

Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»

# **ТРУДЫ**

## **КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

№ 8, 2023

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Петрозаводск  
2023

Главный редактор

А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, академик РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия серии «Экологические исследования»

К. С. БОБКОВА, д. б. н., проф.; В. В. ВАПИРОВ, д. х. н.; А. Н. ГРОМЦЕВ, д. с.-х. н.; П. И. ДАНИЛОВ, д. б. н., проф.; Н. В. ИЛЬМАСТ (зам. отв. редактора), д. б. н., доцент; В. А. ИЛЮХА, д. б. н., доцент; Н. М. КАЛИНКИНА, д. б. н.; А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; О. Л. КУЗНЕЦОВ (отв. редактор), д. б. н.; В. А. МАСЛОБОЕВ, д. т. н., проф.; Е. Н. РАСПУТИНА (отв. секретарь), к. б. н.; С. А. СВЕТОВ, д. г.-м. н., проф.; К. Ф. ТИРРОНЕН, к. б. н.; В. Т. ЯРМИШКО, д. б. н., проф.

*Издается с января 2009 г.*

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Тел. (8142)762018; факс (8142)769600

E-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru)

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2023

© Институт биологии КарНЦ РАН, 2023

© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2023

© Институт леса КарНЦ РАН, 2023

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

# **TRANSACTIONS**

**of the KARELIAN RESEARCH CENTRE  
of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES**

No. 8, 2023

ECOLOGICAL STUDIES

Petrozavodsk  
2023

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Academician, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the Ecological Studies Series

K. S. BOBKOVA, DSc (Biol.), Prof.; P. I. DANILOV, DSc (Biol.), Prof.; A. N. GROMTSEV, DSc (Agr.); N. V. ILMAST (Deputy Editor-in-Charge), DSc (Biol.), Assistant Prof.; V. A. ILYUKHA, DSc (Biol.), Assistant Prof.; N. M. KALINKINA, DSc (Biol.); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); O. L. KUZNETSOV (Editor-in-Charge), DSc (Biol.); V. A. MASLOBOEV, DSc (Tech.), Prof.; E. N. RASPUTINA (Executive Secretary), PhD (Biol.); S. A. SVETOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; K. F. TIRRONEN, PhD (Biol.); V. V. VAPIROV, DSc (Chem.); V. T. YARMISHKO, DSc (Biol.), Prof.

*Published since January 2009*

*8 issues a year*

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
Tel. (8142)762018; fax (8142)769600  
E-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru)

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

© Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2023  
© Institute of Biology, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2023  
© Forest Research Institute, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2023  
© Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2023

## Предисловие

В таежной и тундровой зонах Северной Евразии болотные экосистемы занимают огромные площади. Они выполняют уникальные биосферные функции, внося значимый вклад в круговорот углерода и регулирование содержания парниковых газов в атмосфере. Болота оказывают большое влияние на развитие экономики северных регионов, часто затрудняя и удорожая освоение территории, при этом являются источниками торфа, ягодных и лекарственных растений, важными охотничьими угодьями, объектами туризма.

В ряде стран Северной Евразии давно сложились национальные научные школы по изучению болот и традиции их разностороннего использования. Интенсивное освоение болот на Севере со второй половины XX века потребовало разработки стратегий управления болотами и сохранения их разнообразия. В последние десятилетия во многих странах и регионах ведутся широкомасштабные работы по восстановлению нарушенных болот и искусственному заболачиванию. На протяжении нескольких десятилетий успешно развивается международное научное сотрудничество по этим проблемам, разрабатываются и внедряются новые методы исследований, активно развивающиеся с появлением новых технических возможностей. Результаты таких работ регулярно обсуждаются на различных научных мероприятиях.

Исследования болот Карелии, начавшиеся в конце 20-х годов прошлого века, постоянно ведутся с 1950 года, с момента создания сектора болотоведения и мелиорации в Карело-Финском филиале АН СССР (сейчас это лаборатория болотных экосистем Института биологии Карельского научного центра РАН). В настоящее время исследуются болота в ряде регионов Европейского Севера, их результаты широко известны в России и за рубежом. Лаборатория на протяжении десятилетий организует научные мероприятия разного уровня. Международные симпозиумы, посвященные болотам Европейского

Севера, проходящие на ее базе, уже стали регулярными.

С 25 по 28 сентября 2023 года прошел очередной международный симпозиум «Болота Северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление», в котором участвовало 100 исследователей из научных организаций, вузов, охраняемых природных территорий 24 регионов России и Беларуси. Среди них – большое число молодых исследователей, включая аспирантов и студентов. На симпозиуме заслушано и обсуждено 60 устных и 28 стендовых докладов по широкому кругу вопросов и проблем изучения природы естественных и трансформированных болот, их охране и рациональному использованию. Наряду с пленарным заседанием работа симпозиума проходила на трех секциях: 1. Разнообразие, структура, динамика и функционирование болотных экосистем; 2. Болота и климат в голоцене. Палеоэкология; 3. Методы исследований. Управление болотными системами и их восстановление.

Опубликованы тезисы докладов участников симпозиума (Болота Северной Евразии: биосферные функции, разнообразие и управление: тезисы докладов международного симпозиума, Петрозаводск, 25–28 сентября 2023 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 113 с.).

В течение двух дней проводились экскурсии участников на естественные болота в окрестностях д. Колатсельга (Пряжинский район) и в заповеднике «Кивач».

Данный тематический выпуск «Трудов Карельского научного центра РАН» включает статьи ряда участников симпозиума по их докладам. Также публикуется путеводитель одной из экскурсий на уникальные эвтрофные болота, которые неоднократно посещались разными группами болотоведов и ботаников как России, так и европейских стран.

*О. Л. Кузнецов,  
зам. председателя оргкомитета симпозиума,  
ответственный редактор серии  
«Экологические исследования»*

УДК 574.4:551.343.72 (470.1)

## ЭКОСИСТЕМНЫЙ ОБМЕН CO<sub>2</sub> И CH<sub>4</sub> ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

**С. В. Загирова\***, **М. Н. Мигловец**

*Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Россия, 167982), \*zagirova@ib.komisc.ru*

В статье обобщены сведения об исследованиях экосистемного обмена диоксида углерода и эмиссии метана на мезо-олиготрофном и крупнобугристом болотах Европейского Северо-Востока России, различающихся по рельефу, структуре растительного покрова, температурному режиму воздуха и почвы, продолжительности периода вегетации. Используются результаты измерений методом микровихревых пульсаций и статических камер в период вегетации. Установлены различия скорости и продолжительности стока CO<sub>2</sub> между двумя типами болот. Суммарный нетто-обмен CO<sub>2</sub> на мезо-олиготрофном болоте в бесснежный период соответствовал 450 г/м<sup>2</sup>, а на крупнобугристом – 150 г/м<sup>2</sup>. Кумулятивный поток метана в экосистеме крупнобугристого болота в два раза ниже, чем на мезо-олиготрофном. Присутствие многолетнемерзлых грунтов ограничивало экосистемные потоки парниковых газов на крупнобугристом болоте. В исследованных типах болот травянистые мочажины являлись основными источниками метана.

