

На правах рукописи



**Никонова Лилия Гарифулловна**

**ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В  
ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ  
ПОДЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

03.02.08 – Экология (биология) (биологические науки)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Красноярск – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской Академии наук»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор РАН  
**Головацкая Евгения Александровна**

Официальные оппоненты: **Кузнецов Олег Леонидович**,  
доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

**Миронычева-Токарева Нина Петровна**,  
кандидат биологических наук, доцент, ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, заведующая лабораторией биогеоценологии

**Ведущая организация:** Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми УрО РАН)

Защита состоится «13» апреля 2021 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.119.02 на базе ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по адресу: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, ауд. Р 8-06.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» и на сайте организации <http://www.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат биологических  
наук, доцент



Глушченко Лариса Александровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Процессы образования и разложения органического вещества (ОВ) представляют основу функционирования всей живой оболочки Земли (Добровольский, Никитин, 1990). Соотношение этих процессов является одним из основных индикаторов состояния и трансформации природных систем, показывая какой процесс в данный момент преобладает в экосистеме: синтез ОВ или же его разложение. Органическое вещество болотных экосистем, накопленное в виде торфа, составляет главную часть мировых запасов связанного углерода, которое оценивается величиной 120 – 455 ПгС (Gorham, 1991; Вомперский, 1994), это вдвое больше, чем сосредоточено во всех лесах планеты. Отличительной особенностью болотных экосистем является то, что углерод растений, за счет активных процессов консервации растительных остатков в условиях постоянного переувлажнения трансформируется в углерод торфяной залежи и на тысячи лет исключается из круговорота веществ в биосфере (Тюремнов, 1976; Заварзин, 1994; Inisheva et al., 2016). Незамкнутость круговорота веществ, характерная для болотных экосистем, приводит к тому, что в болотах аккумуляция (сток) углерода из атмосферы преобладает над его выделением в виде  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , т.е. скорость продукции преобладает над деструкцией (Болота Западной Сибири..., 1998). Активное накопление углерода происходит в течение вегетационного периода в результате прироста растительной массы (Fortuniak, Pawlak, 2014). Показателем скорости накопления органического углерода является чистая первичная продукция. Величина продуктивности, зависит от видового состава фитоценоза, гидрологических и климатических условий (Базилевич, 1993). Интенсивность процесса разложения растительных остатков зависит прежде всего от химического состава растений, активности микроорганизмов-деструкторов, условий среды, основными из которых являются температура и влажность (Козловская и др., 1978; Денисенков, 2000; Ozalp et al., 2007; Guo et al., 2008; Peltoniemi et al., 2012; Dobrovolskaya et al., 2014).

Наблюдаемые в настоящее время изменения климата и постоянное возрастание антропогенного воздействия на природные экосистемы могут привести к ускорению процессов разложения и, следовательно, к увеличению эмиссии  $\text{CO}_2$  в атмосферу (Добровольская и др., 2015; Hogg et al., 1992; Domisch et al., 2006; Vanhala et al., 2008). Таким образом, изучение процессов трансформации органического вещества в настоящее время является актуальным на мировом уровне.

Западная Сибирь – уникальный регион, лидирующий во всем мире по масштабам заболачивания. Площадь болот здесь достигает 32,5 млн. га и в настоящее время наблюдается дальнейшее заболачивание региона, особенно в подзонах южной и средней тайги, где отмечаются скорости вертикального прироста торфа 0,39-2,62 мм/год, а скорости прироста площади – около 100 км<sup>2</sup>/год (Нейштадт, 1977; Болота западной Сибири..., 1998, Пологова, Лапшина, 2002). В болотных экосистемах Западной Сибири сосредоточено

около 36 % от общих запасов почвенного углерода России (Vompersky, 1994; Ефремов, 1994; Титлянова и др., 1998), при этом преобладающими являются болота олиготрофного типа (Болота Западной Сибири..., 1998, Бабешина, Дмитрук, 2009; Евсеева, 2012; Kremenetski et al., 2003).

Следует отметить, что работ, посвященных продукционно-деструкционным процессам в болотах, в том числе и в Западной Сибири, сравнительно немного (Козловская, 1978; Боч, 1979; Бамбалов, 1990; Базилевич, 1993; Титлянова, 1998; Косых, 2009; Миронычева-Токарева, 2013; Вишнякова (Паршина) 2009, 2017 и др.). Малое количество исследований, прежде всего, связано со сложностью изучения болотных массивов, их труднодоступностью, длительностью экспериментов и отсутствием общих методик комплексных исследований.

Постановка и разработка темы данной диссертационной работы обусловлена востребованностью информации о процессах продукции и деструкции растений-торфообразователей, как первичного звена и одного из основных процессов биологического круговорота углерода в болотных экосистемах. В основу работы положен комплексный подход к изучению продукционно-деструкционных процессов в двух олиготрофных болотных экосистемах, расположенных в зоне южной тайги Западной Сибири. Именно комплексное изучение влияния условий среды на скорость разложения, изменения химического состава растений-торфообразователей и активности микроорганизмов в процессе деструкции органического вещества, а также оценка соотношения продукционно-деструкционных процессов позволит оценить современные процессы торфообразования и торфонакопления в болотных экосистемах Западной Сибири.

**Основной целью работы является** изучение продукционно-деструкционных процессов в болотных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири.

Для достижения цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Определить структуру, запасы и продукцию растительного вещества напочвенного покрова сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов (рямов) и осоково-сфагновых топей олиготрофных болот характеризующихся разными гидротермическими условиями, подстилающими породами и характером залегания торфяных залежей (болота «Тимирязевское» и «Бакчарское»).

2. Изучить динамику разложения растений-торфообразователей в торфяных залежах олиготрофных болот «Тимирязевское» и «Бакчарское». Оценить соотношение продукции и деструкции в ходе трансформации органического вещества, вклад отдельных видов-торфообразователей в процесс современного торфообразования.

3. Исследовать изменение химического состава (содержание общего углерода, общего азота и зольных элементов) органического вещества растений-торфообразователей в процессе разложения.

4. Изучить состав и активность микроорганизмов, участвующих в трансформации органического вещества растений-торфообразователей.

5. Оценить влияние абиотических факторов (температуры и влажности) на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях модельного эксперимента.

**Научная новизна.** Получены новые данные о продукционно-деструкционных процессах как для отдельных растений-торфообразователей, так и для напочвенного покрова типичных олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири, отличающихся гидротермическими условиями, характером залегания торфяных залежей (водораздельное болото и ложбина древнего стока), типом подстилающих пород (карбонатные глины озерно-аллювиального происхождения и песчаные аллювиальные отложения). Выполнена оценка современной скорости торфообразования болотных экосистем.

Впервые проведен комплексный качественный анализ процессов деструкции органического вещества растений-торфообразователей как на начальных этапах разложения (1-4 месяца), так и при длительной (3 года) экспозиции, включающий оценку влияния гидротермического режима, состава и активности микрофлоры растительных остатков и торфяной залежи, изменения химического состава растительного опада в процессе разложения. Впервые получены данные о фракционировании стабильных изотопов углерода и азота в процессе разложения разных видов растений-торфообразователей в зависимости от условий торфяной залежи.

Впервые, в контролируемых гидротермических условиях лабораторного эксперимента выполнена оценка влияния температуры и влажности на скорость разложения растений-торфообразователей. Показано, что наибольшее влияние на интенсивность процесса разложения оказывают вид растения и температура. Влажность является значимым фактором, но не лимитирующим. Получены новые данные проявления неаддитивного эффекта при смешивании растительного опада разных видов растений.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученный материал составит основу для поиска взаимосвязей между процессами продукции и деструкции, протекающими в болотных экосистемах, послужит исходным материалом для многофакторного анализа, моделирования и прогнозирования изменений торфообразовательного процесса в болотных экосистемах Западной Сибири под воздействием природных и антропогенных факторов. Выявленные особенности функционирования болотных экосистем, находящихся в разных климатических и гидрологических условиях и их взаимосвязи с гидротермическими характеристиками, могут использоваться при построении моделей, описывающих функционирование болотных экосистем в зависимости от изменения экологических факторов. Закономерности трансформации растений-торфообразователей могут быть использованы как основа при организации регионального мониторинга окружающей среды при техногенном загрязнении. Также материалы диссертации могут быть использованы для подготовки лекционного материала в ВУЗах по профилю.

