrophilic properties of peat humic substance // Wise use of Peatlands // Proceedings of the 12 International Peat Congress. – Finland. – 2004. P. 315–320.
121. Milanowskii, E. Yu. and Shein, E.B. Functional role of amphiphilic humus components in humus structure formation and soil genesis// Pochvovedenie. – №10. – 2002. – P. 1201–1213.
122. Nilsson Kristina. The carbon dioxide emission factor for combustion of Swedish peat // Wise use of Peatlands// Proceedings of the 12 International Peat Congress. – Finland, 2004. – P.157–161.
123. Wadman W.P., S de Haan. Decomposition of organic matter from 36 soils in long-term pot experiment // Plant and Soil. – 1997. – V. 189. – P. 289–301



**Т. В. Дементьева, О. Ю. Богданова, Н. А. Шинкеева**

**ФИЗИКОХИМИЯ И БИОЛОГИЯ ТОРФА.  
РУКОВОДСТВО ПО МЕТОДАМ ИЗУЧЕНИЯ  
ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО  
ВЕЩЕСТВА ТОРФОВ**

**Методическое пособие**

---

---

Издательство Томского ЦНТИ. Лиц. ИД № 05060 от 14.06.2001 г.  
Отпечатано в Томском ЦНТИ. Лиц. ПД № 12-0084 от 16.04.2001 г.  
Подписано в печать 30.05.2011 г. Заказ № 551. Тираж 100 экз.  
Россия, 634021, г. Томск, пр. Фрунзе, 115/3.