

На правах рукописи

Сергеева Маргарита Александровна

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА В  
ОЛИГОТРОФНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ  
ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

03.00.27 – почвоведение

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Томск 2007

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет» в испытательной лаборатории агроэкологии при кафедре ботаники

**Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
Инишева Лидия Ивановна

**Официальные оппоненты:** доктор биологических наук  
Сысо Александр Иванович

кандидат биологических наук  
Тронова Татьяна Михайловна

**Ведущая организация:** ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Защита состоится «17» января 2007 г. в 14 час. на заседании диссертационного совета Д 212.267.09 в ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. Факс (38-22) 52-00-99.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета по адресу: г. Томск, пр. Ленина, 34 а.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор биологических наук



В.П. Середина

**Актуальность исследований.** В настоящее время, в связи с проблемой изменения климата, большое внимание исследователей уделяется изучению цикла углерода и его составляющих в биосфере (Заварзин, 1984, 1993; Кондратьев, 1992, 2000; Вомперский, 1994, 1994а, 1999; Наумов, 1994, 2001, 2002; Титлянова, 1995; Кудеяров, 1995, 1999, 2004, 2005; Израэль, 1998; Глухова, 1999; Инишева, 2002; Кобак, 2004; Волкова, 2007; Панов, 2007). В условиях роста концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосфере более ценными считаются те биогеоценозы, которые способны больше взять углекислого газа из атмосферы и дольше удерживать в себе углерод. Таковыми являются торфяные почвы. И хотя на них приходится только 2-4 % поверхности Земли, они рассматриваются как один из основных углеродных пулов биосферы.

Известно, что торфяные почвы на 50-98 % состоят из растений торфообразователей, органическое вещество которых претерпевает сложные преобразования под влиянием биохимических процессов. Это приводит к высвобождению углерода в виде метана и диоксида углерода, а также происходит изменение исходного состава органического вещества, молекулярной структуры его отдельных компонентов и синтез новых продуктов. Задача оценки биохимической деструкции (торфогенеза) органического вещества торфяных почв на основе проведения длительных стационарных исследований составляет важное направление проблемы круговорота углерода в биосфере. Процесс деструкции углеродсодержащих веществ в торфяных почвах в большей степени биохимический и отсюда непрерывный. В условиях повышенного аэробнозиса интенсивность микробиологического и энзимологического превращений органического вещества значительно возрастает.

В связи с этим оценка биохимических процессов, протекающих в торфяных почвах, пулов и потоков между составляющими компонентами биогеоценоза, а также с внешней средой – очень важная фундаментальная и практическая задача.

**Цель работы:** Исследовать биохимические процессы образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в профиле олиготрофных торфяных почв южно-таежной подзоны Западной Сибири.

**Задачи исследований:**

1. Изучить свойства олиготрофных торфяных почв.
2. Исследовать динамику биохимических процессов образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ .
3. Выявить связи между свойствами, режимами олиготрофных торфяных почв и активностью биохимических процессов.
4. Установить особенности динамики образования и выделения  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в олиготрофных торфяных почвах.

**Научная новизна.** Впервые проведено полнопрофильное биохимическое исследование олиготрофных торфяных почв южно-таежной подзоны Западной Сибири. Выявлены закономерности протекания биохимических процессов углеродного цикла в зависимости от генезиса торфяных почв. Установлено, что активность микробиологических и энзимологических процессов характерна для всего профиля олиготрофных торфяных почв и определяется типом и видом торфов, а также длительностью торфообразования. Определены условия и параметры продуцирования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  олиготрофными торфяными почвами южно-таежной подзоны Западной Сибири.

**Практическая значимость.** Полученные данные используются в подготовке учебных пособий и при чтении лекций по специализации «Торфяные ресурсы и торфопользование».

**Защищаемые положения:**

1. Весь профиль олиготрофных торфяных почв до минеральной породы биохимически активен, на что указывает численность отдельных физиологических групп микроорганизмов, ферментативная активность и газовый состав.

2. Генетические особенности олиготрофных торфяных почв под воздействием конкретных гидротермических условий определяют биохимическую активность профиля торфяных почв, ее сезонную и пространственную вариабельность.

3. Продуцирование  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  олиготрофными торфяными почвами представляет собой результат торфообразовательного процесса, проявляющегося в газообмене системы торф-вода-атмосфера.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на Всероссийских школах «Болота и биосфера» (Томск, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007), Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 2004), Международной конференции по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды «Enviromis» (Томск, 2004, 2006, 2007).

**Структура и объем работы.** Диссертация представляет собой рукопись объемом 198 страниц, состоящую из введения, 6 глав, выводов, включает 12 таблиц и 13 рисунков, 10 приложений. В списке литературы 195 отечественных и зарубежных источников.

Работа выполнена в рамках методической НИР Минобрнауки и частично поддержана грантами РФФИ (06-05-07004, 07-05-10036 к).

Автором были проведены полевые работы, аналитические исследования и интерпретация полученных результатов. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю д. с.-х. н., чл. корр. РАСХН Л.И. Инишевой. Особую признательность автор выражает к.б.н. И.К. Кравченко за помощь в освоении ряда микробиологических методов исследований (Институт микробиологии РАН, г. Москва), Б. Айлриху и Ф. Штайману за помощь в освоении полевых методик и предоставлении оборудования (Университет Неушатель, Швейцария), О.В. Гамолину за проведение анализов на газовом хроматографе (ИХН СО РАН, г. Томск). Автор благодарен коллегам за помощь в проведении экспедиционных исследований, сборе полевого материала и постоянную поддержку: О.Г. Савичевой, Е.Э. Езупенок, Ю.В. Санниковой, М.В. Гостищевой, Е.В. Порохиной.

### **Глава 1. Биохимические процессы углеродного цикла в торфяных почвах**

Исследования биохимических процессов в торфяных почвах фрагментарно были проведены в Европе (Barker, 1949; King, 1978; Inoue, 1994). На протяжении длительного периода изучением биохимических процессов на осушенных торфяных почвах занимались в Беларуси (Зименко, 1966, 1977, 1983). В Западной Сибири биохимические процессы торфяных почв исследовались также в связи с проблемой осушения и использования их под сельскохозяйственные культуры, именно поэтому внимание уделялось метровому горизонту осушаемых торфяных почв (Потехина, 1964, 1966, 1967; Загуральская, 1966, 1967а, 1967б; Славнина, Инишева, 1978). Некоторые исследователи занимались изучением в торфяных почвах Западной Сибири активности отдельных физиологических групп микроорганизмов (Наплекова, 1965-1972). За последнее время важный вклад в расширение знаний о микробном сообществе болот внесли работы кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ (Звягинцев и др., 1991; Добровольская и др., 1991, 2000; Головченко и др., 1992, 2000). Интерес к проблеме глобального изменения климата привлек внимание к изучению биохимических процессов ранее практически не изучаемым микроорганизмам, в том числе метаногенам и метанотрофам (Hort et al., 2003; Sizova et al., 2003; Дедыш, 2005; Kotsyurbenko et al., 2007). Многими авторами основное внимание уделялось эмиссии  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  из торфяных болот (Паников, 1992; Махов, 1994; Наумов, 1994; Смагин, 1999; Бажин, 2000; Дементьева, 2000; Глаголев, 2003а, 2003б, 2004). Исследований, посвященных биохимическому процессу преобразования органического вещества и образованию газов в профиле торфяных почв, практически нет и они относятся к торфяным почвам европейской части России (Дедыш, 1997;

Сирин, 1998; Смагин, 2000; Дулов, 2000; Айлрих, 2000; Кравченко, 2000, 2004; Поздняков, 2003). Следует также отметить, что изучение биохимических процессов углеродного цикла в торфяных почвах основывается на разовых наблюдениях. Такие исследования не дают полного представления о динамике биохимических процессов, роли отдельных факторов в их изменении, что не позволяет получить целостного представления о роли торфяных почв в круговороте углерода. Вместе с тем биохимические процессы образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  весьма сложны и включают ряд отдельных циклов: минерализацию и гумификацию органического вещества, растворение и преобразование выделяемых газов посредством микробиологической деятельности и физико-химических процессов происходящих в профиле торфяной почвы, их эмиссию в атмосферу.