**Степень достоверности результатов исследования.** Достоверность результатов исследований обеспечивается использованием широкого спектра методик, как классических, так и современных, принятых в данной области и опубликованных в научной литературе. Обработка результатов исследований проводилась принятыми в биологической статистике методами, включающими методы описательной статистики, корреляционный, регрессионный, дисперсионный анализы данных средствами пакета программ Microsoft Office Excel 2007 и STATISTICA 6.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Для олиготрофных болот Западной Сибири характерно активное современное торфонакопление за счет того, что скорость накопления органического вещества в процессе фотосинтеза, превышает скорость трансформации растительного опада в 1,7–7,7 раза, с максимальной скоростью торфонакопления в сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозах (рямах).

2. Процесс трансформации начинается сразу после поступления свежего опада, обладающего бóльшим, по сравнению с торфяной залежью, количеством питательных элементов для микрофлоры торфяного субстрата. Максимальные потери массы органического вещества растительных остатков происходят на начальных этапах разложения, в течение 10–30 дней в зависимости от вида растительных остатков и гидротермических условий.

3. Определяющими факторами, влияющими на скорость разложения растений-торфообразователей, являются вид растительного опада (61 % общей дисперсии) и температура (31 % общей дисперсии). Влажность субстрата также оказывает влияние, но не является лимитирующим фактором в условиях болот и влияет на скорость разложения растительных остатков в значительно меньшей степени (2 %). При смешивании опада разных видов растений скорость разложения увеличивается в результате возникновения неаддитивного эффекта.

**Личный вклад автора.** Диссертационная работа основывается на многолетних исследованиях (2008-2018), проведенных автором в рамках плановых научно-исследовательских работ лаборатории физики климатических систем ИМКЭС СО РАН. Автор принимал непосредственное участие в полевых и лабораторных исследованиях, компьютерной обработке и анализе данных, обсуждении и публикации полученных результатов.

Исследования по теме диссертации были поддержаны грантами РФФИ «Исследование трансформации органического вещества растений-торфообразователей в процессе эволюции болотных экосистем Западной Сибири» и «Оценка влияния абиотических факторов на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях модельного эксперимента».

**Апробация работы.** Материалы, вошедшие в диссертацию, были представлены автором лично или в соавторстве на XIV Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование» (Томск, 2010), VII Всероссийской с международным участием научной школе «Болота и биосфера» (Томск, 2012) IV Международном

полевым симпозиуме «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее» (Новосибирск, 2014), Всероссийской научно-практической конференции «Эколого-ботанические исследования в Азиатской России» (Новосибирск, 2012), Ежегодной международной встрече «Society of Wetland Scientists» (Minnesota, USA, 2013), Международной конференции «ENVIROMIS» (Томск, 2014, 2018, 2020), Международной научно-практической конференции «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири» (Томск, 2014), V Международной научной конференции «Отражение Био-гео-антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове» (Томск, 2015), IV Всероссийской конференции молодых ученых (с международным участием) «Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы» (Улан-Удэ, 2016), Международном симпозиуме «Болота северной Европы: разнообразие, динамика и рациональное использование» (Петрозаводск, 2015), VI Международном симпозиуме «Биология сфагновых мхов» (Ханты-Мансийск, 2016), Всероссийской научной конференции III Ковалевские молодежные чтения «Почва – ресурс экологической и продовольственной безопасности» (Новосибирск, 2016), VI Всероссийской конференции молодых ученых «Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии» (Томск, 2016), Международной конференции «Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте глобального изменения климата» (Ханты-Мансийск, 2017), Международной конференции «BIOGEOMON» (Чехия, 2017), XII, XIII Сибирском совещании по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2017, 2019), Всероссийской научной конференции с международным участием «Почва в Биосфере» (Новосибирск, 2018), Международной научной конференции «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития – SEWAN» (Томск, 2018), Всероссийской конференции с международным участием «X Галкинские Чтения» (С.-Петербург, 2019), V Ежегодном международном Семинаре Сибирской Сети по изучению изменений окружающей среды SecNet (Барнаул, 2020).

**Публикации.** Основное содержание диссертации и защищаемые положения отражены в 33 публикациях, среди которых 7 статей в рецензируемых журналах (из них 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК, 5 статей опубликованы в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science), 25 работ в сборниках тезисов и материалов российских и международных конференций и симпозиумов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения и общих выводов, списка литературы, включающего 213 наименования, из которых 59 на иностранных языках, 4 приложения. Работа изложена на 178 стр. машинописного текста, содержит 30 рисунков, 17 таблиц.

**Благодарности.** Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю профессору РАН, д.б.н., директору ИМКЭС СО РАН, Е.А. Головацкой, без которой защита диссертационной работы была бы невозможной. Автор благодарит за

помощь, оказанную при проведении исследований своим коллегам к. б. н. Е. Э. Веретенниковой, к. ф.-м. н. Е. А. Дюкареву, к. ф.-м. н. С. В. Смирнову, всех сотрудников Лаборатории физики климатических систем. Автор благодарен к.б.н. Н.А. Черновой, д.г.н. А.Г. Дюкареву за ценные консультации и конструктивные замечания; О.Э. Печень-Песенко, Т.С. Степановой, И.В. Курьиной, Г.В. Симоновой (ИМКЭС СО РАН), Н.Н. Терещенко, («СибНИИСХиТ»), И.Н. Кургановой, В.О. Лопес де Гереню, В.А. Жмурину (ИФХБПП РАН), сотрудникам аналитической лаборатории ИЛ КарНЦ РАН за помощь в проведении химических анализов и модельных экспериментов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Биологический круговорот углерода в болотных экосистемах

В главе проанализированы литературные данные отражающие основные результаты исследований продукционных и деструкционных процессов в болотных экосистемах, выявлены основные факторы, оказывающие влияние на процессы трансформации органического вещества растений-торфообразователей.

### Глава 2. Материалы и методы исследования

Исследования проводились на территории восточной части Обь-Иртышского междуречья, в пределах северо-восточной окраины Васюганского плато, на типичных для южно-таежной подзоны Западной Сибири олиготрофных болотах: болото «Бакчарское» (Бакчарский район, Томская область) и болото «Тимирязевское» (Томский район Томская область) расположенное на территории Обь-Томского междуречья (рисунок 1).

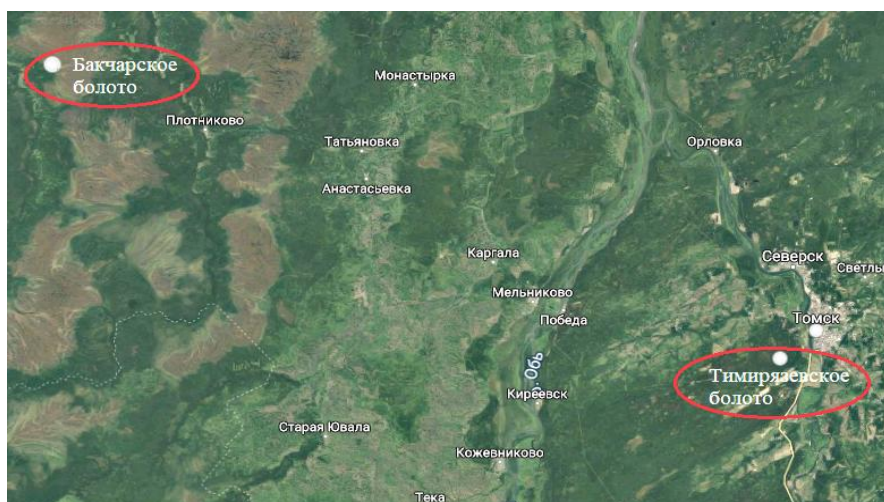


Рисунок 1 – Расположение олиготрофных болот «Бакчарское» и «Тимирязевское». Масштаб: 1:2000000. (URL: <https://www.google.com/maps>)



Выбранные болота отличаются гидротермическими условиями, характером залегания торфяных залежей и типом подстилающих пород. Согласно данным метеостанций «Бакчар» и «Томск» погодные условия в Бакчарском районе прохладнее по сравнению с Томским районом, а количество осадков в среднем выше в Томском районе, за исключением летних месяцев. Болото «Тимирязевское», расположено на расстоянии 6 км от г. Томска, на ложбине древнего стока р. Обь, имеет песчаные аллювиальные подстилающие породы и находится в зоне действия Томского водозабора, что сказывается на гидротермическом режиме болота: помимо более теплых условий, выражается в снижении УБВ, обсыхании краевых зон. Бакчарское болото не подвержено заметному антропогенному влиянию, и его можно считать естественно развивающимся водораздельным болотом, с карбонатно-глинистыми отложениями озерно-аллювиального происхождения.