**Ключевые слова:** крупнобугристое болото; мезо-олиготрофное болото; диоксид углерода; метан; экосистемный обмен

Для цитирования: Загирова С. В., Мигловец М. Н. Экосистемный обмен CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> торфяных болот таежной зоны на Европейском Северо-Востоке России // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 6–12. doi: 10.17076/eco1841

**Финансирование.** Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (122040100031-8).

### **S. V. Zagirova, M. N. Miglovets. ECOSYSTEM EXCHANGE OF CO<sub>2</sub> AND CH<sub>4</sub> IN BOREAL PEATLANDS OF THE NORTH-EAST EUROPEAN RUSSIA**

*Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (28 Kommunisticheskaya St., 167982 Syktывkar, Russia), \*zagirova@ib.komisc.ru*

The article summarizes data from studies of the ecosystem exchange of carbon dioxide and methane emissions in a meso-oligotrophic bog and a palsa mire in North-East

European Russia, which differed in topography, plant cover structure, air and soil temperature regimes, and duration of the growing season. The study is based on the results of measurements by using the eddy-covariance and the static chamber methods during the growing season. Differences were detected in the rate and duration of CO<sub>2</sub> sink between the two ecosystems. The total net CO<sub>2</sub> exchange during the snowless period was 450 g/m<sup>2</sup> in the meso-oligotrophic bog, and 150 g/m<sup>2</sup> in the palsa mire. The cumulative methane flux in the palsa mire ecosystem was half that of the meso-oligotrophic bog due to the presence of permafrost soils. Herb-dominated hollows were the main sources of methane in the peatlands.

**Keywords:** palsa mire; meso-oligotrophic bog; carbon dioxide; methane; ecosystem exchange

**For citation:** Zagirova S. V., Miglovets M. N. Ecosystem exchange of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in boreal peatlands of the North-East European Russia. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 6–12. doi: 10.17076/eco1841

**Funding.** The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Institute of Biology of the Komi Science Centre (122040100031-8).

## Введение

Болотные экосистемы играют важную роль в поглощении диоксида углерода из атмосферы и сохранении запасов углерода в торфяной залежи. Вместе с тем болота являются самыми крупными природными источниками метана в атмосферу. В Республике Коми торфяные болота занимают около 8 % площади, наиболее распространены являются верховые болота, общие запасы торфа в республике оценивают в 7,6 млрд т [Лесное..., 2000]. Несмотря на многолетнюю историю исследований болот и торфяных ресурсов в регионе, процессы обмена парниковых газов в болотных экосистемах разных типов остаются слабоизученными. Обмен диоксида углерода и эмиссия метана оценены в сообществах мезо-олиготрофного болота средней тайги [Ecosystem..., 2016]. Имеются сведения о вертикальных потоках метана на крупнобугристом болоте крайнесеверной тайги [Мигловец и др., 2021; Загирова и др., 2023]. Цель работы состояла в сравнении результатов измерений экосистемного обмена CO<sub>2</sub> и эмиссии CH<sub>4</sub> в двух типах болот таежной зоны, различающихся по гидротермическому режиму и структуре растительного покрова.

## Объекты и методы

В работе приведены результаты измерений методом микровихревых пульсаций вертикальных потоков парниковых газов на границе фитоценоз – приземная атмосфера в период вегетации на крупнобугристом болоте крайнесеверной тайги (Республика Коми, Интинский

район, 65°55' с.ш. 60°26' в.д.) и мезо-олиготрофном болоте средней тайги (Республика Коми, Сыктывдинский район, 61°56' с.ш. 50°13' в.д.), полученные в 2012–2017 гг. На крупнобугристом болоте в торфяных буграх сохраняется многолетняя мерзлота, глубина сезонно-талого слоя в летние месяцы достигает 80 см. В растительном покрове бугров преобладают лишайниковые и кустарничково-лишайниковые сообщества. Грядово-мочажинный комплекс занимает около 48 % площади, многолетняя мерзлота на этих участках не обнаружена. Мезо-олиготрофное болото состоит из нескольких массивов, разделенных грядами, лесными островами и проточными топами. В радиусе измерений отмечены мезоэвтрофная травяно-моховая проточная топь, олиготрофные сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые и мезотрофные кустарничково-травяно-сфагновые сообщества.

Измерительная система включала стандартный комплект оборудования, состоящий из инфракрасного газоанализатора и ультразвукового анемометра. Первичные данные регистрировали с частотой 20 Гц, их обработку производили в программе EddyPro (Li-Cor Inc., USA). Полученные средние значения вертикального потока CO<sub>2</sub> ( $F_{CO_2}$ ) за 30-мин период соответствовали нетто-обмену диоксида углерода ( $NEE$ ) между болотом и приземной атмосферой и представляли сумму двух разнонаправленных процессов – экосистемного дыхания ( $R_{eco}$ ) и gross-фотосинтеза ( $P_{gross}$ ). Для заполнения пробелов в измерениях вертикальных потоков CO<sub>2</sub> использовали онлайн-инструмент Университета Макса Планка (Германия, <https://www.bgc-jena.mpg.de/bgi/index.php/Services/REddyProcWeb>).

Измерения эмиссии  $\text{CH}_4$  с поверхности различных элементов микроландшафта болот проводили методом темных статических камер. Камеру объемом  $0,1 \text{ м}^3$  устанавливали на металлическое основание с гидрозатвором площадью  $0,25 \text{ м}^2$ , врезанное в торфяную залежь на  $30 \text{ см}$ . Время экспозиции камеры составляло  $10\text{--}20$  минут в зависимости от географического положения объекта и увлажнения. Камера снабжена вентилятором для равномерного перемешивания воздуха во внутреннем объеме и фитингами для подключения воздухозаборных магистральных патрубков анализатора. Концентрацию метана в камере измеряли инфракрасным анализатором GGA-30p (Los Gatos Research, США) каждую секунду в

течение экспозиции. Удельный поток (эмиссию) метана оценивали с использованием модифицированного уравнения идеального газа [Мигловец и др., 2018].

Температуру воздуха на высоте  $1,5 \text{ м}$  и торфяной залежи на глубине  $7$  и  $20 \text{ см}$  регистрировали автоматической метеостанцией (Campbell Scientific Inc., США). Мощность сезонно-талого слоя регистрировали металлическим щупом. Определение содержания влаги в торфе бугра проводили датчиками S-SMC-M005 (погрешность  $\pm 3,1 \%$ , Onset, США). Уровень болотных вод (УБВ) измеряли автономными датчиками Keller DCX-38 (Keller AG, Швейцария) и Baro/Diver (Schlumberger Water Services, Нидерланды).