## **Глава 2. Природные условия южно-таежной подзоны Западной Сибири**

Климат южно-таежной подзоны Западной Сибири способствует болотообразовательному процессу. Геологические условия характеризуются двухъярусным сложением, причем нижний структурный этаж сложен слабодислоцированными палеозойскими породами фундамента, залегающими на глубинах 188-2600 м, верхний – пологозалегающими мезо-кайнозойскими образованиями. Четвертичные отложения залегают сплошным чехлом, их толща имеет сложное строение, генезис разнообразен. После распада подпрудных бассейнов на поверхности отложений самаровского горизонта происходило формирование лессовидных суглинков, объединенных в ширтинско-тазовские отложения. Эти отложения слагают практически все водоразделы и являются основными почвообразующими породами для современного почвенного покрова южно-таежной подзоны Западной Сибири, на которых широко распространены болотные почвы. В основании болотных отложений имеется слой илистой темно-серой гумусированной глины мощностью 0,8-4 м, иногда содержащей раковины пресноводных моллюсков. Природные условия исследуемой территории на протяжении длительного периода времени способствовали активному заболачиванию территории, что существенным образом сказалось на современном рельефе. Общей особенностью рельефа южно-таежной подзоны Западной Сибири является слабая дренированность и невысокая расчлененность территории водными потоками. Данная территория отличается широким распространением вторичных темнохвойно-мелколиственных травяных и, несколько реже, мелкотравно-зеленомошных лесов. Господствующее положение на территории исследования занимают болотные фитоценозы. В почвенном покрове южно-таежной подзоны Западной Сибири наиболее распространены подзолы

иллювиально-железистые сухоторфянистые, дерново-подзолистые, дерново-глеевые, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, торфяные болотные почвы. По долинам рек встречаются пойменные почвы. Общая заболоченность территории достигает 60 %. Наибольшая заболоченность приурочена к новейшим структурам – к широким водораздельным пространствам, к понижениям вдоль зон разломов, к некоторым широким и плоским прогибам.

По болотному районированию О.Л. Лисс и др. (2002) исследуемая территория расположена в Бакчарском болотном округе южно-таежных олиготрофных грядово-мочажинных сосново-кустарничково-сфагновых болот в сочетании с эвтрофными и мезотрофными сосново-елово-кедрово-березово-осоково-гипновыми (или сфагновыми) и осоково-гипновыми (или сфагновыми) болотами.

### **Глава 3. Объекты и методы исследований**

Исследования проводились на территории научно-исследовательского полигона, площадью 200 км<sup>2</sup>, в междуречье рек Бакчар - Икса (Бакчарский район, Томская область). Географические координаты: 56<sup>0</sup>03' и 56<sup>0</sup>57' СШ, 82<sup>0</sup>22' и 82<sup>0</sup>42' ВД. В качестве модельного объекта для исследования биохимических процессов углеродного цикла была принята территория малого заболоченного водосбора р. Ключ, параллельно линиям стока которой был заложен ландшафтный профиль. Профиль пересекает следующие основные виды болотных фитоценозов: сосново-кустарничково-сфагновый, высокий рям (пункт 2), сосново-кустарничково-сфагновый, низкий рям (пункт 3), осоково-сфагновая топь (пункт 5) (рисунок 1).

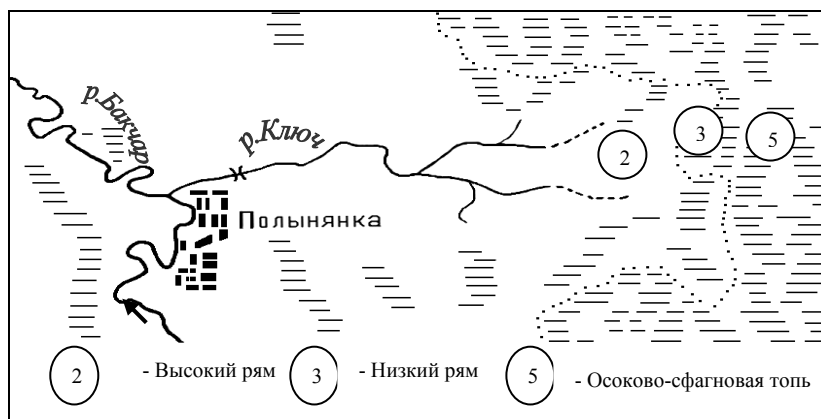
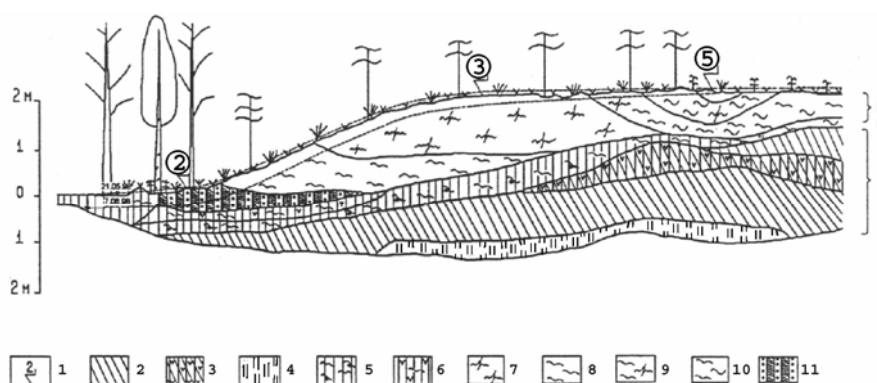


Рисунок 1 - Пункты наблюдений за динамикой биохимических процессов олиготрофных торфяных почв.

При образовании данного болотного массива на начальном этапе преобладала эвтрофная стадия, которая сменилась олиготрофной стадией развития. Торфяная почва осоково-сфагновой топи образовалась при зарастании папоротником

мелководного озера. На смену папоротниковой стадии, пришли эвтрофные топяные фитоценозы с господством осок. Смена эвтрофной стадии происходила по мере накопления торфа и изменения водно-минерального режима болот. В переходную стадию произошло формирование сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза с маломощной прослойкой переходного торфа. При переходе к олиготрофной стадии за счет изменения водно-минерального режима болот произошла смена растительности с сосново-кустарничково-сфагнуовой на осоково-сфагновую с преобладанием мха, что привело к формированию торфяной почвы олиготрофного типа (п. 3 и 5). Дальнейшее наступление болотного массива на сушу привело к формированию торфяной почвы низкого рьяма (п. 2). Строение профиля торфяных почв представлено на рисунке 2.



**Условные обозначения:** 1 – пункт отбора образцов; 2-11 – виды торфа: 2 – низинный осоковый; 3 – низинный древесно-осоковый; 4 – низинный папоротниковый; 5 – переходный древесно-сфагновый; 6 – переходный древесно-травяной; 7 – фускум-торф; 8 – магелланикум-торф; 9 – верховой комплексный; 10 – сфагнуво-мочажинный; 11 – верховой сосново-пушицевый.

**Исследуемые торфяные почвы:** ② – торфяная почва высокого рьяма; ③ – торфяная почва низкого рьяма;

⑤ – торфяная почва осоково-сфагнуовой топи.

**Типы торфов:** - В – верховой; П – переходный; Н – низинный.

Рисунок 2 – Ландшафтный профиль с торфяными почвами олиготрофного типа.