Пунктами наблюдения на Бакчарском болоте стали сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз – низкий рям (БР) (N56°58'34.10" E82°36'27.48") и осоково-сфагновая топь (БТ) (N56°58'16.61" E82°37'06.76"). На Тимирязевском болоте – сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз – рям (ТР) (N56°26'22.24" E84°50'03.84") и осоково-сфагновая топь (ТТ) (N56°26'25.58" E84°50'15.06").

Объектами изучения продукционно-деструкционных процессов послужили основные растения-торфообразователи, являющиеся типичными для олиготрофных болот Западной Сибири: кустарнички семейства *Ericaceae* – Вересковые (*Andromeda polifolia* L. – Подбел многолистный, *Chamaedaphne calyculata* Moench. – Мирт болотный, *Ledum palustre* L. – Багульник болотный); травянистые растения семейства *Cyperaceae* Juss. – Осоковые (*Eriophorum vaginatum* L. – пушица влагалищная, *Carex rostrata* – осока вздутая) и 2 вида мхов семейства *Sphagnaceae* – Сфагновые (*Sphagnum fuscum* Klinggr. – Сфагнум бурый, *Sphagnum angustifolium* (Russ. ExRuss.) C.Jens. – Сфагнум узколистый).

Согласно нашим исследованиям, данные растения характеризуются различным химическим составом, и соответственно, разной степенью устойчивости к разложению (таблица 1).

Исследования по изучению биологической продуктивности проводились в 2013 и 2014 гг. С 2013 по 2016 гг. проводились трехлетние (долгосрочные) эксперименты по определению скорости разложения растений торфообразователей в торфяной залежи олиготрофных болот «Бакчарское» и «Тимирязевское». Для определения скорости трансформации органического вещества на начальных этапах деструкции в 2016 и 2017 гг. были поведены краткосрочные эксперименты (4 месяца). Оценка влияния абиотических факторов (температуры и влажности) на скорость разложения растений-торфообразователей проводилась в лабораторных условиях в 2017–2018 гг.

*Биологическая продуктивность.* Изучение биологической продуктивности исследуемых болотных фитоценозов включало оценку запасов фитомассы и надземной чистой первичной продукции (ANP - above

ground net production) как отдельных растений-торфообразователей, так и напочвенного покрова в целом исследуемых болотных фитоценозов. Запасы фитомассы и ANP определяли укосным методом (без учета древесного яруса) (Косых, 2003; Kosykh et al., 2008). Исследовали следующие фракции растений: фотосинтезирующая фитомасса, нефотосинтезирующая фитомасса, мортмасса. Помимо общей продукции фитоценоза, проводился расчет продукции видов растений-торфообразователей, участвующих в оценке скорости деструкции. Для этого растение собиралось с участка с равномерным покрытием во время вегетационного периода, рассчитывалась его продукция, и в дальнейшем производился перерасчет в соответствии с проективным покрытием в фитоценозе.

Таблица 1 – Химический состав растений-торфообразователей

Вид растения	Содержание С, %	Содержание N, %	C/N	Зольность, %
<b>Сфагновые мхи</b>				
<i>Sphagnum angustifolium</i>	35,9	0,7	52	1,8
<i>Sphagnum fuscum</i>	40,7	0,6	70	1,4
<b>Кустарнички</b>				
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	48,8	1,6	30	2,64
<i>Ledum palustre</i>	48,8	0,9	53	2,59
<i>Andromeda polifolia</i>	47,6	1,4	34	3,1
<b>Травы</b>				
<i>Eriophorum vaginatum</i>	43,9	0,8	54	1,81
<i>Carex rostrata</i>	42,8	0,7	62	4,04

*Скорость разложения растений-торфообразователей.* Для определения скорости разложения растений-торфообразователей применялся метод закладки растительности в торф (Козловская и др., 1978). У вечнозеленых кустарничков для эксперимента брали прошлогодние листья, у трав – ветوشь, у сфагновых мхов использовали очес. Высушенный до воздушно-сухого веса растительный материал закладывался в торфяную залежь на глубину 10 см от поверхности в трехкратной повторности в конце вегетационного периода (в сентябре) 2013 г. Отбор экспериментального материала проводился через 12, 24, 36 месяцев после начала эксперимента. Скорость разложения рассчитывалась как процент потери массы через 12, 24, 36 месяцев. В краткосрочных исследованиях изучали деструкцию опада *S. fuscum*, *S. angustifolium*, *E. vaginatum*, *C. rostrata*, образцы закладывались в начале вегетационного периода и извлекались через 1,2,3,4 месяца после начала эксперимента.

В исследуемых образцах определяли изменение содержания азота, углерода и зольных элементов. Зольность определялась методом сухого озоления (Дурынина, 1998), содержание общего азота и общего углерода методом Анстета в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой

(Воробьева, 2006). Определение минерального состава золы и анализ изотопного состава в процессе трансформации растительных остатков проводили с использованием электронного микроскопа Hitachi TM-1000 (Япония) с приставкой для микроанализа, и элементного анализатора Thermo Flash EA 2000 (Великобритания) соединенного с изотопным масс-спектрометром.

*Микробиологическая активность в процессе разложения растений-торфообразователей.* Активность микрофлоры в исследуемых образцах изучалась методами прямого микроскопирования прижизненных и фиксированных окрашенных препаратов по Вернадскому, а также при помощи камеры «Горяева-Тома» (Мишустин, 1975, Рябичева, 2015). Для изучения скорости линейного роста гиф микромицетов применялся метод «стекло-ловушек», для учета численности жизнеспособных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов использовался метод посева на жидкие и твердые селективные среды (Терещенко и др., 2017). Численность микроорганизмов определялась через подсчет сформировавшихся на селективных средах изолированных колоний и выражалась как  $N \times 10^4$  КОЕ / 1 г а.с.в. (абсолютно сухого вещества) торфа / растительных остатков.

*Контроль гидротермических параметров.* Температура торфяной залежи измерялась с помощью автономных измерителей профиля температуры – АИПТ (ИМКЭС СО РАН (Кураков и др., 2008)). В Тимирязевском болоте данные измерители оснащены датчиками УБВ. На Бакчарском болоте УБВ определяли с помощью дифференциального измерителя уровня болотных вод НОВО Water Level Logger U20-001-01 (США).

*Оценка влияния абиотических факторов на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях модельного эксперимента.* Для выявления роли основных факторов на скорость разложения в лабораторных условиях, проводилось исследование влияния температуры и влажности на скорость разложения опада растений-торфообразователей. Навески растительного материала (1–3 г воздушно-сухой массы) помещали в стеклянные флаконы объемом 110 мл и увлажняли до состояния, соответствующего 30, 60 и 90 % их полной влагоемкости (или водоудерживающей способности). Для увлажнения использовали болотную воду, в которой содержалась нативная микрофлора, характерная для того места, где произрастали растения. Флаконы с растительным опадом выдерживали 7 дней при комнатной температуре (преинкубация), а затем помещали в термостаты для последующего непрерывного инкубирования в течение 3 месяцев при температурах: 2, 12 и 22°C. Было исследовано три вида растений-торфообразователей: *Ch. calyculata*, *E. vaginatum* и *S. fuscum*. Кроме того, подготавливался смешанный образец, состоящий на 60 % из *S. fuscum* и 40 % из *Ch. calyculata*. Опыт проводился в 3-х кратной повторности.

Определение скорости выделения CO<sub>2</sub>, или интенсивности разложения (decomposition rate, *DecR*) опада проводили регулярно: 3–5 раз в неделю в

течение 1-го месяца эксперимента и 2 раза в неделю все последующее время с помощью проточного инфракрасного газоанализатора «LiCor-820» (США).

Для расчета  $DecR$  (мкг С/г субстрата/час) использовали формулу (Kurganova et al., 2012; Kurganova et al., 2018):

$$DecR = \frac{dC \times M(C) \times V_f \times 10}{m \times V_m \times t}$$

где  $dC$  – показания прибора с учетом нулевого значения, объемные %;  $M(C)$  – молярная масса углерода, 12 г/моль;  $V_f$  – объем флакона, мл;  $m$  – масса абсолютно сухого субстрата, г;  $V_m$  – молярный объем газа, 22,4 л/моль;  $t$  – время инкубации, час; 10 – переводной коэффициент.