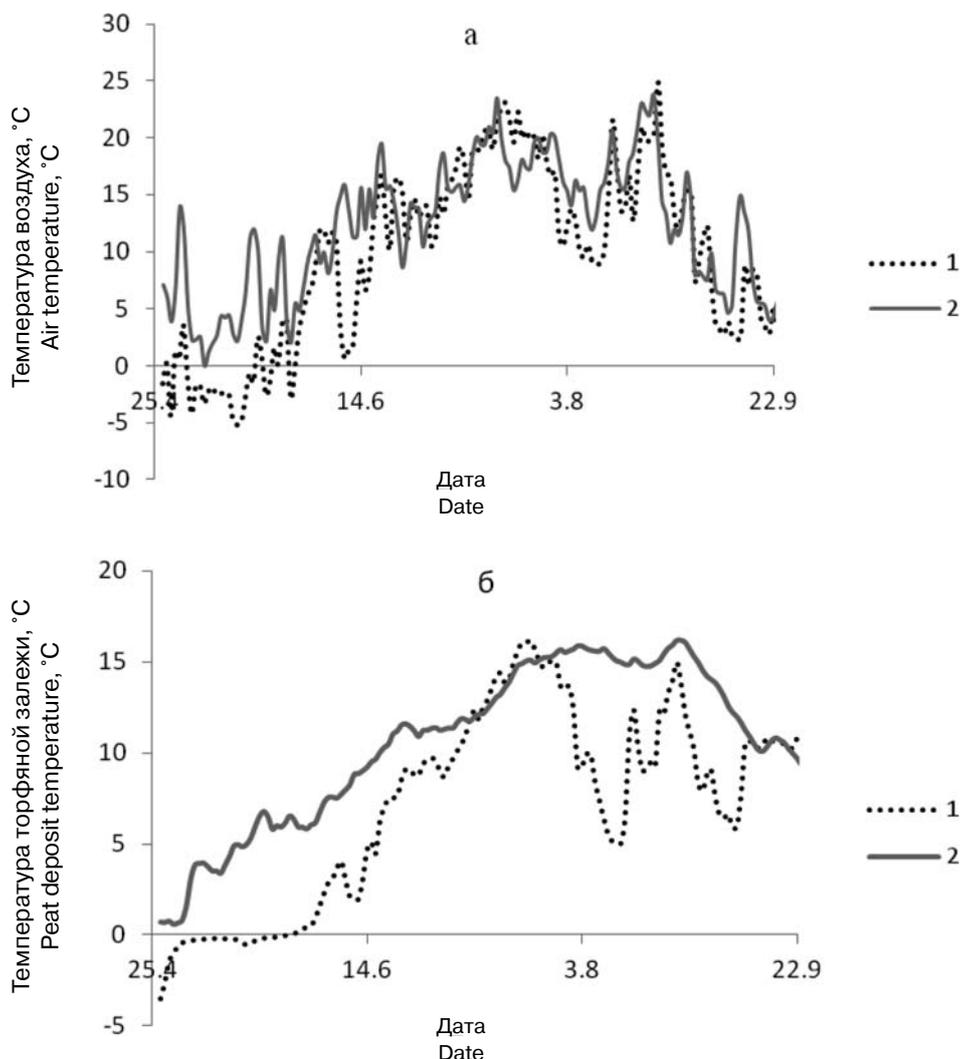


Рис. 1. Сезонный ход температуры воздуха (а) и торфяной залежи (б) на крупнобугристом (1) и мезо-олиготрофном (2) болотах

Fig. 1. Seasonal variation of air temperature (a) and peat deposit temperature (б) in the palsa mire (1) and meso-oligotrophic bog (2)

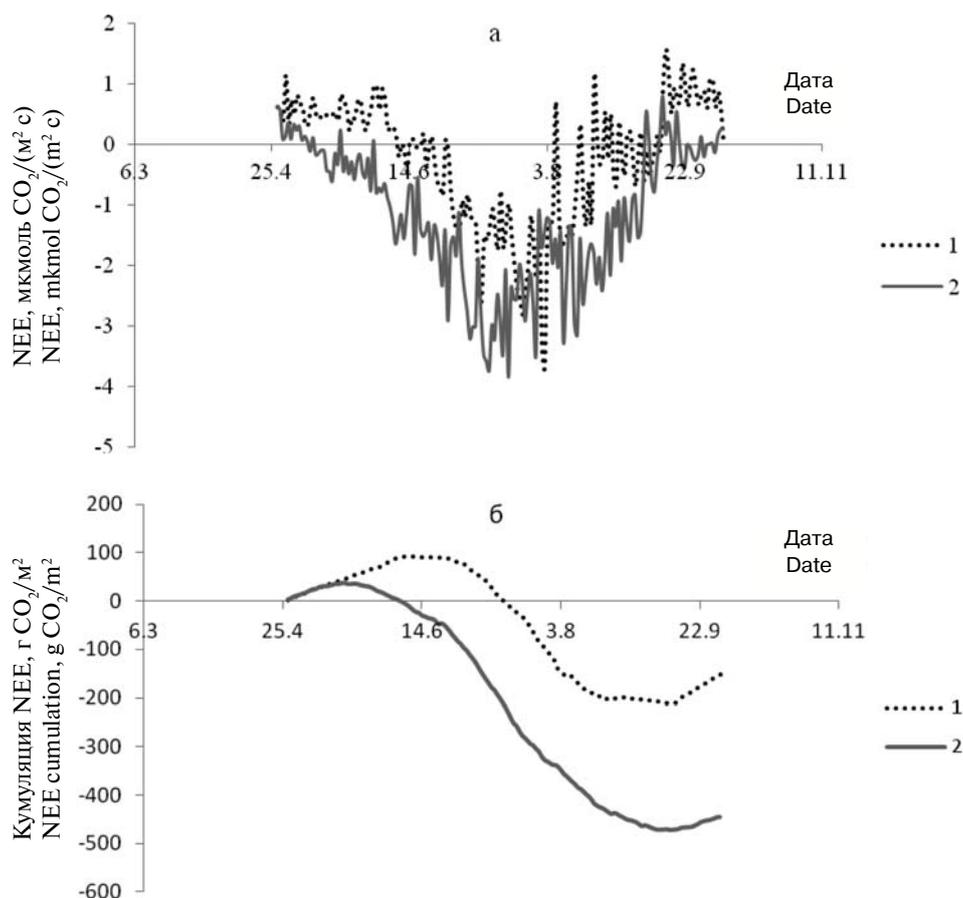


Рис. 2. Сезонный ход (а) и кумуляция (б) нетто-обмена  $\text{CO}_2$  на крупнобугристом (1) и мезо-олиготрофном (2) болотах. Знак «+» указывает на направление потока  $\text{CO}_2$  из экосистемы в атмосферу (источник), знак «-» соответствует потоку из атмосферы в экосистему (сток)

Fig. 2. Seasonal variation (a) and cumulation (б) of net  $\text{CO}_2$  exchange in the palusa mire (1) and meso-oligotrophic (2) bog. '+' – direction of  $\text{CO}_2$  flux from the ecosystem to the atmosphere (source), '-' – flux from the atmosphere to the ecosystem (sink)

## Результаты и обсуждение

Присутствие многолетней мерзлоты в почвогрунтах ограничивало экосистемный обмен парниковых газов между крупнобугристым болотом и приземной атмосферой. В среднетаежной подзоне отмечали более благоприятный температурный режим для биогеохимических процессов. Весной на крупнобугристом болоте переход температуры воздуха и верхних горизонтов почвы к положительным значениям отмечен на месяц позже, чем на мезо-олиготрофном (рис. 1, а).