В пунктах были заложены разрезы, в которых на основании ботанического состава профилей торфяных почв были отобраны образцы и проведены анализы: ботанический состав и степень разложения (ГОСТ 28245.2-89), зольность (ГОСТ 11306-83); рН солевой вытяжки (ГОСТ 11623-65), гидролитическая кислотность (ГОСТ 27894.1-88); сумма поглощенных оснований (Методические указания по анализу торфа .., 1981); фракционный состав азота по Шконде и Королевой (Замятина, 1975), фракционно-групповой состав углерода по В.В. Пономаревой и Т.А. Николаевой (1961).

Динамика биохимических процессов изучалась в вегетационные периоды 2004 - 2006 гг. Ежемесячно по профилю торфяных почв отбирались образцы, в которых определяли микробиологическую и энзимологическую активности. Методом посева



проводили определение численности следующих групп микроорганизмов: аммонификаторов, микроорганизмов, разрушающих минеральные формы азота, целлюлозоразрушающих микроорганизмов (аэробы, анаэробы), метанотрофов. Определение микроорганизмов производилось в соответствии с методиками Института микробиологии РАН (Звягинцев, 1991). Определение биомассы микроорганизмов проводили методом люминесцентной микроскопии. Активность ферментов (инвертазы и целлюлазы) определялась по Щербаковой (2005) и Меленковой (2003).

В течение вегетационных периодов проводили определение концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в профиле торфяных почв ландшафтного профиля «реперс»-методом (Айлрих, 2000). В качестве пробоотборников использовались камеры объемом 30 мл. Заполненные дистиллированной водой, камеры соединялись полыми трубками и закладывались в почвенный профиль по ранее выбранным глубинам в соответствии с ботаническим составом. Через месяц камеры извлекались из почвенного профиля, вода из них отбиралась в вакуумные пробирки и анализировалась на газовом хроматографе «Кристалл-2000» в Институте химии нефти СО РАН. Измерения эмиссии  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  с поверхности торфяных почв проводили ежемесячно камерно-статистическим методом в трех повторностях.

В течение вегетационных периодов в каждой торфяной почве на ландшафтном профиле еженедельно измеряли уровни болотных вод в соответствии с "Наставлениями гидрометеорологическим станциям и постам" (1989). Наблюдения за окислительно-восстановительным и температурным режимами торфяной залежи велись до глубины 1 м через каждые 10 см, далее через 50 см с помощью стационарно заложенных датчиков. Режим влажности в активной зоне торфяных почв определяли ежемесячно весовым методом (ГОСТ 11305-83).

Статистическая обработка была выполнена с помощью программы «Statistica 6.0». Для определения взаимосвязи между отдельными группами микроорганизмов и закономерностей их распределения в торфяных почвах ландшафтного профиля использовалась программа расчета, разработанная С.Г. Катаевым, основанная на кластерно-аналитическом методе.

#### **Глава 4. Общетехнические и биохимические свойства олиготрофных торфяных почв южно-таежной подзоны Западной Сибири**

Формирование исследуемого болотного массива происходило в течение длительного периода и при разном водно-минеральном питании, что привело к формированию типичных торфяных почв олиготрофного типа.

**Общетехнические и химические свойства.** Торфяные почвы ландшафтного профиля характеризуются как нормальнозольные и различаются по степени разложения (таблица 1). Так, наименьшая степень разложения (0-5 %) характерна для горизонтов торфяной почвы низкого рьяма и осоково-сфагнуовой топи, сложенных торфами верхового типа. В горизонтах этих же почв, представленных низинными торфами, степень разложения увеличивается до 40-50 %.

*Состав органического вещества.* Легкогидролизуемый углерод (ЛГ) в торфяных почвах изменяется в пределах 2,56-10,7 % от С<sub>общ</sub>. Наибольшее содержание ЛГ веществ отмечается в горизонтах торфяной почвы низкого рьяма, представленных верховыми торфами (до 10,7 % от С<sub>общ</sub>). В горизонтах, сложенных торфами низинного типа, легкогидролизуемых веществ в 1,5-2 раза меньше. Такое распределение ЛГ веществ объясняется составом растений-торфообразователей. Фускум, медиум и комплексный верховые торфа, слагающие верхние горизонты торфяной почвы осоково-сфагнуовой топи и низкого рьяма более чем на 70 % состоит из сфагновых и зеленых мхов, а также осоки и пушицы, характеризующихся повышенным содержанием гемицеллюлозы. Профиль торфяной почвы высокого рьяма, который сложен древесными породами, содержит меньше гемицеллюлозы и ЛГ веществ. Общее содержание гуминовых кислот (ГК) в торфяных почвах изменяется от 12,07 до 67,37 % С<sub>общ</sub>, фульвокислот в 2-3 раза меньше. В целом наиболее обогащены ГК горизонты торфяных почв, сложенные низинным типом торфа.

Таблица 1- Общетехнические свойства торфяных почв ландшафтного профиля

Глубина, см	Вид торфа, тип залежи	Степень разложения, %	Зольность, %
<b>п. 5 – торфяные почвы осоково-сфагнуовой топи</b>			
0-50	Фускум- торф, В	0	2.3
50-100	Комплексный, В	15	3.1
100-150	Осоково-сфагнуовой, П	35	5.5
150-200	Осоковый, Н	50	5.8
200-250	Травяной, Н	50	9.2
250-300	Папоротниковый, Н	40	6.8
<b>п. 3 – торфяные почвы низкого рьяма</b>			
0-50	Фускум торф, В	5	1.5
50-100	Медиум торф, В	10	3.1
100-150	Древесно-пушицевый, П	15	4.2
150-200	Осоковый, Н	50	4.6
200-250	Осоковый, Н	45	4.0
250-300	Травяной, Н	40	6.2
<b>п. 2 – торфяные почвы высокого рьяма</b>			
0-25	Сосново-пушицево-сфагнуовой, В	35	5.8
25-50	Древесно-пушицевый, П	55	4.7
50-80	Древесно-пушицевый, П	55	6.8

**Примечание:** В – верховой, П – переходный, Н – низинный типы торфа.

*Фракционный состав азота.* Содержание общего азота составляет 0,32-2,98 %. Горизонты торфяных почв, сложенные верховыми торфами, содержат в 1,5 раза меньше валового азота. Наиболее обогащены азотом горизонты торфяных почв низкого рьяма и осоково-сфагнутой топи, сложенные низинными торфами, растения-торфообразователи которых представлены травяной группой. Минеральные соединения азота составляют – 1-2 % от общего азота торфяных почв. Самым низким содержанием легкогидролизуемого азота характеризуется фускум- и осоковый торфа. Самым высоким – торфа травяно-моховой группы.

**Биохимические свойства.** *Целлюлозоразрушающие микроорганизмы.* Численность аэробов в исследуемых торфяных почвах изменяется от 18,6 до 80,6 млн. КОЕ/г, анаэробов – от 9,5 до 70,4 млн. КОЕ/г, что соответствует данным, полученным ранее Г.П. Славниной (1953); В. Вавуло (1955); Л.И. Потехиной (1966); Н.Н. Наплековой (1968, 1971). В торфяных почвах высокая численность аэробов характерна для верхних горизонтов, сложенных верховыми торфами (18,9-80,6 млн. КОЕ/г), вниз по профилю их численность уменьшается в 2-3 раза. Соответственно, наибольшая численность анаэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов отмечается в нижних горизонтах.

*Аммонификаторы.* Высокая численность аммонификаторов наблюдается в профиле торфяной почвы осоково-сфагнутой топи – до 14,4 млн. КОЕ/г торфа, далее следует низкий – 7,6 млн. КОЕ/г и высокий рьямы – 0,8 млн. КОЕ/г торфа. Наибольшая численность аммонификаторов отмечается в горизонтах торфяных почв, сложенных торфами низинного типа (7,7-27,6 млн. КОЕ/г), что коррелирует с содержанием азота в этих горизонтах. Особо следует отметить повышенное содержание аммонификаторов в поверхностном слое торфяной почвы осоково-сфагнутой топи, что определяется ботаническим составом торфов. Так, осока, содержащаяся в этом горизонте, характеризуется повышенным содержанием азотистых веществ.