Влияние температурного фактора оценивали с помощью температурного коэффициента  $Q_{10}$  (Chen et al., 2013), который определяли для двух температурных интервалов: 2–12° и 12–22 °С. Константу скорости разложения растительного опада рассчитывали на основе экспоненциальной регрессионной модели (Olson, 1963; Berg, 2014; Ларионова и др., 2017), используя кумулятивные кривые потерь углерода (С) в форме  $CO_2$  за весь период эксперимента.

### **Глава 3. Биологическая продуктивность болотных фитоценозов и растений-торфообразователей**

*Фитомасса и мортмасса.* Важным показателем, определяющим функционирование фитоценоза, является запас фитомассы. Согласно полученным данным топяные участки отличаются максимальными запасами фитомассы, при этом наибольшие запасы фитомассы получены в осоково-сфагновой топи Тимирязевского болота ( $1459 \pm 277$  г/м<sup>2</sup>). В условиях Бакчарского болота преобладает фотосинтезирующая фитомасса, а в условиях Тимирязевского болота – нефотосинтезирующая. При этом наибольший вклад в фотосинтезирующую фитомассу вносят зеленые части мхов (78 % и 91 % в рямах и топях соответственно). На долю мортмассы приходится 66–83 % от общей биомассы растений исследуемых болот, при этом максимальный вклад вносят по-прежнему сфагновые мхи (91 % от общей мортмассы). За счет большего количества мортмассы общая масса органического вещества в условиях осоково-сфагновой топи Тимирязевского болота превышает фитомассу ряма, и достигает близких значений в условиях Бакчарского болота.

*Продукция почвенного покрова болотных фитоценозов.* Результаты исследования продукции надземного яруса (ANP) показали, что в целом прирост органического вещества растений происходит несколько активнее в условиях болота «Бакчарское», однако наиболее значимые различия характерны для осоково-сфагновых топей ( $157,8 \pm 24$  г/м<sup>2</sup> и  $203,7 \pm 30$  г/м<sup>2</sup> в Тимирязевском и Бакчарском болоте соответственно). Продуктивность рямов превышала ANP топей. Это обуславливается значительным вкладом листьев кустарничков в общую продуктивность фитоценоза.

*Продукция растений-торфообразователей.* Среди исследуемых растений-торфообразователей наибольший вклад в надземную продукцию во всех изучаемых фитоценозах вносят сфагновые мхи (в среднем 57 % от общего значения ANP), особенно *S. angustifolium*, также для них характерны высокие значения опада. Наименьший вклад в продукцию получен для *A. polifolia* и *E. vaginatum* в ряме и топи соответственно, кроме того эти виды характеризуются низким количеством опада. Более высокие значения ANP и опада наблюдаются среди растений, произрастающих в условиях Бакчарского болота, за исключением *L. palustre* и *Ch. calyculata* (таблица 2).

Таблица 2 – Продукция растений-торфообразователей болот «Тимирязевское» и «Бакчарское»

Растение	Фитоценоз	ANP г/м <sup>2</sup> в год	Опад г/м <sup>2</sup> в год
<i>Ledum palustre</i>	ТР	11,2±1,2	9,0±0,1
	БР	8,1±3,2	6,0±0,9
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	ТР	95,3±6,7	49,2±5,2
	БР	99,9±5,6	47,0±5,6
<i>Andromeda polifolia</i>	ТР	2,9±0,6	1,2±0,3
	БР	3,2±0,4	2,0±0,3
<i>Eriophorum vaginatum</i>	ТТ	4,9±0,8	4,2±0,7
	БТ	5,1±0,3	5,0±0,3
<i>Carex rostrata</i>	ТТ	37,0±7,5	33,3±5,7
	БТ	75,0±9,8	70,2±1,6
<i>Sphagnum fuscum</i>	ТР	107,0±13,4	75,1±9,4
	БР	114,0±14,4	79,8±10,1
<i>Sphagnum angustifolium</i>	ТТ	115,9±16,1	81,1±11,3
	БТ	123,6±19,9	86,5±9,0

*Примечание:* ТР – Тимирязевский рям, ТТ – Тимирязевская осоково-сфагновая топь, БР – Бакчарский рям, БТ – Бакчарская осоково-сфагновая топь

#### 4. Динамика разложения основных растений-торфообразователей олиготрофных болот

*Потери массы растений-торфообразователей в процессе деструкции органического вещества.* В результате трехлетних исследований процесса разложения органического вещества растений в торфяной залежи олиготрофных болот «Бакчарское» и «Тимирязевское» выявлено, что основным растением-торфообразователем в торфяной залежи сосново-кустарничково-сфагновых фитоценозов является *S. fuscum*, а осоково-сфагновой топи Тимирязевского болота *E. vaginatum* и *S. angustifolium*, топи Бакчарского болота – *S. angustifolium*. Наименьший вклад в процесс

торфообразования вносят листья кустарничков. В более сухих и теплых условиях торфяной залежи Тимирязевского болота потери массы органического вещества растительных остатков происходят активнее. Наиболее интенсивные процессы разложения наблюдаются на начальных этапах деструкции, так, за первый год разложения происходят потери органического вещества от 40 % до 70 % от общих потерь массы) (рисунок 2).

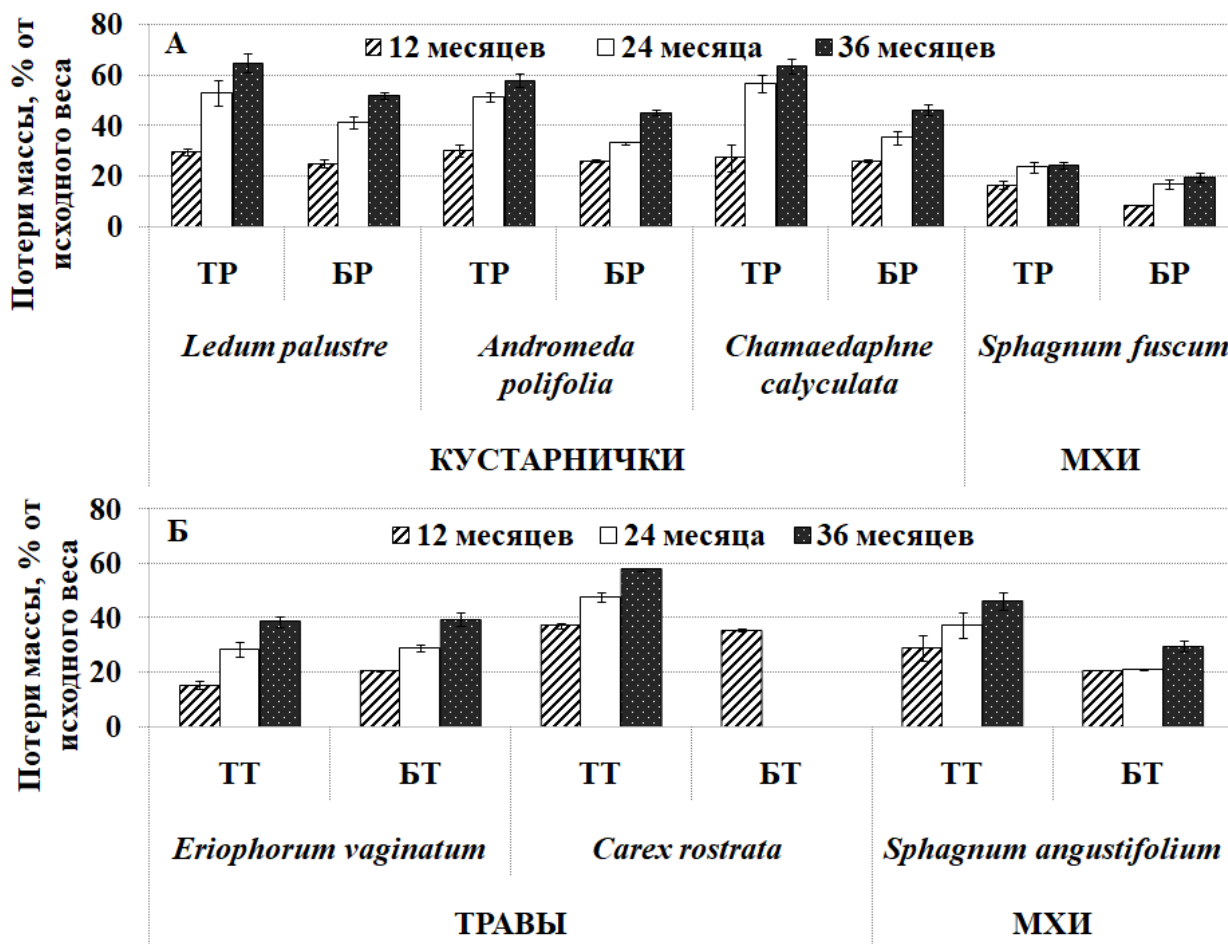


Рисунок 2 – Потери массы растительных остатков в торфяной залежи болота «Тимирязевское» и «Бакчарское». А – рямы; Б – осоково-сфагновые топи; ТР – Тимирязевский рям, БР – Бакчарский рям; ТТ – Тимирязевская топь, БТ – Бакчарская топь

Согласно результатам краткосрочного эксперимента, наибольшие потери массы растительных остатков происходят в первый месяц разложения – от 35 до 52 % от общих потерь за весь вегетационный период (рисунок 3).