По величине нетто-обмена  $\text{CO}_2$  можно судить о функции поглощения или эмиссии парникового газа в определенный момент времени и количественно оценить величину стока атмосферного углерода в экосистему. Крупнобугристое болото являлось источником диоксида

углерода до середины июля, в этот период экосистемное дыхание превалировало над фотосинтезом. С середины июля до середины сентября болото выполняло функцию стока атмосферного  $\text{CO}_2$ . На мезо-олиготрофном болоте положительный баланс нетто-обмена  $\text{CO}_2$  регистрировали с конца мая до середины сентября, во второй половине сентября экосистема переходила от стока к эмиссии диоксида углерода. В период вегетации продолжительность положительного суточного баланса нетто-обмена на мезо-олиготрофном болоте составила около 110, а на крупнобугристом – 60 дней.

Кумуляция нетто-обмена  $\text{CO}_2$  с мая по сентябрь на мезо-олиготрофном болоте составила  $-450$ , а на крупнобугристом  $-150$  г/м<sup>2</sup> (рис. 2). Полученное значение нетто-обмена на мезо-олиготрофном болоте заметно больше, чем установлено ранее на мезотрофном

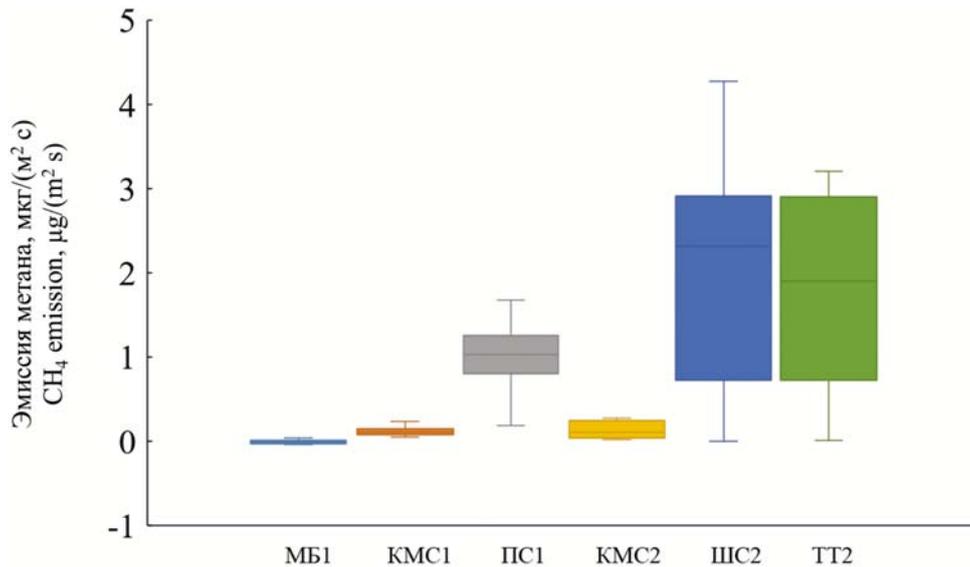


Рис. 3. Сезонная медиана эмиссии метана на крупнобугристом (1) и мезо-олиготрофном (2) болотах:

МБ – мерзлотный бугор; КМС – кустарничково-морозково-сфагновое, ПС – пушицево-сфагновое, ШС – шейхцериево-сфагновое сообщества, ТТ – травянистая эвтрофная топь. Линия соответствует медиане, основание «ящика» – 1-й квартиль, вершина – 3-й квартиль. Планками погрешности обозначены выбросы

Fig. 3. Seasonal median of methane emission in communities of the palsa mire (1) and meso-oligotrophic bog (2):

МБ – permafrost hillock, КМС – shrub-cloudberry-sphagnum community, ПС – cotton grass-sphagnum community, ШС – scheuchzeria-sphagnum community, ТТ – herbaceous eutrophic swamp. The line corresponds to the median, the bottom of the 'box' is the 1<sup>st</sup> quartile, the top is the 3<sup>rd</sup> quartile. Error bars indicate outliers

болоте Финляндии (–186...–217 г/м<sup>2</sup> [Aurela et al., 2001]), олиготрофных болотах Западной Сибири (–132,44...–133,32 г/м<sup>2</sup> [Arneeth et al., 2002]) и Канады (–87...–146 г/м<sup>2</sup> [Lafleur et al., 2001]). Суммарный нетто-обмен СО<sub>2</sub> на крупнобугристом болоте меньше значений, полученных в сообществах южной тундры (–81...–105 г/м<sup>2</sup> [Marushchak et al., 2012]).

Согласно нашим исследованиям методом микровихревых пульсаций, кумулятивный экосистемный поток метана на крупнобугристом болоте крайнесеверной тайги за сезон составлял 11,2 г/м<sup>2</sup> [Загирова и др., 2023], что в два раза меньше, чем установлено на мезо-олиготрофном болоте среднетаежной подзоны [Михайлов и др., 2015]. Полученные величины суммарного потока метана значительно превышают результаты исследований других типов болот циркумбореальной зоны. Так, на северо-востоке Канады на олиготрофном болоте за период с июня по сентябрь баланс СН<sub>4</sub> составил 4,4 г/м<sup>2</sup> [Nadeau et al., 2013], а на мезотрофном болоте с мая по сентябрь – 3,2 г/м<sup>2</sup> [Long et al., 2010]. В Финляндии на мезотрофном болоте с конца

мая по конец ноября эта величина составила 12,6 г/м<sup>2</sup> [Heyer et al., 2002].

Результаты измерений камерным методом показали, что на болотах таежной зоны травянистые мочажины (пушицево-сфагновые и шейхцериево-сфагновые сообщества) являются основным источником метана (рис. 3). Однако средняя скорость эмиссии метана с поверхности мочажин на крупнобугристом болоте в два раза ниже, чем было установлено ранее на мезо-олиготрофном [Мигловец, Лукашева, 2015; Ecosystem..., 2016].

Экосистемный поток метана на мезо-олиготрофном болоте среднетаежной подзоны, по результатам измерений пульсационным методом, зависит от температуры почвы на глубине 10–20 см и УБВ [Михайлов и др., 2015], что согласуется с результатами исследований на болотах Западной Сибири [Глаголев и др., 2010] и Финляндии [Heikkinen et al., 2002]. На крупнобугристом болоте сезонная переменность потока метана в травяно-сфагновых мочажинах обусловлена температурой и УБВ, а на торфяном бугре – мощностью сезонно-талого слоя, температурой активного слоя торфа

и его влажностью [Загирова и др., 2023]. При этом торфяные пятна мерзлого бугра характеризуются слабой эмиссией метана, а в лишайниковых и кустарничково-лишайниковых сообществах наблюдается незначительное поглощение этого газа, что, по мнению некоторых авторов, является результатом низкой продукции метана, обусловленной присутствием многолетнемерзлых пород, и высокой плотностью торфа мерзлотных бугров, препятствующей диффузии этого газа в приземные слои атмосферы [Nykänen et al., 2003].