*Микроорганизмы, развивающиеся на КАА.* Численность этих микроорганизмов в торфяных почвах, колеблется от 4,5 до 28,6 млн. КОЕ/г. В среднем, повышенная численность отмечается в профиле почв осоково-сфагнутой топи – 15,3 млн. КОЕ/г, далее следует торфяная почва низкого рьяма – 8,3 млн. КОЕ/г и высокого рьяма – 0,8 млн. КОЕ/г. Наибольшая их численность отмечается в горизонтах торфяных почв, сложенных низинными торфами (до 28,6 млн. КОЕ/г).

*Метанотрофы.* Высокая средняя численность метанотрофов зафиксирована в торфяных почвах низкого и высокого рьямов – 290 тыс. КОЕ/г. Отмечается их снижение вниз по профилю. Повышенная их численность отмечается в горизонтах

торфяной почвы осоково-сфагнуовой топи, сложенных верховыми торфами, что подтверждено наличием высокой корреляции численности метанотрофов с торфообразователем – сфагнуомом фускумом.

Кластерно-аналитическим методом были определены взаимосвязи между определенными группами микроорганизмов в разных торфяных почвах ландшафтного профиля (рис. 3), которые показали, что торфяные почвы низкого яра и осоково-сфагнуовой топи практически идентичны по своим свойствам.

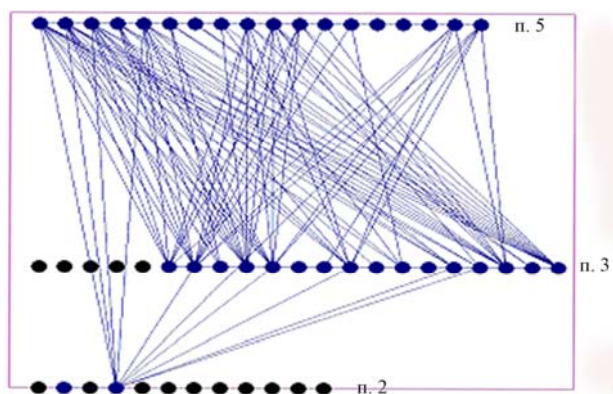


Рисунок 3 - Взаимосвязь между отдельными группами микроорганизмов в разных торфяных почвах ландшафтного профиля (разными точками обозначены разные группы микроорганизмов).

**Ферменты.** Более высокой инвертазной активностью характеризуются горизонты торфяных почв, сложенные торфами верхового типа (79,9-106,4 ед.). Корреляционный анализ выявил достоверную обратную связь между активностью инвертазы и степенью разложения ( $r = -0,67$ ) и положительную - с содержанием легкогидролизуемых веществ ( $r = 0,86$ ).

Наибольшая целлюлазная активность отмечается в горизонтах, сложенных верховыми торфами (0,65-1,25 ед.), что объясняется высоким содержанием легкогидролизуемых веществ и подтверждается высокой корреляцией между активностью целлюлазы и содержанием ЛГ веществ ( $r = 0,94$ ). Аналогичные горизонты торфяных почв ландшафтного профиля различаются по активности этого фермента незначительно.

**Агрохимические свойства.** Гидролитическая кислотность в торфяных почвах ландшафтного профиля уменьшается, а рН солевой увеличивается по профилю от горизонтов, сложенных торфами верхового типа к горизонтам, сложенным низинными торфами. Увеличение содержания подвижных соединений железа и алюминия приурочено к нижней части почв. Обеспеченность олиготрофных торфяных почв подвижными соединениями питательных элементов характеризуется как низкая.

Таблица 2 – Распределение микроорганизмов, среднее за годы исследований

Тип почвы. Глубина, см	Микроорганизмы, млн. КОЕ/г торфа								Метанотрофы, тыс. КОЕ/г торфа	
	аэробные целлюлозоразрушающие		анаэробные целлюлозоразрушающие		МПА		КАА			
	экстремумы	M±md	экстремумы	M±md	экстремумы	M±md	экстремумы	M±md	экстремумы	M±md
<b>п. 5 – осоково-сфагновая топь</b>										
<b>В, 0-50</b>	35,6 – 75,5	58,95±0,24	10,8-19,3	15,50±0,25	5,0-10,5	8,21±0,09	6,0-9,9	9,14±0,24	350-500	396±0,12
<b>В, 50-100</b>	28,6 – 72,1	55,61±0,16	9,6-22,6	17,20±0,13	10,1-13,4	11,97±0,41	10,7-15,2	16,25±0,05	300-400	380±0,08
<b>П, 100-150</b>	19,4 – 69,6	49,44±0,09	10,5-29,7	21,82±0,42	7,3-18,9	12,67±0,09	6,7-28,5	13,12±0,61	200-400	298±0,01
<b>Н, 150-200</b>	18,6 – 50,3	43,64±0,08	16,8-40,3	27,21±0,06	7,7-21,1	12,94±0,71	4,5-28,6	13,56±0,04	200-400	260±0,1
<b>Н, 200-250</b>	20,4 – 58,4	42,60±0,61	20,4-33,8	29,67±0,05	18,3-27,6	21,58±0,08	4,6-25,6	19,62±0,71	100-210	152±0,05
<b>Н, 250-275</b>	16,8 – 54,2	34,54±0,08	19,6-48,6	33,19±0,09	11,8-25,0	18,96±0,31	1,5-25,4	20,08±0,03	90-160	120±0,01
<b>п. 3 – низкий рям</b>										
<b>В, 0-50</b>	34,1 – 80,6	61,75±0,26	35,6-50,3	43,61±0,52	0,6-1,2	0,75±0,72	0,9-1,6	1,16±0,05	300-450	380±0,00
<b>В, 50-75</b>	20,6 – 76,5	53,91±0,09	39,4-57,2	50,24±0,11	1,0-2,1	1,10±0,07	1,6-4,5	2,09±0,16	300-380	346±0,0
<b>В, 75-100</b>	18,9 – 69,2	49,11±0,15	45,1-61,9	53,29±0,06	1,7-10,6	4,84±1,16	1,1-8,2	6,13±0,27	100-400	296±0,04
<b>П, 100-150</b>	18,6 – 67,3	48,18±0,11	54,6-62,8	59,36±0,07	5,2-9,9	8,69±0,08	3,6-10,2	9,56±0,01	100-300	232±0,04
<b>П, 150-200</b>	21,9 – 58,6	40,50±0,09	59,0-67,9	60,89±0,01	3,8-15,9	10,86±0,12	2,4-9,1	11,14±0,23	100-220	164±0,02
<b>Н, 200-250</b>	17,5 – 50,3	39,16±0,05	34,9-70,4	55,64±0,09	10,5-17,6	13,88±0,14	5,6-14,4	14,09±0,24	100-150	140±0,07
<b>Н, 250-300</b>	16,3 – 49,2	38,04±0,25	54,1-67,3	60,52±0,14	10,0-17,4	13,05±0,06	9,9-12,9	13,86±0,07	70-200	109±0,0
<b>п. 2 – высокий рям</b>										
<b>В, 0-25</b>	65,5 – 67,3	67,53±0,12	14,2-15,9	15,47±0,09	0,8-1,2	0,98±0,09	0,4-0,7	0,96±0,28	250-300	286±0,02
<b>В, 25-50</b>	54,8 – 59,3	57,60±0,06	12,9-19,5	16,92±0,16	0,07-1,0	0,70±0,21	0,2-0,9	0,90±0,09	250-300	270±0,01
<b>П, 50-75</b>	36,2 – 55,6	46,94±0,42	9,5-21,0	15,67±0,26	0,1-2,1	0,96±0,58	0,2-1,1	0,56±0,41	150-250	202±0,0
<b>П, 75-100</b>	31,7 – 43,1	31,74±0,04	15,9-19,8	16,83±0,02	0,1-1,9	0,47±1,14	0,3-1,3	0,63±0,14	100-200	144±0,01

**Примечание:** тип почвы: **В** – верховая, **П** – переходная, **Н** – низинная; M±md – среднее ± ошибка среднего

## Глава 5. Биохимические процессы углеродного цикла в олиготрофных торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири

Скорость и направление биохимических процессов определяются факторами внешней среды. В данной главе приводятся результаты исследований, которые проводились в разные по метеоусловиям годы.

