

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Никоновой Лилии Гарифулловны «Продукционно-деструкционные процессы в олиготрофных болотных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири» на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – Экология (биология) (биологические науки).

Болотные экосистемы, являясь неотъемлемым компонентом большинства ландшафтов таежной зоны, выполняют в них ряд специфических биосферных функций, важнейшей из которых является аккумуляция больших пулов углерода в торфяных отложениях на века, тем самым участвуя в регулировании состава атмосферы. Важна роль болот и в поддержании гидрологического режима ландшафтов, и местообитаний многих видов организмов и сообществ. Отсюда комплексные исследования болот, направленные на установление закономерностей их функционирования, включая продукционные процессы, являются актуальными, в том числе и в связи с изменениями климата и прогнозируемыми изменениями биосферных процессов и оценкой буферной роли болот в балансе углерода на планете.

Болотные экосистемы в разных природных зонах и ландшафтах характеризуются высоким разнообразием по составу и структуре растительного покрова, что вызывает значительную специфику продукционных процессов в зависимости от типа сообществ. Верховые болота, занимающие огромные площади в таежной зоне, особенно в Сибири, вносят основной вклад в аккумуляцию углерода в торфяных отложениях, однако изученность продукционно-деструкционных процессов на них в зависимости от экологических условий и факторов до сих пор остается слабо исследованной. Это делает диссертационную работу Л.Г. Никоновой актуальной и имеющей как научное, так и практическое значение, в первую очередь для использования в моделировании процессов торфообразования. Поставленная цель и полученные результаты содержат научную новизну.

Диссертация Л.Г. Никоновой состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Работа базируется на результатах натурных исследований и экспериментов, выполненных на модельных территориях на двух верховых болотах в южно-таежной подзоне Томской области в 2013-2017 годах, а также данных лабораторного инкубационного эксперимента по разложению растительных остатков, проведенного в 2017-2018 годах. Исследования выполнены автором самостоятельно или при ее непосредственном участии и обработаны автором. При выполнении исследований использован комплекс современных и классических методов экологии, болотоведения и микробиологии, при обработке результатов применялись различные статистические методы.

Во Введении представлена актуальность работы, ее цель и задачи, научная новизна, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, а также сведения о публикациях и ее апробациях.

Глава 1 «Биологический круговорот углерода в болотных экосистемах» представляет собой хороший литературный обзор, включающий два раздела (подглавы). Первый включает анализ изученности продуктивности болотных экосистем в России, причем обширный материал приведен в большой сводной

таблице, содержащей сведения не только по верховым, но и по переходным и низинным болотам. Ценно в этой таблице и то, что материалы приведены по природным зонам, что позволяет оценить изменения параметров продуктивности болот в географическом аспекте. Автор справедливо отмечает, что существуют различия в методах определения продуктивности болотных сообществ, терминологии, отсюда результаты разных авторов далеко не всегда хорошо сопоставимы, особенно это относится к оценкам мортмассы и ее трактовке. В разделе, к сожалению, очень мало сведений о продуктивности подземной биомассы, это автору нужно учесть в будущих работах, т.к. подземные органы сосудистых растений служат важнейшими торфообразователями в ряде болотных сообществ.

Во втором разделе рассмотрены и обобщены литературные сведения по изучению процессов деструкции растений-торфообразователей, как на территории России, так и в ряде других стран. Проанализированы основные факторы, влияющие на скорость и направленность процессов разложения растительных остатков, как экологические, микробиологические, так и особенности химического состава самих растений. Следует отметить, что модельными объектами в немногочисленных экспериментах по разложению болотных растений выступают всего несколько видов сосудистых растений и мхов, поэтому эти исследования в дальнейшем требуют расширения.