## Выводы

В последние десятилетия изучению экосистемных функций болот уделяют большое внимание во всем мире, что связано прежде всего с их ролью в поглощении парниковых газов из атмосферы и сохранении значительных запасов углерода органического вещества в почвах. Согласно опубликованным данным, исследованные болота таежной зоны в период вегетации выполняют функцию стока диоксида углерода из приземной атмосферы в экосистему, однако различаются по скорости нетто-обмена. Суммарный нетто-обмен CO<sub>2</sub> на мезо-олиготрофном болоте среднетаежной подзоны значительно выше, чем на крупнобугристом в крайнесеверной тайге. Основным источником поступления метана в атмосферу на болотах являлись травянистые мочажины и топи, где скорость поступления метана в атмосферу зависела от температуры почвы и УБВ. На крупнобугристом болоте мощность сезонно-талого слоя, температура активного слоя торфа и его влажность определяли поступление парниковых газов в атмосферу с поверхности мерзлых бугров.

## Литература

Глаголев М. В., Сирин А. А., Лапшина Е. Д., Филиппов И. В. Изучение потоков углеродсодержащих парниковых газов в болотных экосистемах Западной Сибири // Вестник ТГПУ. 2010. Вып. 3(93). С. 120–127.

Загирова С. В., Мигловец М. Н., Якубенко С. В. Оценка потоков метана в экосистеме крупнобугристого болота подзоны крайнесеверной тайги на Европейском Северо-Востоке России (по результатам двух методов измерений) // Сибирский экологический журнал. 2023. № 2. С. 136–147. doi: 10.15372/SEJ20230203

Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Ред. Г. М. Козубов, А. И. Таскаев. М.: ДИК, 2000. 512 с.

Мигловец М. Н., Загирова С. В., Гончарова Н. Н., Михайлов О. А. Суммарная эмиссия метана на крупнобугристом болоте крайнесеверной тайги в теплый

период года // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2018. № 1. С. 34–38. doi: 10.31140/j.vestnikib.2018.1(203).10

Мигловец М. Н., Загирова С. В., Гончарова Н. Н., Михайлов О. А. Эмиссия метана с крупнобугристого болота на северо-востоке европейской части России // Метеорология и гидрология. 2021. № 1. С. 93–102.

Мигловец М. Н., Лукашева М. В. Удельные потоки метана на крупнобугристом торфянике крайнесеверной тайги // Актуальные проблемы биологии и экологии: Мат-лы докл. XXII Всерос. молодежн. науч. конф. (г. Сыктывкар, 6–10 апреля 2015 г.). Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 138–141.

Михайлов О. А., Мигловец М. Н., Загирова С. В. Вертикальные потоки метана на мезоолиготрофном болоте таежной зоны Европейского Северо-Востока России // Сибирский экологический журнал. 2015. № 3. С. 452–460. doi: 10.15372/SEJ20150312

Arneeth A., Kurbatova J., Kolle O., Shibistova O. B., Lloyd J., Vygodskaya N. N., Schulze E.-D. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability of CO<sub>2</sub> fluxes // Tellus B. 2002. Vol. 54(5). P. 514–530. doi: 10.3402/tellusb.v54i5.16684

Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. Seasonal CO<sub>2</sub> balances of a subarctic mire // J. Geophys. Res. D. 2001. Vol. 106(2). P. 1623–1637. doi: 10.1029/2000JD900481

Ecosystem of a mesooligotrophic peatland in North-Western Russia: development, structure, and function / Eds S. Zagirova, J. Shneider. Syktyvkar: Komi SC UrD RAS, 2016. 172 p.

Heikkinen J. E. P., Maljanen M., Aurela M., Hargreaves K. J., Martikainen P. J. Carbon dioxide and methane dynamics in a sub-Arctic peatland in northern Finland // Polar Research. 2002. No. 21(1). P. 49–62. doi: 10.3402/polar.v21i1.6473

Heyer J., Berger U., Kuzin I. L., Yakovlev O. N. Methane emissions from different ecosystem structures of the subarctic tundra in Western Siberia during mid-summer and during the thawing period // Tellus B. 2002. Vol. 54B. P. 231–249. doi: 10.3402/tellusb.v54i3.16663

Lafleur P. M., Roulet N. T., Admira S. W. Annual cycle of CO<sub>2</sub> exchange at a bog peatland // J. Geophys. Res. D. 2001. Vol. 106. P. 3071–3082. doi: 10.1029/2000JD900588

Long K. D., Flanagan L. B., Cai T. Diurnal and seasonal variation in methane emissions in a northern Canadian peatland measured by eddy covariance // Glob. Change Biol. 2010. No. 16. P. 2420–2435. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02083.x

Marushchak M. E., Kiepe I., Biasi C., Elsakov V., Friberg T., Johansson T., Soegaard H., Virtanen T., Martikainen P. J. Carbon dioxide balance of subarctic tundra from plot to regional scale // Biogeosci. Discuss. 2012. Vol. 9(8). P. 9945–9991. doi: 10.5194/bgd-9-9945-2012

Nadeau D. F., Rousseau A. N., Coursolle C., Margolis H. A., Parlange M. B. Summer methane fluxes from a boreal bog in northern Quebec, Canada, using eddy covariance measurements // Atmos. Environ. 2013. No. 81. P. 464–474. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.09.044

Nykänen H., Heikkinen J. E. P., Pirinen L., Tiilikainen K., Martikainen P. J. Annual CO<sub>2</sub> exchange and CH<sub>4</sub> fluxes on a subarctic peatland during climatically

different years // *Global Biogeochem. Cycles*. 2003. Vol. 17, iss. 1. 1018. doi: 10.1029/2002GB001861