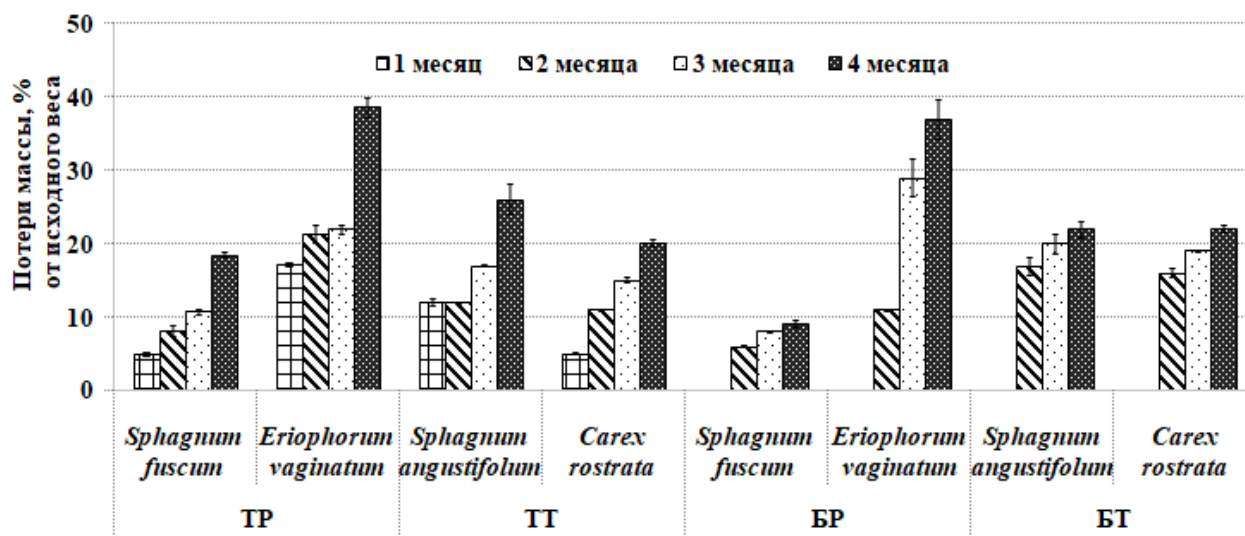


Рисунок 3 – Потери массы опада растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофного болота «Тимирязевское» и «Бакчарское» на первых этапах деструкции.

Изменение химического состава растений-торфообразователей в ходе деструкции. В процессе разложения растительных остатков происходит неравнозначное изменение содержания углерода и азота, в связи с этим соотношение C/N среди исследуемых растений снижается у кустарничков, а у мхов и трав возрастает. Вынос углерода хорошо коррелирует с потерями массы как на начальных этапах разложения ( $r=0,68$ ), так и в последующем ( $r=0,63$ ), наибольшая зависимость через три года деструкции выявлена в условиях рямов ( $r=0,96$ ). У трав потери углерода выше, чем у мхов (рисунок 4-А). Потери азота для большинства растений-торфообразователей в первый месяц разложения в большей степени зависят от условий залегания, в последующем потери азота выравниваются для всех видов, за исключением сфагновых мхов. Наибольшие потери азота, как в начале эксперимента, так и через 36 месяцев деструкции характерны для сфагновых мхов, для некоторых образцов наблюдается иммобилизация азота (рисунок 4-Б). Так же, в долгосрочных исследованиях, выявлена зависимость между динамикой изменения содержания азота и зольных элементов ( $r=0,41$ ). На первых этапах деструкции происходит неоднозначное изменение содержания зольных элементов в остатках растений. Начиная с первых месяцев в условиях рямов происходит рост зольности в образцах *Eriophorum vaginatum* и *Sphagnum fuscum*. К третьему году разложения снижение зольности происходит лишь в некоторых образцах (в Бакчарском болоте – *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*; в Тимирязевском болоте – *Carex rostrata*) (рисунок 4-В). Результаты анализа состава золы растительных остатков показали, что в процессе трансформации во всех исследуемых образцах происходит вынос калия и накопление Si и Al.

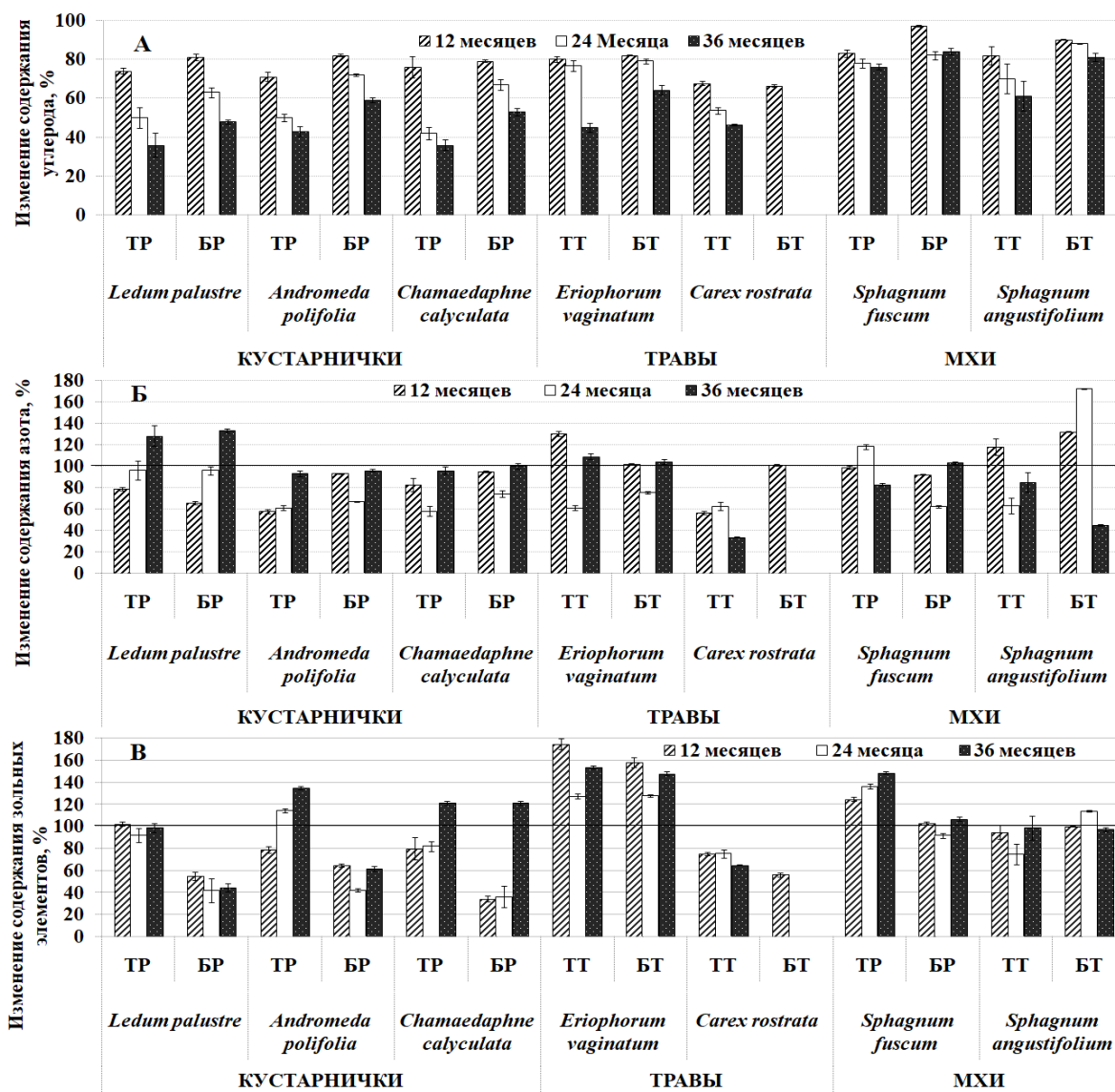


Рисунок 4 – Изменение содержания углерода (А), азота (Б), зольных элементов (В) в растительных остатках при разложении в торфяной залежи болота «Тимирязевское» и «Бакчарское» (% от исходного количества); ТР – Тимирязевский рям, ТТ – Тимирязевская топь, БР – Бакчарский рям, БТ – Бакчарская топь