Вторая глава «Материалы и методы исследования» имеет детальную рубрикацию, в разделах которой освещен целый ряд вопросов, необходимых для выполнения работы. В разделе 2.1. дается достаточно полная характеристика природных условий и климата района исследований, модельных территорий (болота «Бакчарское» и «Тимирязевское») и фитоценозов, в которых проводились эксперименты по изучению процессов разложения растительных остатков. Модельными объектами исследований послужили наиболее характерные виды верховых болот, как сосудистых растений: кустарнички (мирт болотный, багульник, подбел), травы (пушица влагалищная, осока вздутая), так и два вида сфагновых мхов. Раздел 2.2. Методы исследований включает характеристику использованных автором методов изучения продуктивности фитоценозов и модельных видов растений, а также целого набора методов различных химических анализов растительных остатков после их разложения в торфяной залежи в течение нескольких разных сроков экспозиции.

По содержанию данной главы следует высказать одно частное методическое замечание. *Carex rostrata* (осока вздутая) является минеротрофным видом, поэтому транзитные топи на верховых болотах с ее доминированием лучше считать мезоолиготрофными, хотя моховой покров в них уже олиготрофный. Осока за счет проникновения корней в более глубокие слои залежи получает дополнительное минеральное питание.

Главы 3-6 посвящены результатам исследований.

В главе 3 приведены и обсуждены данные по изучению продуктивности напочвенного покрова четырех модельных фитоценозов, в которых проводились эксперименты по деструкции растений-торфообразователей. Установлены близкие показатели продукционных параметров пар сходных фитоценозов (сосново-кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых) на двух болотах. Сфагновые мхи преобладают в чистой первичной продукции надземного яруса исследованных сообществ, что характерно для верховых болот таежной зоны. Методически

правильно в работе принята одинаковая 20-сантиметровая мощность корнеобитаемого слоя, в пределах которой находится основная масса корней, идет процесс торфообразования, а также получены сравнимые результаты по запасам мортмассы в сходных сообществах. Основное замечание по этой главе относится к определению фитомассы корней трав и кустарничков. Согласно представленным в таблице 6 результатам исследований их масса превышает массу живых надземных частей трав и кустарничков в 5-20 раз, что свидетельствует о включении в фитомассу части мертвых корней, которые нужно относить к мортмассе, это необходимо учесть в дальнейшей работе.

Глава 4 «Динамика разложения основных растений-торфообразователей олиготрофных болот» является важнейшей в работе, так как содержит основные результаты исследований в соответствии с целью и поставленными задачами. В разделе 4.1 подробно анализируются данные по интенсивности разложения модельных видов растений как в трехлетнем эксперименте с закладкой их образцов в торфяную залежь на глубину 10 см, так и в кратковременном эксперименте в течение одного вегетационного периода. Полученные результаты свидетельствуют о высокой интенсивности разложения остатков сосудистых растений и *Sphagnum angustifolium* уже в течение первого года (от 40 до 70% за трехлетний период). Результатами эксперимента в течение одного вегетационного периода установлено, что наиболее активно разложение остатков происходит в первые 1-3 месяца, при этом наименьшие потери присущи *Sphagnum fuscum*. Очень ценно в работе, что данные по скорости разложения остатков были сопоставлены с гидротермическими условиями модельных территорий, как в течение вегетационных периодов, так и среднегодовыми показателями (раздел 4.5). Установлена достоверная связь скорости разложения остатков с уровнями болотных вод (УБВ) в сосново-кустарничково-сфагновых сообществах, при этом в ряме на Тимирязевском болоте с более низкими УБВ скорость разложения остатков значимо выше. В сообществах топей с высокими УБВ и их небольшими колебаниями такой зависимости нет. Достаточно тесные положительные связи скорости разложения остатков с суммами эффективных температур выявлены в сообществах рямов, а в топяных они отрицательные. Эти результаты важны для моделирования процессов торфогенеза в при различных гидротермических условиях.