## References

- Arneeth A., Kurbatova J., Kolle O., Shibistova O. B., Lloyd J., Vygodskaya N. N., Schulze E.-D. Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russian and a central Siberian bog II. Interseasonal and interannual variability of CO<sub>2</sub> fluxes. *Tellus B*. 2002;54(5):514–530. doi: 10.3402/tellusb.v54i5.16684
- Aurela M., Laurila T., Tuovinen J.-P. Seasonal CO<sub>2</sub> balances of a subarctic mire. *J. Geophys. Res. D*. 2001;106(2):1623–1637. doi: 10.1029/2000JD900481
- Glagolev M. V., Sirin A. A., Lapshina E. D., Filipov I. V. Study of fluxes of carbon-containing greenhouse gases in marsh ecosystems of Western Siberia. *Vestnik TSPU = Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2010;3(93):120–127. (In Russ.)
- Heikkinen J. E. P., Maljanen M., Aurela M., Hargreaves K. J., Martikainen P. J. Carbon dioxide and methane dynamics in a sub-Arctic peatland in northern Finland. *Polar Research*. 2002;21(1):49–62. doi: 10.3402/polar.v21i1.6473
- Heyer J., Berger U., Kuzin I. L., Yakovlev O. N. Methane emissions from different ecosystem structures of the subarctic tundra in Western Siberia during midsummer and during the thawing period. *Tellus B*. 2002;54B:231–249. doi: 10.3402/tellusb.v54i3.16663
- Kozubov G. M., Taskaev A. I. (eds). *Forestry and forest resources of the Komi Republic*. Moscow: DIK; 2000. 512 p. (In Russ.)
- Laffleur P. M., Roulet N. T., Admira S. W. Annual cycle of CO<sub>2</sub> exchange at a bog peatland. *J. Geophys. Res. D*. 2001;106:3071–3082. doi: 10.1029/2000JD900588
- Long K. D., Flanagan L. B., Cai T. Diurnal and seasonal variation in methane emissions in a northern Canadian peatland measured by eddy covariance. *Glob. Change Biol*. 2010;16:2420–2435. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02083.x
- Marushchak M. E., Kiepe I., Biasi C., Elsakov V., Friborg T., Johansson T., Soegaard H., Virtanen T., Martikainen P. J. Carbon dioxide balance of subarctic tundra from plot to regional scale. *Biogeosci. Discuss*. 2012;9(8):9945–9991. doi: 10.5194/bgd-9-9945-2012
- Miglovets M. N., Lukasheva M. V. Specific methane flows in the palsa mire in the extreme northern taiga. *Aktual'nye problemy biologii i ekologii: Mat-ly dokl. XXII Vseros. molodezhn. nauch. konf. (g. Syktyvkar, 6–10 aprelya 2015 g.) = Current problems of biology and ecology: Proceed. XXII All-Russian youth scientific conference (Syktyvkar, April 6-10, 2015)*. Syktyvkar: Komi SC UrB RAS; 2015. P. 138–141. (In Russ.)
- Miglovets M. N., Zagirova S. V., Goncharova N. N., Mikhailov O. A. Methane emission from palsa mires in Northeastern European Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2021;46(1):52–59. doi: 10.3103/S1068373921010076
- Miglovets M. N., Zagirova S. V., Goncharova N. N., Mikhailov O. A. Total methane emission at the palsa mire of extreme northern taiga in summer. *Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of RAS*. 2018;1:34–38. doi: 10.31140/j.vestnikib.2018.1(203).10 (In Russ.)
- Mikhailov O. A., Miglovets M. N., Zagirova S. V. Vertical methane fluxes in mesooligotrophic boreal peatland in European Northeast Russia. *Contemporary Problems of Ecology*. 2015;8(3):368–375. doi: 10.1134/S1995425515030099
- Nadeau D. F., Rousseau A. N., Coursolle C., Margolis H. A., Parlange M. B. Summer methane fluxes from a boreal bog in northern Quebec, Canada, using eddy covariance measurements. *Atmos. Environ*. 2013;81:464–474. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.09.044
- Nykänen H., Heikkinen J. E. P., Pirinen L., Tiilikainen K., Martikainen P. J. Annual CO<sub>2</sub> exchange and CH<sub>4</sub> fluxes on a subarctic palsa mire during climatically different years. *Global Biogeochem. Cycles*. 2003;17(1):1018. doi: 10.1029/2002GB001861
- Zagirova S. V., Miglovets M. N., Yakubenko S. V. Estimation of methane fluxes in the ecosystem of the palsa mire in the Far North taiga subzone in the European Northeast of Russia (according to the results of two measurement methods). *Contemporary Problems of Ecology*. 2023;2:136–147. doi: 10.15372/SEJ20230203 (In Russ.)
- Zagirova S., Shneider J. (eds). *Ecosystem of a mesooligotrophic peatland in Northwestern Russia: development, structure, and function*. Syktyvkar: Komi SC UrD RAS; 2016. 172 p.

Поступила в редакцию / received: 07.11.2023; принята к публикации / accepted: 04.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Загирова Светлана Витальевна

д-р биол. наук, заведующая отделом лесобиологических проблем Севера

e-mail: zagirova@ib.komisc.ru

### Мигловец Михаил Николаевич

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: miglovets@ib.komisc.ru

## CONTRIBUTORS:

### Zagirova, Svetlana

Dr. Sci. (Biol.), Head of Department of Northern Forest Biology

### Miglovets, Mikhail

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

УДК 631.445.12 : 631.421.1

## РЕЗУЛЬТАТЫ СУТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОЛИГОТРОФНОМ БОЛОТЕ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

**Е. В. Линкевич\*, Е. Н. Гуляева, В. М. Прокопюк, Л. А. Ефимова**

Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*maltseva2@gmail.com

Проведены суточные измерения потоков углекислого газа камерным методом в разных растительных сообществах олиготрофного болота в период вегетации на территории Республики Карелия. Дана оценка микроклиматических показателей объекта исследования. Установлена зависимость экосистемного дыхания ( $R_{eco}$ ) растительных сообществ, приуроченных к различным элементам микроландшафта, от интенсивности осадков, атмосферной температуры и влажности воздуха. Средняя величина  $R_{eco}$  в период с мая по сентябрь на межкочьях, покрытых *Sphagnum angustifolium*, составляла  $1,41 \pm 0,46$  гС/(м<sup>2</sup>сут), на кочках с преобладанием *Eriophorum vaginatum* –  $3,31 \pm 0,74$  гС/(м<sup>2</sup>сут).

Ключевые слова: экосистемное дыхание; диоксид углерода; суточные измерения; олиготрофное болото; микроклиматические факторы; *Sphagnum angustifolium*; *Eriophorum vaginatum*

Для цитирования: Линкевич Е. В., Гуляева Е. Н., Прокопюк В. М., Ефимова Л. А. Результаты суточных измерений потоков углекислого газа на олиготрофном болоте Южной Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 13–19. doi: 10.17076/eco1840

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0018).

## **E. V. Linkevich\*, E. N. Gulyaeva, V. M. Prokopyuk, L. A. Efimova. RESULTS OF DAILY MEASUREMENTS OF CARBON DIOXIDE FLUXES IN AN OLIGOTROPHIC BOG IN SOUTHERN KARELIA**

Department for Multidisciplinary Research, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*maltseva2@gmail.com

Daily measurements of carbon dioxide fluxes were carried out by the chamber method in different plant communities of an oligotrophic bog in the Republic of Karelia during the growing season. The microclimatic variables of the study area were assessed.

The dependence of the ecosystem respiration ( $R_{\text{eco}}$ ) of plant communities occupying different microtopographic features on precipitation intensity, air temperature and humidity was determined. The average values of  $R_{\text{eco}}$  in the period from May to September in *Sphagnum angustifolium*-covered spaces between hummocks and on *Eriophorum vaginatum*-dominated hummocks were  $1.41 \pm 0.46$  gC/(m<sup>2</sup>day) and  $3.31 \pm 0.74$  gC/(m<sup>2</sup>day), respectively.

**Keywords:** ecosystem respiration; carbon dioxide; daily measurements; oligotrophic bog; microclimatic factors; *Sphagnum angustifolium*; *Eriophorum vaginatum*

**For citation:** Linkevich E. V., Gulyaeva E. N., Prokopyuk V. M., Efimova L. A. Results of daily measurements of carbon dioxide fluxes in an oligotrophic bog in southern Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 13–19. doi: 10.17076/eco1840

**Funding.** The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN-2022-0018).

## Введение

Республика Карелия является одним из наиболее заболоченных регионов на территории России, в котором болота занимают 3,63 млн га (более 27 % от всей территории республики) [Елина и др., 1984]. Высокая обводненность естественных болот является причиной медленного разложения растений и накопления углерода. Однако изменения климата могут оказать существенное влияние на характер выбросов углерода в атмосферу в виде парниковых газов [Montzka et al., 2011].