Изменение изотопного состава растительных остатков в ходе деструкции. Биогенные элементы, которыми являются углерод и азот, имеют более одного стабильного (нерадиоактивного) изотопа. В результате исследования изотопного состава растений-торфообразователей выявлено, что наличие легких и тяжелых изотопов углерода и азота зависит как от особенностей самих растений, так и от места произрастания. Изотопный состав углерода поверхностного слоя торфа в Тимирязевском и Бакчарском болотах имеет близкие значения (-27 ‰ – -29 ‰), однако изотопный состав азота торфа данных болот отличается, как топь, так и рям Тимирязевского болота обеднены тяжелым изотопом N по сравнению с Бакчарским болотом (-7 – -8 ‰ и -3 – -4 ‰). В ходе трансформации органического вещества



растений происходит фракционирование углерода и азота, при этом превращения азота протекают интенсивнее (рисунок 5).

Практически для всех исследуемых видов наблюдается некоторое обеднение  $\delta^{13}\text{C}$  к концу эксперимента. Наиболее интенсивное обеднение  $\delta^{15}\text{N}$  происходит в образцах растений (*C. rostrate*, *E. vaginatum*, *S. fuscum*, *S. angustifolium*), изначально обогащенных  $\delta^{15}\text{N}$  (положительные значения). Возможно, данные результаты объясняются тем, что в данных образцах происходит интенсивные процессы нитрификации и аммонификации микроорганизмами.

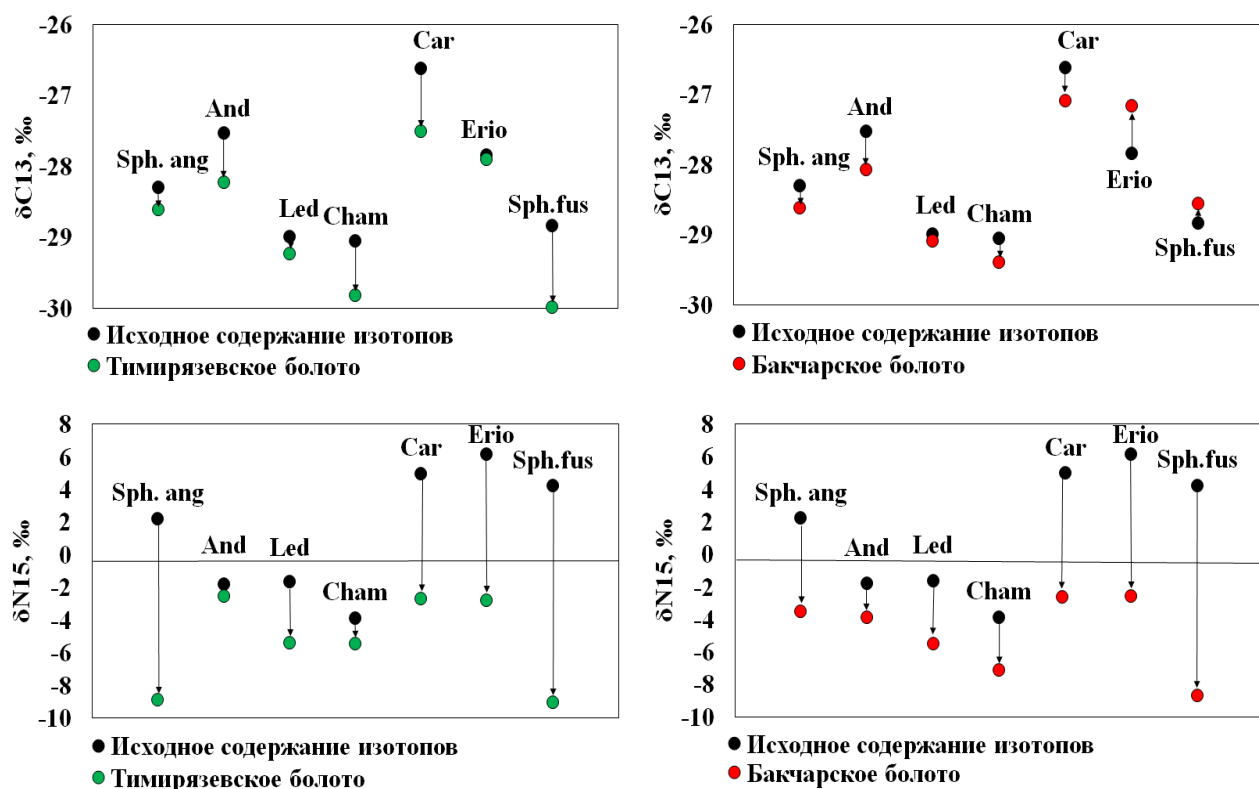


Рисунок 5 – Изменение содержания стабильных изотопов углерода и азота в растительных остатках. А – Тимирязевское болото, Б – Бакчарское болото. And – *Andromeda polifolia*, Car – *Carex rostrate*, Erio – *Eriophorum vaginatum*, Led – *Ledum palustre*, Cham – *Chamaedaphne calyculata*, Sph. fus. – *Sphagnum fuscum*, Sph. ang. – *Sph. Angustifolium*

**Микробиологическая активность.** Активность микроорганизмов оказывает огромное влияние на скорость разложения, что прослеживается как в краткосрочных, так и в долгосрочных исследованиях. Согласно полученным результатам, в свежем растительном опаде насчитывается большее количество микроорганизмов по сравнению с торфом. Выявлено, что микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота в среднем в 1,5 раза меньше, чем микроорганизмов, усваивающих органические формы, при этом число бактерий превышает общую численность грибов. В ходе исследований была выявлена низкая активность микрофлоры углеродного цикла в отличии от остальных исследуемых групп микроорганизмов. В

условиях Тимирязевского болота на начальных стадиях деструкции количество микроорганизмов азотного и углеродного цикла значительно больше, чем в условиях Бакчарского болота. В дальнейшем в условиях Тимирязевского болота преобладают микроорганизмы, участвующие в цикле превращений азота, а в условиях Бакчарского болота – микроорганизмы цикла углерода. Низкая численность микрофлоры углеродного цикла объясняет низкую степень фракционирования изотопов углерода. При этом преобладание целлюлозолитической микрофлоры в Бакчарском болоте объясняет более активные изменения изотопного состава углерода по сравнению с Тимирязевским болотом, а преобладание микрофлоры азотного цикла в условиях Тимирязевского болота объясняет более активное обеднение изотопами азота. Также, в ходе исследования, выявлена зависимость между олиготрофами и денитрификаторами ( $r=0,7$ ), между олиготрофами и сахаролитическими грибами ( $r=0,57$ ), что свидетельствует о возможных трофических связях между данными группами микроорганизмов.

*Влияние гидротермических условий на скорость разложения растений-торфообразователей.* Проведенные исследования показали, что гидротермические показатели, такие как влажность и температура оказывают значимое влияние на скорость разложения растительных остатков. При этом наиболее значимое влияние проявляется в изначально более сухих условиях рямов. Наиболее тесная связь между скоростью разложения и УБВ наблюдалась для кустарничков ( $r=-0,87$ ). В результате корреляционного анализа получена положительная связь температуры и скорости разложения кустарничков и *Sphagnum fuscum* (т.е. растений, произрастающих на рямовых участках), для трав и *Sphagnum angustifolium* (топяные участки) отрицательная. Также выявлено, что образцы растений, помещенные в условия Тимирязевского болота, характеризующегося более высокими температурами деятельного слоя торфяной залежи, а также низкими значениями УБВ по сравнению с условиями Бакчарского болота, разлагаются быстрее.