### 5.1. Погодные и гидротермические условия

По ГТК вегетационный период 2004 года характеризуется как влажный (ГТК=1,5), 2005 г. – умеренно-влажный (ГТК=1,2), 2006 г. - сухой (ГТК=0,7). Особенностью 2004 года является засушливый май: осадков выпало в 4 раза ниже нормы, температура была выше нормы на 7<sup>0</sup>С. В июне и июле отмечается максимальный уровень осадков (139 и 156 мм.), что в 2 раза выше нормы. В 2006 году особенно сухой был июнь (осадков ниже нормы в 6 раз); 2005 г. может быть отнесен к среднему по метеоусловиям.

Общая закономерность динамики УБВ для трех лет исследований заключается в следующем: 1) подъем УБВ к поверхности отмечается в торфяных почвах в направлении: высокий рям – низкий рям – осоково-сфагновая топь; 2) наиболее высокие УБВ в торфяных почвах отмечаются в мае (рисунок 4).

Figure 4 consists of six subplots arranged in a 2x3 grid, showing weather conditions and dynamics of bog water levels for the years 2004, 2005, and 2006. The top row shows monthly precipitation (mm) and temperature (°C) for each year. The bottom row shows the dynamics of water levels (cm from surface) for three sites (п.2, п.3, п.5) in each year.

- 2004 г. (top left):** Precipitation (mm) is low in May (~5 mm) and high in June/July (~140 mm). Temperature (°C) is high in May (~20°C) and lower in June/July (~15°C).
- 2005 г. (top middle):** Precipitation (mm) is moderate throughout the year. Temperature (°C) is moderate.
- 2006 г. (top right):** Precipitation (mm) is very low in June (~2 mm) and higher in other months. Temperature (°C) is moderate.
- 2004 г. (bottom left):** Water levels (cm from surface) are high in May (~10 cm) and low in June/July (~-30 cm).
- 2005 г. (bottom middle):** Water levels (cm from surface) are high in May (~10 cm) and low in June/July (~-30 cm).
- 2006 г. (bottom right):** Water levels (cm from surface) are high in May (~10 cm) and low in June/July (~-40 cm).

Рисунок 4 – Погодные условия и динамика уровней болотных вод.

Погодные условия оказали влияние на температурный режим торфяных почв ландшафтного профиля. В верхнем метровом горизонте всех торфяных почв ландшафтного профиля уже в мае отмечается температура около 10<sup>0</sup>С. Прогревание до летних температур (15<sup>0</sup>С) происходит в середине июля в горизонте 0-50 см.

По температурным условиям выделяется 2006 год. В мае в торфяных почвах высокого рьяма и осоково-сфагнуовой топи температура не поднималась выше 4<sup>0</sup>С, а в

14

горизонте 0-50 см торфяного профиля низкого рьяма ее значения были ниже нулевой отметки. Прогревание до активных температур (больше 10<sup>0</sup>С) было зафиксировано в начале июля, в профиле торфяной почвы высокого и низкого рьяма до 20 см, осоково-сфагнутой топи до 100 см. Летние температуры (15<sup>0</sup>С) в этом году не зафиксированы.

## 5.2. Динамика микрофлоры

При анализе влияния погодных условий на численность микроорганизмов остановимся на торфяных почвах низкого и высокого рьямов, так как согласно вышерассмотренному, свойства торфяных почв низкого рьяма и осоково-сфагнутой топи близки по свойствам.

**Целлюлозоразрушающие микроорганизмы.** В среднем для всех торфяных почв ландшафтного профиля наибольшая численность аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов отмечается в сухой 2006 г. (74,8 млн. КОЕ/г), в другие годы их было в 1,5 раза меньше. Активность анаэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов отмечалась в 2004 и 2005 гг., соответственно, 67,8 и 71,2 млн. КОЕ/г, в 2006 г. их средняя численность составила – 53,8 млн. КОЕ/г. Отмеченные закономерности подтверждаются также работами Н.Н. Наплековой (1965, 1971 и др.), которая показала, что в более сухие периоды исследований численность аэробов увеличивается.

Проведем анализ динамики аэробов и анаэробов в горизонтах, сложенных верховыми типами торфов (рисунок 5). За вегетационные периоды наибольшая численность аэробов отмечалась в торфяной почве высокого рьяма, анаэробов – торфяной почве низкого рьяма, что, надо полагать, объясняется уровнем болотных вод.

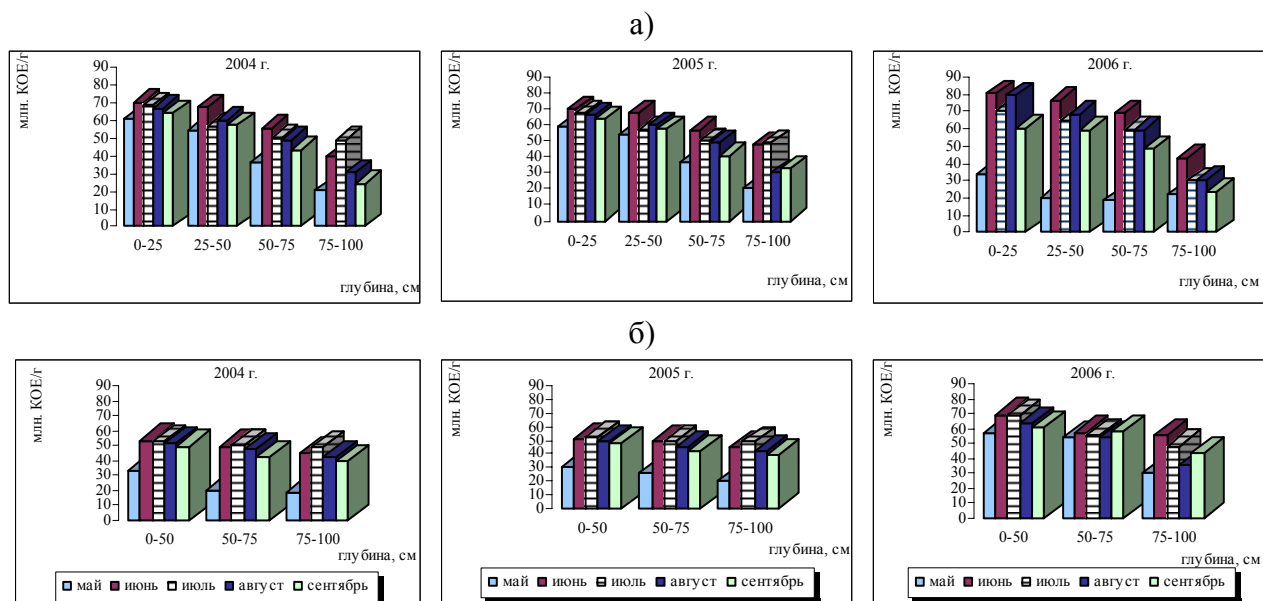


Рисунок 5 – Динамика аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов в горизонтах, сложенных верховыми торфами:  
а) торфяная почва высокого рьяма; б) торфяная почва низкого рьяма.

Иные закономерности отмечаются в отношении к анаэробным целлюлозоразрушающим микроорганизмам. Например, в июне 2006 г. численность данных микроорганизмов уменьшилась, по сравнению с майскими величинами, в результате снижения УБВ. Подъем УБВ ближе к средней поверхности в конце июля – сентябре привело к увеличению численности анаэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов в горизонте 0-50 см в 1,5-2 раза. Статистическая обработка подтвердила наличие прямой зависимости анаэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов от УБВ и обратную - между численностью аэробных микроорганизмов и УБВ.