В связи с особенностями химического строения молекул углекислого газа, воды, метана, закиси азота происходит задержка поступающей солнечной радиации на поверхность атмосферы Земли, что признается многими авторами как причина роста среднесуточной температуры [Шрайбер, 2013].

Потоки парниковых газов имеют биотические и абиотические предпосылки. Исследования этих потоков в различных работах проводятся на основании наиболее распространенных методов – камерного метода и с помощью пульсационной аппаратуры [Алферов и др., 2017; Кривенок и др., 2019]. Результаты последнего интерпретируются на основании скорости и направления ветра. Также важными будут считаться показатели ряда абиотических факторов, которые часто используются для физико-химической характеристики объекта исследования: температура, влажность, давление, высота установки датчика [Чистотин и др., 2006; Дюкарев, 2015]. Применение метода закрытых камер имеет ряд преимуществ, поскольку оценка вклада гетеротрофного дыхания в суммарный поток CO<sub>2</sub> основывается на параметрах состояния поверхности почвы, в первую очередь ее температурного режима.

Также относительная влажность воздуха может существенно отличаться от влажности на поверхности почвы. На изменение такого показателя оказывают влияние количество осадков, температура, дневное освещение, а также скорость ветра.

Доминирующим потоком на естественных объектах являются пары углекислого газа и воды. Для оценки потоков необходимы знания суточных измерений, что позволит охарактеризовать процессы фотосинтеза и дыхания растений, долю корневого и гетеротрофного дыхания. Однако ранее суточные измерения экосистемного дыхания на болотах в Карелии не проводились.

Целью данной работы стала оценка суточной динамики экосистемного дыхания в разных растительных сообществах на естественном олиготрофном болоте в зависимости от ряда абиотических факторов за вегетационный период.

## Материалы и методы

Объектом исследования являлось олиготрофное болото Близкое в государственном природном заповеднике «Кивач» (62°26'83"N, 33°99'45"E), расположенное на высоте 38 м над уровнем моря. Согласно климатической классификации Кеппена – Гейгера [Kottek et al., 2006] район исследования относится к зоне субарктического континентального климата (Dfc) и характеризуется коротким прохладным летом и длинной теплой зимой. Модельный участок болота представлен сосново-кустарничково-пушицево-сфагновым сообществом.

Физико-химический анализ торфа и болотных вод проводили на отобранных образцах в начале вегетационного периода согласно ГОСТ 11305-2013, ГОСТ 11306-2013 и ГОСТ 10650-2013. Гуминовые кислоты выделяли

методом щелочной экстракции с предварительным декальцинированием торфяных образцов. Запасы углерода и азота в верхних слоях торфяника определяли на элементном анализаторе CN 802 (VELP Scientific, Италия) на базе лаборатории мониторинга парниковых газов ОКНИ КарНЦ РАН с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.

Измерение экосистемного дыхания проводили с помощью автоматических камер, подключенных к портативному газоанализатору с инфракрасным датчиком SF-9000 (LICA, Китай). Регистрация концентрации диоксида углерода в приземном слое выполнялась в течение суток с одновременным использованием четырех камер один раз в месяц в период с мая по сентябрь 2023 г. Измерительное кольцо устанавливалось за сутки до начала измерения потоков на глубину 2–3 см торфяной залежи с неповрежденным растительным покровом на два различных участка болота с мощностью торфяной залежи 1,5 м. Уровень болотных вод (УБВ) варьировался за весь вегетационный период в диапазоне от –25 до –10 см. Экосистемное дыхание измеряли в растительных сообществах, приуроченных к различным элементам микроландшафта: межкочья, покрытые сплошным ковром *Sphagnum angustifolium* (Russow) С. Е. О. Jensen, и кочки, образованные *Eriophorum vaginatum* L. и *Sphagnum angustifolium*. В отдельном варианте полевые эксперименты по определению потоков диоксида углерода проводили без учета наземных частей растений, которые предварительно удаляли. Одновременно газоанализатором регистрировались объемная влажность торфяной залежи ( $W_{об}$ , %), давление воздуха в камере

( $P_{атм.кам}$ , Па), температура торфяной залежи в камере, которая определялась по датчику, установленному внутри камеры ( $T_{кам}$ , °С).

Микроклиматические факторы, влияющие на формирование потоков  $CO_2$ , оценивались переносной метеостанцией SOKOL M1 (ГК «Эскаорт», Россия) на высоте 1,5 м. В данной работе рассматривались следующие измерительные параметры станции: температура атмосферного воздуха ( $T_{атм}$ , °С), атмосферное давление (P, Па), относительная влажность воздуха ( $W_{отн}$ , %), количество осадков (мм). Средняя температура воздуха рассчитывалась как средняя величина за период измерения экосистемного дыхания в течение суток ( $T_{ср.атм}$ , °С).

## Результаты и обсуждение

По данным метеостанции г. Кондопога (27 км от объекта исследований), вегетационный период 2023 года был теплым и влажным. За период измерений  $R_{eco}$  с мая по сентябрь 2023 г. выпало 361 мм осадков при среднемноголетних значениях 354 мм. Средняя температура воздуха в период с мая по сентябрь составила 14,4 °С, что на 0,7 °С выше средней многолетней температуры за последние 20 лет (<http://www.pogodaiklimat.ru>, номер метеостанции 22727). В дни измерений  $R_{eco}$  средняя температура воздуха превышала среднемноголетние значения, за исключением июля, который был на 4,7 °С холоднее климатической нормы (табл.). Количество осадков было ниже климатической нормы в мае–июле и сентябре. Август характеризовался избыточным увлажнением, количество осадков в 1,5 раза превышало среднемноголетние значения (табл.).

Средняя температура атмосферного воздуха, количество осадков и относительная влажность воздуха во время регистрации  $R_{eco}$  парниковых газов на болоте Ближкое

Average atmospheric temperature, precipitation and relative air humidity during the registration of green house gas emissions in the Blizkoe peatland

	$T_{ср.атм}$ , °С / отклонение от нормы, °С $T_{ав.атм}$ , °С / deviation, °С	$\Delta T$ , °С	Кол-во осадков, мм / отклонение от нормы, % Precipitation, mm / deviation, %	Кол-во осадков между измерениями, мм Precipitation between the registration periods, mm	Относительная влажность воздуха / отклонение от нормы, % Relative air humidity / deviation, %
22–23 мая May 22–23	17,4/+6,9	23,6	0,3/10	24,5	79/+9
13–14 июня June 13–14	18,8/+4,9	19,3	1,2/50	32,1	48/–21
10–11 июля July 10–11	12,4/–4,7	20,3	3,5/63	37,1	67/–11
15–16 августа August 15–16	19,5/+4,4	17,2	9,8/162	190,6	82/–1
22–23 сентября September 22–23	16,2/+7,4	6,9	4,3/84	52,7	88/0