## **5. Оценка продукционно-деструкционных процессов в олиготрофных болотах**

В результате оценки скорости накопления фитомассы растений и потери органического вещества в процессе разложения, выявлено, что как в условиях ряма, так и в условиях осоково-сфагновой топи, в течение вегетационного периода исследуемые растения накапливают в 1,7–7,7 раз больше углерода, чем его теряется при разложении растительных остатков в течение трех лет. К концу эксперимента потери массы составляют от 13 до 58 % от продукции за год и от 19 до 65 % от ежегодного опада исследуемых растений (рисунок 6). Данные результаты свидетельствуют о постоянном стоке углерода из атмосферы в настоящее время и накоплении его как в виде растительности, так и в виде торфа. Наибольшее накопление углерода характерно для более влажного и прохладного Бакчарского болота, не подверженного антропогенному воздействию. При этом наибольший прирост

и наименьшие потери органического вещества получены для рямов. Максимальные потери массы для всех образцов, как в торфяной залежи осоково-сфагнуовой топи, так и ряма, происходят в первый год эксперимента.

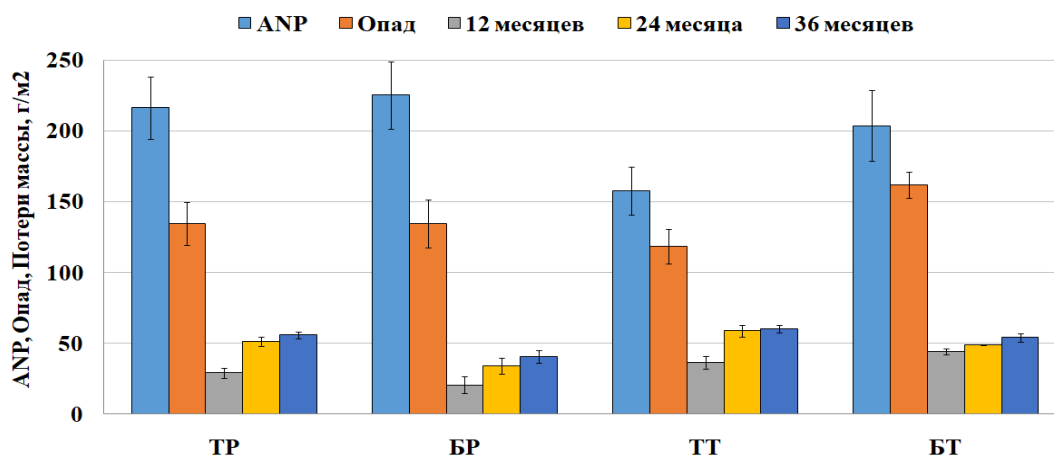


Рисунок 6 – Продукция, опад и потери органического вещества при разложении растительных остатков в фитоценозах, г/м<sup>2</sup>. ТР – Тимирязевский рям, ТТ – Тимирязевская топь, БР – Бакчарский рям, БТ – Бакчарская топь

Потери массы трав при разложении за первый год составляют 18 % и 32,5 % от продукции *E. vaginatum* и *C. rostrata* соответственно. Разложение кустарничков происходит примерно с одинаковой скоростью на протяжении всего эксперимента. Наибольшие значения, как продукции, так и деструкции характерны для *Ch. calyculata*. Превышение ежегодной продукции сфагновых мхов над их разложением в течение первого года составляет от 5 до 18 раз. К третьему году эксперимента потери органического вещества сфагновых мхов возрастают и составляют в среднем для *S. fuscum* 15 %, для *S. angustifolium* – 27 % от ежегодной продукции. В результате происходит постоянное накопление слаборазложившегося сфагнового торфа.

## 6. Влияние абиотических факторов на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях модельного эксперимента

В результате модельного эксперимента по оценке влияния температуры и влажности на процессы разложения выявлено, что наиболее активное разложение растительного опада происходит в течение первого месяца разложения. При этом в образцах *S. fuscum*, *Ch. calyculata*, *E. vaginatum* активное выделение С(СО<sub>2</sub>) регистрируется в течение первых дней эксперимента при температуре 22°C, а при 2°C наступает только через 7–14 дней. Снижение скорости разложения растительных остатков при 22°C происходит быстрее, чем при 2°C. Скорость разложения смешанного образца превышает соответствующий показатель его отдельных компонент, таким образом, демонстрируя неаддитивный эффект.

Образцы *S. fuscum*, как и предполагалось, характеризуются самой высокой устойчивостью к разложению: при 22°C суммарные потери С(СО<sub>2</sub>) (C<sub>сум</sub>) за три месяца практически не зависели от влажности, составляя 19–20

мг С/г. Наименьшее значение  $C_{cum}$  образца *S. fuscum* наблюдается при температуре 2°C.

В зависимости от вида растительного опада и его влажности температурный коэффициент  $Q_{10}$  в низкотемпературном диапазоне 2–12°C варьирует от 0,97 до 1,53, а в температурном интервале 12–22°C он незначительно выше и составляет 1,05–2,18.

При увеличении температуры для всех видов растений-торфообразователей наблюдается увеличение константы разложения, в то время как влияние влажности на величину константы разложения исследуемых растений-торфообразователей неоднозначно и в зависимости от вида растительного опада и температуры может оказывать разнонаправленный эффект (рисунок 7). Наименьшее значение константы разложения характерно для опада *S. fuscum*.

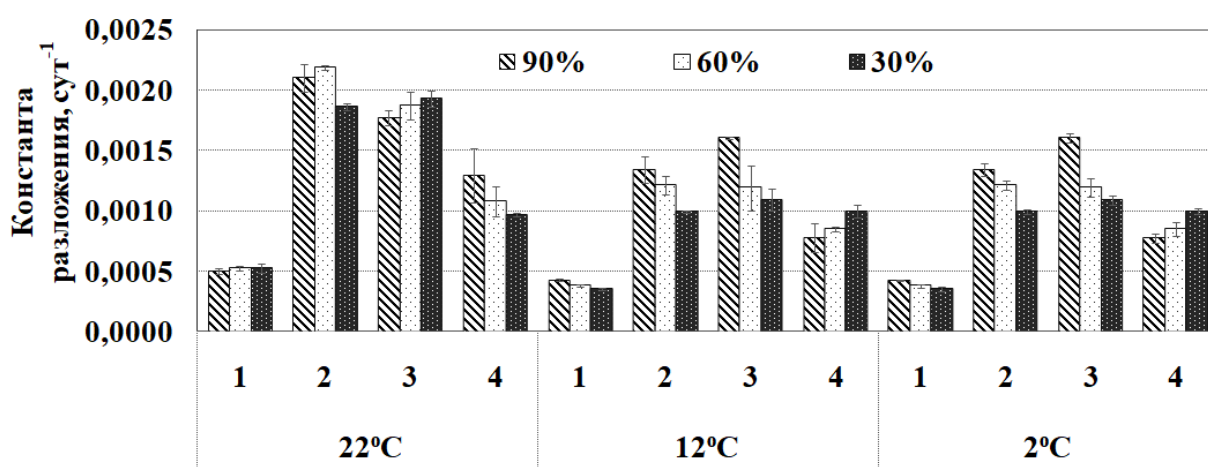


Рисунок 7 – Константы разложения ( $k$ , сут<sup>-1</sup>) основных растений-торфообразователей при различном сочетании абиотических факторов: 1 – *Sphagnum fuscum*, 2 – *Chamaedaphne calyculata*, 3 – *Eriophorum vaginatum*, 4 – Смешанный образец

Таблица 3 – Доля дисперсии ( $\eta$ , %), объясненной влиянием вида растительного опада (P), температуры (T), влажности (W) и их сочетаниями на величину общих потерь  $C(CO_2)$  за 3 месяца эксперимента

Фактор	$\eta$ , %	F	P
P	<b>61,0</b>	450	< 0,0001
T	<b>31,2</b>	230	< 0,0001
W	<b>2,1</b>	15	< 0,0001
P*T	<b>4,3</b>	32	< 0,0001
P*W	<b>0,6</b>	4	0,001
T*W	0,3	2	0,129
P*T*W	<b>0,4</b>	3	0,001
UV	0,1		

Примечание: UV – необъясненная дисперсия; жирным шрифтом показано значимое влияние факторов при  $p < 0,05$ .

Согласно результатам 3-х факторного дисперсионного анализа в рамках заданных диапазонов температуры и влажности в процессе разложения растительного опада изучаемые факторы по силе влияния на общие потери  $C(CO_2)$  располагаются в следующем порядке: вид растительного опада (61 % общей дисперсии) > температура (31 %) > влажность (2 %) (таблица 3). Это свидетельствует о том, что на начальных этапах, химический состав (видовая принадлежность) растений-торфообразователей играет главную роль в динамике разложения, определяя, как характер деструкции, так и величину максимальных значений скорости разложения.