**Аммонификаторы.** Высокое содержание аммонификаторов отмечается в средний 2005 год (8,3 млн. КОЕ/г). В 2004 г. среднее содержание аммонификаторов в торфяных почвах было – 7,9 млн. КОЕ/г.; в 2006 г. - 7,1 млн. КОЕ/г.

Во все годы исследований численность аммонификаторов в верхнем горизонте (0-50 см) торфяной почвы низкого рьяма изменяется от 2 до 10 млн. КОЕ/г. В 2004 г. численность аммонификаторов уже в мае достигает значений 10-15 млн. КОЕ/г в горизонте 50 – 100 см, и остается на этом уровне весь вегетационный период. В 2005 и 2006 гг. в этой же почве такое же увеличение численности аммонификаторов отмечается в июне. В дальнейшем происходит снижение численности аммонификаторов, возможно, вследствие понижения температуры почвы. В то время как в аналогичном горизонте профиля торфяной почвы высокого рьяма численность аммонификаторов на протяжении вегетационного периода значительно ниже – от 0,4 до 2,6 млн. КОЕ/г с небольшими колебаниями в отдельные месяцы.

**Микроорганизмы, развивающиеся на КАА.** Наибольшая численность отмечается в средний по метеоусловиям 2005 г. (13,6 млн. КОЕ/г), в 2004 году численность этих микроорганизмов была в 1,5 раза, в 2006 г. – в 2 раза меньше. В то время как, численность этих микроорганизмов в горизонте 0-50 см торфяных почв, сложенных торфами верхового типа низкого и высокого рьямов изменяется незначительно (5,0-8,7 млн. КОЕ/г). Можно отметить следующую закономерность: увеличение численности наблюдалось в более влажные месяцы. Наибольшая численность этой группы микроорганизмов, отмечается в горизонтах торфяных почв, сложенных торфами низинного типа. Так в профиле торфяной почвы низкого рьяма она достигает 14,9 млн. КОЕ/г.

**Микробная биомасса.** В исследуемых торфяных почвах пределы варьирования численности бактерий составляют единицы – сотни млрд. клеток; спор грибов и дрожжевых клеток – десятки – сотни млн. клеток. Наибольшая численность микроорганизмов в исследуемых почвах отмечается в горизонтах, сложенных



торфами верхового типа, в 2-3 раза выше чем в горизонтах, сложенных низинными торфами. Аналогичная закономерность отмечается в работах А.В. Головченко и Т.Г. Добровольской (2002, 2004).

Увеличение численности бактерий в торфяных почвах низкого и высокого рямов отмечается в начале и в конце вегетационного периода (до 63,2 млрд. кл/г).

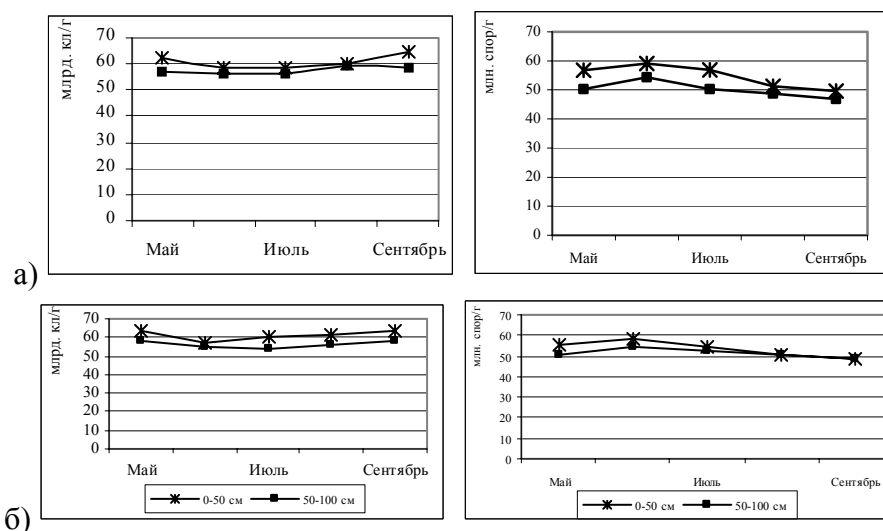


Рисунок 6 - Динамика а) бактерий и б) спор грибов в горизонтах, сложенных верховыми торфами в 2006 г.

### 5.3. Динамика ферментов

**Инвертаза.** Наиболее высокой инвертазной активностью в торфяных почвах ландшафтного профиля, характеризуются горизонты, сложенные торфами верхового типа (79,9-106,4 ед.), что определяется составом органического вещества. Активность инвертазы изменяется в зависимости от метеоусловий. Наибольшая активность отмечается при снижении УВВ; в 2004 г. – это июнь, в 2005 и 2006 гг. – июль.

**Целлюлаза.** Динамика целлюлазной активности в отличие от инвертазной, характеризуется высокой активностью по всему профилю торфяных почв. Корреляционный анализ показал, что в верхних горизонтах торфяных почв ландшафтного профиля активность целлюлазы зависит от УВВ ( $r = 0,72$ ).

## Глава 6. Продуцирование $\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$ олиготрофными торфяными почвами южно-таежной подзоны Западной Сибири

Результатирующим показателем биохимических процессов, протекающих в торфяных почвах, является образование и выделение диоксида углерода и метана в атмосферу. Однако объемы их выделения определяются биохимическими процессами, происходящими в профиле торфяных почв.

### 6.1. Образование и выделение $\text{CO}_2$

Исследования газового состава за три года показали, что наибольшая концентрация диоксида углерода в торфяных почвах по всему ландшафтному

профилю отмечается в более сухой 2006 г. (0,08-2,65 ммоль/л), примерно в 1,5-2 раза превышая уровень двух других лет. Полученные данные подтверждаются исследованиями других авторов (Наумов, 1994, 2001; Бажин, Махов, 1998, 2000).

Концентрация диоксида углерода в нижних горизонтах торфяных почв в 1,5-2 раза превышает концентрацию  $\text{CO}_2$  в поверхностных горизонтах. Исключение составляют торфяные почвы высокого рьяма, в которых концентрация диоксида углерода по всему профилю практически одинакова, что объясняется высокой численностью целлюлозоразрушающих микроорганизмов и подтверждается наличием корреляционных связей между содержанием целлюлозоразрушающих микроорганизмов и концентрацией диоксида углерода ( $r = 0,97$ ). Корреляционный анализ выявил также высокую зависимость между концентрацией диоксида углерода и численностью аммонификаторов ( $r = 0,76$ ) в торфяных почвах низкого рьяма и осоково-сфагнуовой топи.

Наибольшая концентрация  $\text{CO}_2$  в профиле олиготрофных торфяных почв отмечается в 2004 г. в профиле всех почв ландшафтного профиля в июле (в среднем – 1,8 ммоль/л); в 2005 и 2006 гг. в профиле низкого рьяма и осоково-сфагнуовой топи в сентябре (в среднем – 2,6 ммоль/л), а в торфяной почве высокого рьяма в августе (3,7 ммоль/л) (рисунок 7). Образование большего количества диоксида углерода в торфяной почве высокого рьяма в августе, а в двух других торфяных почвах в сентябре, вероятно, объясняется более быстрым прогреванием этой торфяной почвы. Корреляционный анализ также показал наличие зависимости между концентрацией диоксида углерода и температурой торфяных почв ( $r = 0,99$ ).