Процессы разложения растительных остатков сопровождаются изменениями их химического состава, которые детально изучены и представлены в разделе 4.3. диссертации. Показано, что в первую очередь в остатках снижается содержание углерода, процесс происходит синхронно с общим снижением массы остатков. Динамика азота в разных группах растений разнонаправленна и в определенные периоды наблюдается его аккумуляция в разлагающихся остатках. Динамика общей зольности и содержания отдельных элементов также имеет свои особенности у разных видов растений, при этом наибольшее снижение выявлено для биофильных элементов: калия, фосфора, кальция и магния, которые вовлекаются в биологический круговорот живыми растениями и микрофлорой. Следует отметить, что обширный фактический материал по этим разделам главы очень хорошо представлен в многочисленных информативных цветных рисунках, что позволяет легко его сопоставлять. Полученные результаты Л.Г. Никонова регулярно сравнивает с данными других исследователей, что важно для их оценки, а также выявления специфики процессов деструкции растительных остатков в разных природных условиях и регионах. Новыми и интересными являются данные

по содержанию и динамике в процессе разложения остатков тяжелых изотопов углерода и азота.

В процессах разложения растительных остатков и торфообразования важнейшая роль принадлежит широкому набору микроорганизмов, включающему различные группы бактерий и грибов. Микробсообщества очень динамичны по составу, а также активности преобразования органических остатков и до настоящего времени изученность этих процессов на болотах довольно слабая. В диссертационной работе Л.Г. Никоновой представлены обширные и многоплановые результаты исследований микробсообществ, формирующихся и функционирующих как на образцах растительных остатков, заложенных для оценки скорости их разложения, так и в торфогенном слое залежи, куда образцы помещены (раздел 4.4). Состав микрофлоры в образцах разлагающихся остатков изучен в динамическом аспекте на протяжении всего эксперимента в течение трех лет, а также в разные месяцы в течение вегетационного периода. Обширный фактический материал по численности микробсообществ, приведенный в приложениях 1-4, свидетельствует об их высокой лабильности, как на растительных остатках разных видов растений, так и в торфогенном слое залежи. Интересен тот факт, что в сходных типах фитоценозов, находящихся на разных болотах, численность и структура микробсообществ в большинстве конкретных периодов исследований, значительно различаются, что свидетельствует о тесной связи микробного населения с локальными гидротермическими и трофическими факторами. Это новые и важные научные данные, так как они представляют динамику микробсообществ в процессе разложения в течение разных периодов экспозиции остатков в залежи, имеющиеся же в литературе сведения по таким исследованиям в основном разовые или краткосрочные. Полученные результаты свидетельствуют о значительных различиях роли бактерий и грибов на разных стадиях разложения того или иного вида растений, а также влиянии гидротермических условий на скорость разложения, что подтверждается высокой активностью микрофлоры в августе-сентябре при оптимальном прогревании торфогенного слоя и лучшей его аэрации. Обширные материалы этого раздела, включающие разные аспекты микробиологических процессов в процессе разложения, целесообразно было изложить с выделением дополнительных рубрик, например, отдельно рассмотреть результаты краткосрочного и трехлетнего экспериментов, микрофлору торфогенных горизонтов в пунктах заложения остатков, а также трансформацию целлюлозы и азотсодержащих органических веществ. Это позволит более четко оценить микробиологические процессы в ходе деструкции органического вещества на верховых болотах.

Глава 5 включает обобщенную оценку продукционно-деструкционных процессов в олиготрофных болотах по результатам исследований автора, изложенных в предыдущих главах. К сожалению, в этой главе Л.Г. Никонова не приводит сравнения своих данных с имеющимися в литературе, хотя в главе 1 они у нее представлены в сводной таблице 1.