### Выводы:

1. Максимальные запасы общей фитомассы растений характерны для более сухих и теплых условий Тимирязевского болота, при этом запасы фотосинтезирующей фитомассы в Бакчарском болоте в 1,2 раза выше. Наибольшее значение надземной первичной продукции характерно для сосново-кустарничково-сфагновых рямов ( $ANP=216$  и  $225$  г/м<sup>2</sup> в год для Тимирязевского и Бакчарского болот соответственно). Максимальная надземная первичная продукция получена для сфагновых мхов, вклад сфагновых мхов в  $ANP$  в среднем составляет 57 %.

2. Наиболее интенсивно процесс разложения органического вещества растений протекает на начальных этапах деструкции в течение 1-2 месяцев, в дальнейшем процесс трансформации замедляется. Основным растением-торфообразователем как через 1 месяц, так и через 36 месяцев деструкции является *Sphagnum fuscum* (19 и 24 % потери массы за 3 года разложения в Бакчарском и Тимирязевском болоте соответственно). В более сухих и теплых условиях Тимирязевского болота процессы трансформации органического вещества протекают интенсивнее.

3. Оценка продукционно-деструкционных процессов показала, что в течение вегетационного периода растения накапливают в 1,7–7,7 раз больше углерода, чем его теряется при разложении растительных остатков в течение трех лет. Потери массы органического вещества за три года составляют 13–58 % от ежегодной надземной продукции и 19–65 % от ежегодного опада исследуемых растений. Данные результаты свидетельствуют о постоянном стоке углерода из атмосферы в настоящее время и накоплении его как в виде растительности, так и в виде торфа.

4. Во время деструкции растительных остатков происходит изменение содержания общего углерода, азота и зольных элементов. Вынос углерода напрямую связан с потерями массы органического вещества. В процессе трансформации органического вещества наблюдается как минерализация (*Sphagnum angustifolium*, *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Carex rostrata*), так и иммобилизация азота (*Ledum palustre*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum fuscum*) в растительных остатках. В результате изотопного анализа выявлено, что фракционирование углерода выражено слабо, в то время как к концу эксперимента происходит истощение растительных образцов  $\delta^{15}N$  от

4,9 ‰ до -13,3 ‰ в зависимости от вида растения. Во всех растительных остатках в процессе трансформации увеличивается зольность, за исключением *Carex rostrata* (Тимирязевское болото), *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia* (Бакчарское болото), при этом во всех растительных остатках происходит увеличение содержания *Si* и *Al* и снижение содержания калия.

4. В свежем опаде растений количество микроорганизмов выше в среднем в 5 раз по сравнению с торфом, при этом микрофлора, участвующая в цикле превращений азота более активна, чем микрофлора углеродного цикла. В условиях Тимирязевского болота преобладает микрофлора участвующая в цикле превращений азота, тогда как в условиях Бакчарского болота – микрофлора разрушающая лигноцеллюлозный комплекс. Выявлена положительная зависимость между численностью денитрификаторов и олиготрофов ( $r=0,7$ ) на всех этапах деструкции растительных остатков.

5. По силе воздействия факторы, влияющие на скорость разложения растительных остатков располагаются в следующей последовательности: вид растительного опада (61 % общей дисперсии) > температура (31 % общей дисперсии) > влажность (2 % общей дисперсии). Выявлено, что при смешивании опада разных видов (*Sphagnum fuscum* и *Chamaedaphne calyculata*) происходит увеличение скорости разложения органического вещества.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК:

1. Головацкая Е. А. Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации сфагновых мхов в торфяной почве олиготрофных болот / Е. А. Головацкая, Л. Г. Никонова // Почвоведение – 2017. – № 5. – С. 606–613. DOI: 10.7868/80032180X17030030.

2. Никонова Л. Г. Скорость разложения растений-торфообразователей в олиготрофных болотах южно-таежной подзоны Западной Сибири: оценка влияния уровня болотных вод и температуры торфяной залежи / Л. Г. Никонова, Е. А. Головацкая, И. В. Курьина, И. Н. Курганова // Почвоведение – 2019. – № 9 – С. 1092–1103. DOI: 10.1134/S0032180X19090065.

3. Головацкая Е. А. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот / Е. А. Головацкая, Л. Г. Никонова // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология – 2013. – № 3 (23). – С. 137–151. DOI: 10.17223/19988591/23/13.

4. Никонова Л. Г. Влияние абиотических факторов на разложение опада растений-торфообразователей в инкубационном эксперименте / Л. Г. Никонова, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, В. А. Жмурин, Е. А. Головацкая // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология – 2019. – № 46. – С.148-170. DOI: 10.17223/19988591/46/8.

*Наиболее значимые публикации в иных научных изданиях:*

1. **Nikonova L. G.** Decomposition rate of peat-forming plants in the oligotrophic peatland at the first stages of destruction / L. G. Nikonova, E. A. Golovatskaya, N. N. Terechshenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2018. – Т. 138, №. 1. – P. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/138/1/012013.
2. **Nikonova L. G.** Temperature effect on the rate of decomposition of peat-forming plants: results of a model experiment / L. G. Nikonova, I. N. Kurganova, V. O. Lopez de Gerenyu, V. A. Zhmurin, E. A. Golovatskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2018. – Vol. 211, № 1. – P. 012037. DOI:10.1088/1755-1315/211/1/012037.
3. **Nikonova L. G.** Decomposition rate of peat-forming plants at the initial stages of destruction in peat deposits of the oligotrophic bogs “Bakcharskoe” and “Timiryasevskoe” / L. G. Nikonova, E. A. Golovatskaya, N. N. Tereshchenko // Environmental Dynamics and Global Climate Change – 2020. – Т. 11, №. 1. С.1-15. DOI: 10.17816/edgcc34045.
4. **Никонова Л. Г.** Оценка влияния температуры на скорость разложения растений-торфообразователей в условиях длительного модельного эксперимента / Л. Г. Никонова, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, В. А. Жмурин, Е. А. Головацкая // Почвы и окружающая среда – 2018 – №1(4) – С. 256-266. DOI: 10.31251/pos.v1i4.4.
5. Golovatskaya E. A. The change of the carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope composition in the decomposition process of peat-forming plants / E. A. Golovatskaya **L. G. Nikonova** // Biogeomon – Czech. – 2017. P. 296–297.
6. Dyukarev E. A. Two-component mechanistic model of Sphagnum mosses decomposition in West Siberia peatlands // E. A. Dyukarev, E. A. Golovatskaya **L. G. Nikonova** / Biogeomon – Czech. – 2017. P. 109-110.
7. Golovatskaya E. A. Rate of Carbon Accumulation in Oligotrophic Bogs in Southern Taiga Subzone of Western Siberia / Golovatskaya E. A. **Nikonova L. G.** // Annual meeting 2013 Society of Wetland Scientists Duluth – Minnesota, USA . – 2013
8. **Никонова Л. Г.** Продукция и деструкция органического вещества в болотных экосистемах Западной Сибири / Л. Г. Никонова, Е. А. Головацкая // SEWAN – Томск: Изд-во ТПУ – 2018. С. 265.
9. Головацкая Е. А. Процесс разложения сфагновых мхов в олиготрофных болотах / Е. А. Головацкая, **Л. Г. Никонова** // Болота северной Европы: разнообразие, динамика и рациональное использование – Петрозаводск: Карельский научный центр, 2015. – С. 26-27.
10. **Никонова Л. Г.** Скорость разложения растительных остатков в торфяной залежи олиготрофных болот Томского района / Л. Г. Никонова, Е. А. Головацкая // Биоразнообразие: глобальные и региональные процессы / Мат-лы Всероссийской конференции молодых ученых с междунар. участием – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2016. – С.192-193.

11. **Никонова Л. Г.** Скорость разложения растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофного болота на начальных этапах деструкции / Л. Г. Никонова, Е. А. Головацкая, Н. Н. Терещенко // Углеродный баланс болот Западной Сибири в контексте глобального изменения климата – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017. – С.91-94.

12. **Никонова Л. Г.** Влияние уровня болотных вод на процессы трансформации растений-торфообразователей в торфяной почве олиготрофных болот / Л. Г. Никонова, Е. А. Головацкая, Н. Н. Терещенко // III Ковалевские молодежные чтения «Почва – ресурс экологической и продовольственной безопасности» – Томск: Издательский дом ТГУ. – 2016 – С.165-170.