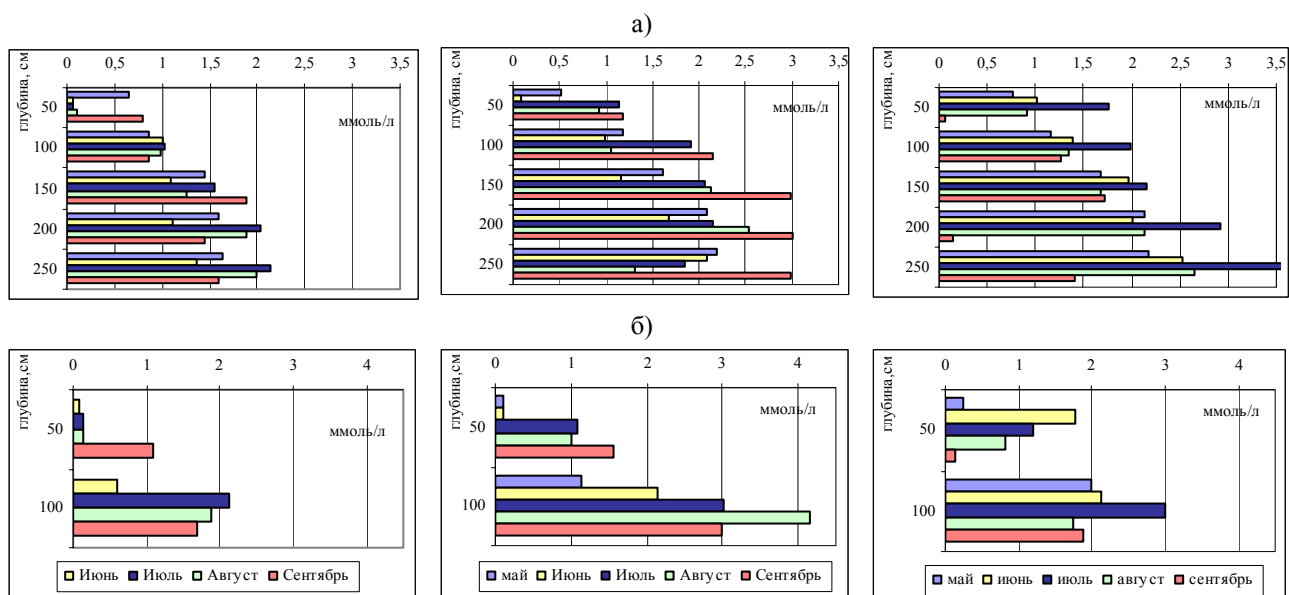


Рисунок 7 – Концентрация  $\text{CO}_2$  в торфяных почвах ландшафтного профиля в разные годы исследований: а) торфяная почва низкого рьяма; б) торфяная почва высокого рьяма

Наибольших значений концентрация диоксида углерода в профиле торфяных почв и его эмиссия достигает в сухой 2006 г. (50-170 мгСО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>час), далее следует влажный 2004 г. (10-130 мгСО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>час) и средний 2005 г. (10-108 мгСО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>час). Для всех почв ландшафтного профиля была выявлена обратная зависимость между уровнем болотных вод и выделением углекислого газа. Интенсивность выделения СО<sub>2</sub> олиготрофными торфяными почвами достоверно определяется температурой горизонта 0-50 см.

## **6.2. Образование и выделение СН<sub>4</sub>**

Образующийся в результате трансформации метан эмиссирует в атмосферу, но некоторая его часть окисляется метанотрофными микроорганизмами, которые образуют около поверхности бактериальный фильтр.

Рассмотрим особенности распределения метанотрофов в профиле торфяных почв ландшафтного профиля. Наибольшее содержание метанотрофов отмечается в торфяных почвах осоково-сфагновой топи (среднее – 280 тыс. КОЕ/г, при экстремумах 140 и 350 тыс. КОЕ/г), затем низкого и высокого рямов (соответственно, среднее – 210 и 180 тыс. КОЕ/г, при экстремальных значениях: 190 – 260 тыс. КОЕ/г и 130 – 220 тыс. КОЕ/г). Полученные результаты подтверждаются работами других исследователей. Так в работах, проведенных на территории южно-таежной подзоны Западной Сибири (п. Плотниково) (Коцюрбенко, 2005), показано, что численность метанооксиляющих микроорганизмов колеблется в пределах 150 – 380 тыс. КОЕ/г почвы.

Наименьшей численностью метанотрофов характеризуется сухой 2006 г. (от 130 до 230 тыс. КОЕ/г), при этом изменения численности по отдельным месяцам не значительны. Более теплый температурный режим торфяных почв ландшафтного профиля в 2004 и 2005 гг. приводит к повышению численности метанотрофов в 1,5 раза по сравнению с 2006 г. Проведенный статистический анализ также показал, что в исследуемых почвах существует зависимость между численностью метанотрофов и температурой торфяной почвы ( $r = 0,99$ ).

Концентрация метана в профиле торфяных почв ландшафтного профиля с глубиной увеличивается (риснок 8). В торфяной почве высокого рьяма в 2005 г. в горизонте 0-50 см на протяжении июня – августа метан отсутствовал, что объясняется

низким УБВ и формированием на этой глубине аэробной зоны. В профиле торфяной почвы низкого рьяма и открытой топи метан наибольших концентраций достигает в июле (от 0,11 до 0,56 ммоль/л) и сентябре (от 0,09 до 0,49 ммоль/л), при высоких УБВ. В 2004 г. увеличение концентрации метана в профиле торфяных почв отмечалось в более влажные июнь (0,11-0,52 ммоль/л) и июль (0,16-0,43 ммоль/л). В 2006 г. значительные изменения концентрации метана отмечались в слоях 0-50 и 50-100 см, что объясняется колебанием УБВ и, следовательно, изменением границы аэробно-анаэробной зоны. В этих горизонтах наиболее низкие концентрации метана были зафиксированы в июле (0,00-0,09 ммоль/л). В более глубоких почвенных горизонтах концентрация метана по отдельным месяцам изменялась незначительно, что характерно для всех исследуемых торфяных почв.

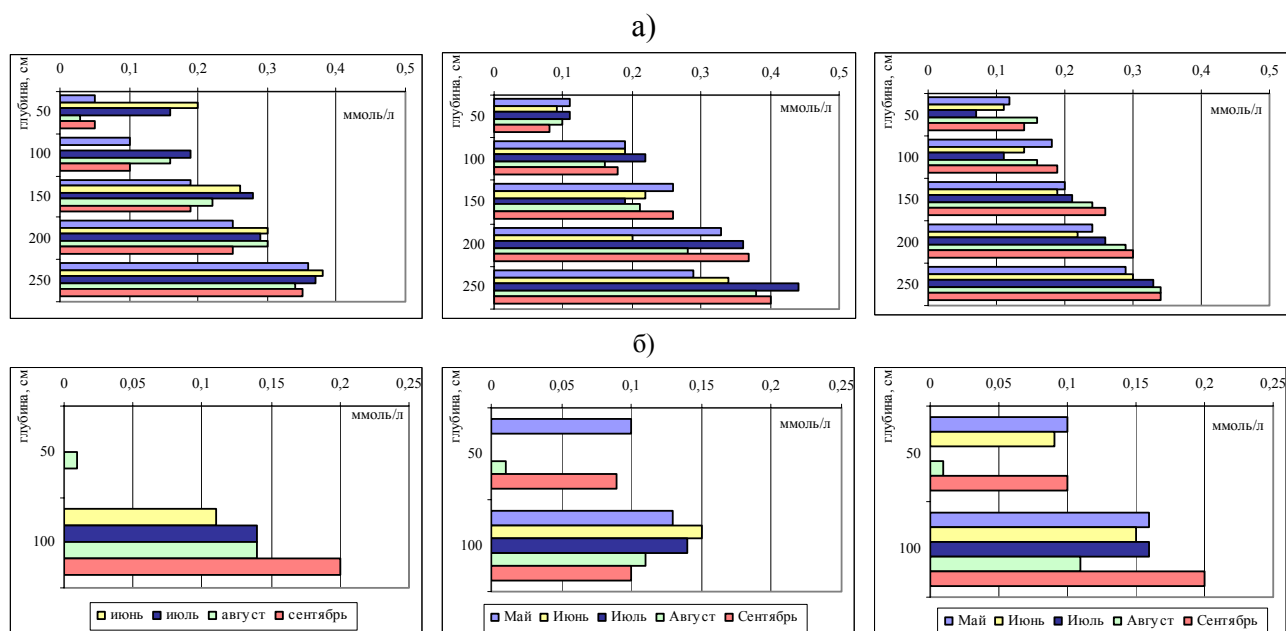


Рисунок 8 – Концентрация  $\text{CH}_4$  в торфяных почвах ландшафтного профиля в разные годы исследований: а) торфяная почва низкого рьяма; б) торфяная почва высокого рьяма.