В этой же главе желательно было кратко привести имеющиеся сведения о вертикальном приросте торфа и длительности процесса торфообразования на верховых болотах, где остатки растений, в первую очередь сфагновых мхов, находятся в торфогенном слое 100 и более лет и процессы их разложения очень продолжительны. Давно установлено, что в торф на верховых болотах переходит всего от 5 до 20% первичной продукции фитоценозов (Козловская и др., 1978;

Илометс, 1980; Елина и др., 1984; Clymo, 1965; Malmer, Wallen, 1993). С учетом этого нужно уточнить и положение 1, выносимое на защиту, подчеркнув, что скорость накопления органического вещества в надземной фитомассе превышает скорость трансформации растительного опада **в первые три года в несколько раз.**

Глава 6 посвящена результатам оценки влияния абиотических факторов на скорость разложения растений-торфообразователей по результатам модельного инкубационного эксперимента продолжительностью 90 дней. Объектами послужили остатки трех наиболее распространенных видов верховых болот (мирт болотный, пушица влагалищная и *Sphagnum fuscum*) имеющие четкие значительные различия по химическому составу, а также смешанный образец из них. В эксперименте использовались три уровня температуры (2°, 12° и 22°) и три градации влажности образцов (30%, 60% и 90%). Оценка интенсивности процессов разложения проводилась по эмиссии CO<sub>2</sub>. Анализ результатов показал наибольшую скорость разложения всех образцов при температуре 22° и влажности 90%. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа установлена ведущая роль температурного фактора на интенсивность разложения отдельных видов остатков, на него приходится 75-90% дисперсии. При этом снижение скорости разложения остатков при высокой температуре происходит быстрее, чем при низкой. Трехфакторный анализ результатов эксперимента свидетельствует, что основное воздействие на потери углерода в процессе разложения оказывает вид растения, т.е. его химический состав, на него приходится 61% дисперсии, на фактор температуры 31% и только 2% на влажность. Скорость разложения смешанного образца во всех вариантах эксперимента примерно в два раза выше, чем *Sphagnum fuscum*, что свидетельствует о неаддитивном эффекте в результате наличия в нем разных по химическому составу остатков растений. Ценным результатом эксперимента является то, что полученные в нем данные хорошо согласуются с результатами природных экспериментов.

Диссертационная работа Л.Г. Никоновой логически построена, написана хорошим научным языком, детально структурирована и представляет собой законченное многоплановое научное исследование, выполненное с использованием комплекса классических и современных методов экологии, ботаники и почвенной микробиологии. Результаты исследований достаточно полно изложены в соответствующих главах и приведены в 17 таблицах и 30 цветных рисунках, что позволяет их легко воспринимать и оценить. Поставленная цель и задачи работы полностью выполнены. Выводы, приведенные в диссертации, логически следуют из полученных результатов и не вызывают сомнений. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты исследований опубликованы в многочисленных работах (33), как в российских, так и международных изданиях, в том числе 4 статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК, 5 статей, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, а также доложены и обсуждены на ряде научных мероприятий различного уровня.

Высказанные частные замечания и пожелания не влияют на высокую оценку работы в целом.

Диссертация Никоновой Лилии Гарифулловны «Продукционно-деструкционные процессы в олиготрофных болотных экосистемах южно-таежной подзоны Западной Сибири», представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 – «Экология (биология)» (биологические науки) является законченной научно-

квалификационной работой, в которой содержится решение научных задач, имеющих значение для развития экологии и болотоведения. По актуальности, объему выполненных исследований, новизне полученных результатов, теоретической важности и практическому значению она полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 01.10.2018 г. №1168), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.08 - Экология (биология) (биологические науки).

Доктор биологических наук по специальности «экология», с.н.с.,  
главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем  
Института биологии - обособленного подразделения  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Федерального исследовательского центра «Карельский  
научный центр Российской академии наук»

Кузнецов Олег Леонидович

  
185910 г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11  
Факс 8(8142) 769810, тел. 8 9114020022.  
[kuznetsov@krc.karelia.ru](mailto:kuznetsov@krc.karelia.ru)  
17.03.2021 г.

Подпись руки О.Л. Кузнецова заверяю  
Ученый секретарь ИБ КарНЦ РАН,  
к.б.н. Е.М.Матвеева