Наибольших значений эмиссия метана достигает во влажный 2004 г. ( $3,2-11,8 \text{ мгCH}_4/\text{м}^2\text{час}$ ), далее следует средний 2005 г. ( $1,2-8,6 \text{ мгCH}_4/\text{м}^2\text{час}$ ) и сухой 2006 г. ( $0,7-9,3 \text{ мгCH}_4/\text{м}^2\text{час}$ ). Для почв ландшафтного профиля наблюдается прямая зависимость между уровнем болотных вод и выделением  $\text{CH}_4$  в атмосферу. Снижение УБВ приводит к уменьшению выделения метана. Как и эмиссия диоксида углерода, интенсивность выделения  $\text{CH}_4$  олиготрофными торфяными почвами достоверно определяется температурой горизонта 0-50 см ( $r = 0,81$ ), а также численностью метанотрофов ( $r = 0,92$ ).

## Выводы

1. Генетические особенности формирования торфяных почв олиготрофного типа, диагностируются видами и свойствами торфов, слагающих их профиль. Так, если в горизонтах, сложенных верховыми торфами, торфяные почвы низкого рьяма и открытой топи отличаются повышенным содержанием легкогидролизуемых веществ (до 10,7 % от Собщ.), то в аналогичном горизонте торфяной почвы высокого рьяма легкогидролизуемых веществ в 1,5-2 раза меньше. Такая же закономерность отмечается и для горизонтов торфяных почв, сложенных низинными видами торфов. Вместе с тем, условия образования торфяных почв высокого рьяма определили повышенное содержание ГК и ФК (соответственно, 67,4 и 29,1 %).
2. Торфяные почвы ландшафтного профиля биохимически активны по всему профилю, но различаются по численности микрофлоры отдельных физиологических групп и активности ферментов. Так, наибольшее количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов отмечается в торфяной почве высокого рьяма, а также горизонтах, сложенных верховыми торфами. В то же время здесь происходит снижение численности аммонификаторов и микроорганизмов, развивающихся на КАА, что также подтверждается более ранними исследованиями других авторов.
3. Динамика активности биохимических процессов определяется гидротермическими условиями. Наибольшая численность аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов отмечается в сухой 2006 г. (74,8 млн. КОЕ/г), в 2005 и 2004 гг. их было в 1,5 раза меньше. Анаэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы преобладали в 2004 и 2005 гг., соответственно, 67,8 и 71,2 млн. Высокое содержание аммонификаторов отмечается в средний 2005 год. Снижение содержания аммонификаторов в торфяных почвах происходит как во влажный, так и в сухой годы. Наибольшая численность микроорганизмов, развивающихся на КАА, отмечается в средний по метеоусловиям 2005 г. (13,6 млн. КОЕ/г).
4. Динамика общей микробной массы изменяется в зависимости от типа торфа, слагающего тот или иной горизонт торфяной почвы. Исследования динамики численности бактерий показали их увеличение в более влажные периоды. В динамике спор грибов наблюдается обратная зависимость, в более влажные месяцы их численность снижается примерно в 1,2 раза. Численность микробной

массы увеличивается в нижних горизонтах торфяных почв, что свидетельствует о жизнеспособном состоянии микробного комплекса на глубине.

5. Процесс образования диоксида углерода в профиле торфяных почв более активно протекает в сухой год и определяется температурой почвы. Основная часть диоксида углерода образуется в нижних горизонтах, что объясняется генезисом торфяных почв (2,9-4,5 ммоль/л). Для всех торфяных почв ландшафтного профиля наблюдается обратная зависимость между уровнем болотных вод и выделением диоксида углерода. Интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  олиготрофными торфяными почвами достоверно коррелирует с температурой в горизонте 0-50 см.

6. Наибольшая концентрация метана в профиле торфяных почв отмечается во влажный 2004 г. (до 0,52 ммоль/л) и средний 2005 г. (до 0,56 ммоль/л). В сухой 2006 г. концентрация метана в 1,5 раза ниже. Более высокая концентрация метана отмечается в торфяной почве осоково-сфагновой топи. Для всех торфяных почв ландшафтного профиля наблюдается прямая зависимость между уровнем болотных вод и выделением  $\text{CH}_4$  в атмосферу. Интенсивность выделения  $\text{CH}_4$  олиготрофными торфяными почвами достоверно определяется температурой и численностью метанотрофов горизонта 0-50 см.

#### **Список опубликованных работ**

1. Инишева Л.И., Сергеева М.А. Условия образования и эмиссия метана в олиготрофных ландшафтах Васюганского болота // Вестник ТГПУ. 2006. № 2. С. 102-113.
2. Сергеева М.А. Распределение метаногенов и метанотрофов в торфяной залежи олиготрофного болота // Материалы второй научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2003. С. 181 – 185.
3. Сергеева М.А. Микробиологические аспекты образования метана в толще болота // Материалы третьей научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2004. С.31 – 38.
4. Сергеева М.А. Динамика метанотрофов в торфяной залежи олиготрофного болота // Материалы третьей научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2004. С. 249 – 254.
5. Inisheva L.I., Ezupenok E.E., Sannikova Yu.V., Sergeeva M.S., Savicheva O.G. Research on the Station “ Vasyuganie” // Proceeding of the 12<sup>th</sup> International Peat Congress “Wise use of Peatlands”. Tampere, Finland. 2004. Vol. 2. P. 857 -859.

6. Сергеева М.А. Характеристика содержания метаногенных и метанотрофных бактерий в торфяной залежи олиготрофного болота // VII всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование». Томск. 2003. С. 316 – 318.
7. Сергеева М.А. Метаногенез, теоретические аспекты // V всероссийская конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование». Томск. 2004. С. 89-92.
8. Санникова Ю.В., Инишева Л.И., Езупенок Е.Э., Сергеева М.А. Биохимические процессы в торфяных почвах олиготрофного типа и их влияние на окружающую среду // Международная конференция по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды *Enviromis* 2004. Томск. 2004. С.104 – 105.
9. Сергеева М.А. Торфогенез и эмиссия углекислого газа в олиготрофных торфяных залежах // Материалы четвертой Научной Школы «Болота и биосфера». Томск. 2005. С. 263-269.
10. Сергеева М.А., Задорожная С.В. Образование и эмиссия метана в торфяных залежах олиготрофного болота // Материалы пятой научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2006. С. 263-269.
11. Сергеева М.А. Образование диоксида углерода в олиготрофных торфяных залежах // Материалы международной конференции «Торф в решении проблем энергетики, сельского хозяйства и экологии». Минск. 2006. С. 198-201.
12. Гостищева М.В., Сергеева М.А., Щеголихина А.И., Easterlin M. Изменение состава и свойств гуминовых кислот торфов при микробиологической обработке // Материалы шестой научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2007. С. 201-209.
13. Инишева Л.И., Гостищева М.В., Порохина Е.В., Сергеева М.А., Федько И.В. Большой практикум: физикохимия, биология и комплексная переработка торфа: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. 89 с.
14. Сергеева М.А., Катаев С.Г. Применение кластерного метода для оценки микробиологической активности торфяных почв // Материалы шестой научной школы «Болота и биосфера». Томск. 2007. С. 260-265.