На рис. 1 приведены совмещенные данные газоанализатора и метеостанции по температуре в камере ( $T_{\text{кам}}$ ) и окружающем воздухе ( $T_{\text{атм}}$ ), а также объемной влажности торфяной залежи ( $W_{\text{об}}$ ) и относительной влажности воздуха ( $W_{\text{отн}}$ ). По данным рисунка, фиксируемые величины  $T_{\text{атм}}$  и  $T_{\text{кам}}$  практически совпадают (рис. 1). Однако проводимые измерения с мая по август демонстрируют высокую температурную амплитуду ( $\Delta T$ , °C) – от 23,6 (май) до 17,2 (август). При этом  $T_{\text{атм}}$  обратно коррелирует с относительной влажностью воздуха (рис. 1). Величина  $W_{\text{отн}}$  увеличивается в ночное время и достигает 95 %. В июне наблюдается уменьшение диапазона с максимальной влажностью с 02.00 до 05.00. С июля по сентябрь в период суточных измерений продолжительность

сохранения максимальной влажности (93–95 %) в ночное время выше. Такая динамика влажности атмосферного воздуха на болоте связана с наиболее высокой освещенностью в июне в течение суток в период белых ночей, характерных для Карелии (рис. 1). Наибольшая средняя величина  $W_{\text{отн}}$  зафиксирована в августе и сентябре (82 и 88 % соответственно), что обусловлено возрастанием количества осадков, выпавших за сутки и за период между измерениями экосистемного дыхания, а также уменьшением  $\Delta T$  до 7 °C в сентябре.

Контрастность микроклиматических условий в вегетационный период отразилась на почвенных показателях исследованного болота. Объемная влажность торфяной залежи определялась при величине не более 80 %.

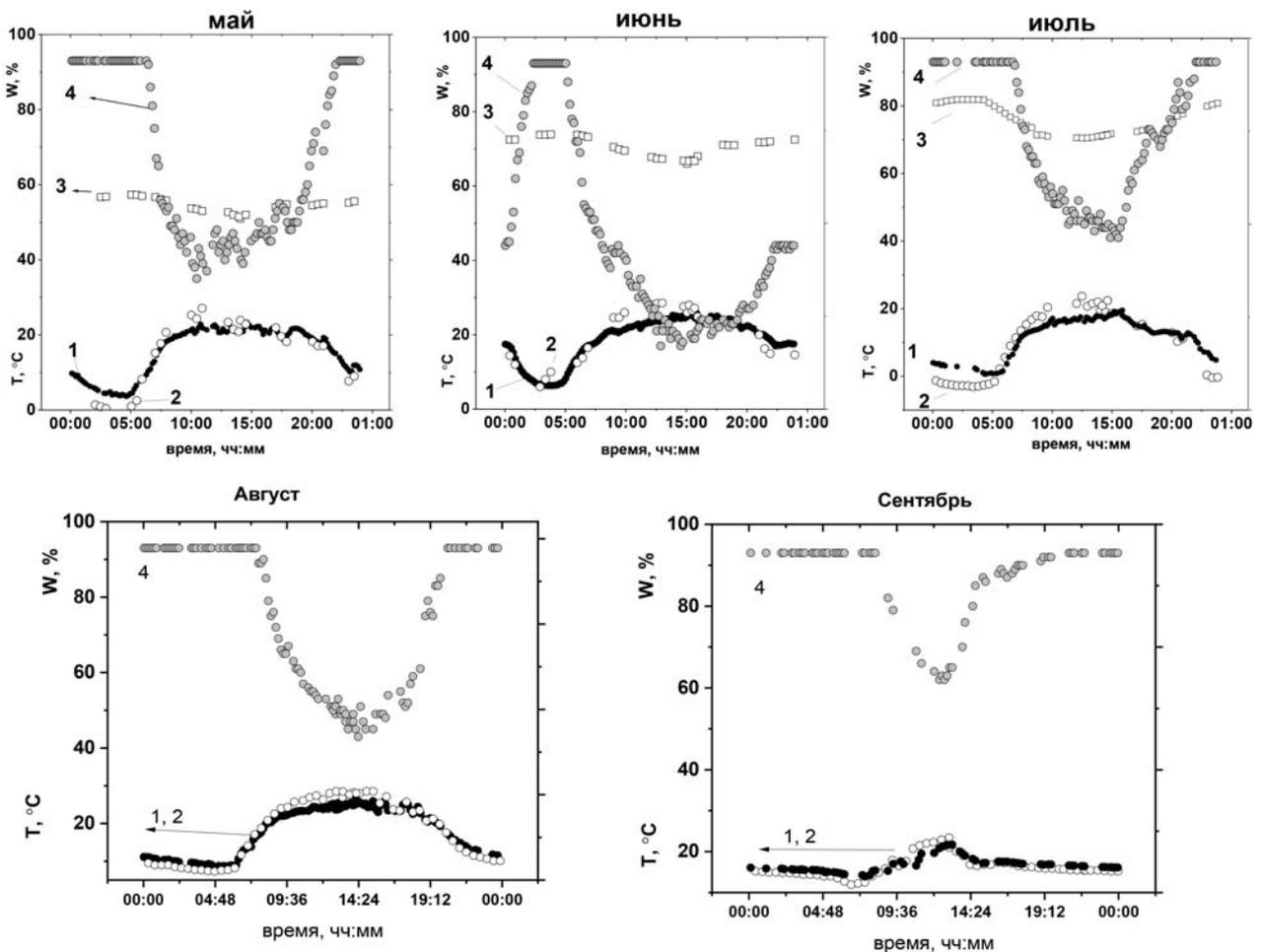


Рис. 1. Сравнение микроклиматических параметров метеостанции и измерительной камеры во время проведения суточных измерений экосистемного дыхания: 1 – температура атмосферного воздуха, °C; 2 – температура торфяной залежи в измерительной камере, °C; 3 – объемная влажность торфяной залежи, %; 4 – атмосферная влажность, %

Fig. 1. Comparison of microclimatic parameters of the atmospheric air and the measuring chamber during daily measurements of ecosystem respiration: 1 – atmospheric air temperature, °C; 2 – temperature of the peat deposit in the measuring chamber, °C; 3 – volumetric humidity of the peat deposit, %; 4 – atmospheric humidity, %

В умеренно увлажненные периоды с мая по июль наблюдался рост средней величины  $W_{об}$ :  $54,5 < 70,4 < 76,3$  %. Также был зафиксирован низкий уровень болотных вод. С увеличением количества осадков с августа по сентябрь  $W_{об}$  камеры составила 100 % и значительно возрос уровень болотных вод.

Поверхность болота характеризуется низкой степенью разложения ( $13 \pm 2$  %) и количеством зольных элементов (3,5 %), а также высокой влажностью ( $91 \pm 1,5$  %), что позволяет отнести верхние горизонты к верховому типу торфа. Преобладание в растительном сообществе сфагновых мхов является причиной высокой кислотности (рН 4,1) и окислительно-восстановительного потенциала (Еh 395 мВ). Полученные результаты указывают на высокое содержание анионных форм в болотных водах в начале вегетационного периода. Содержание углерода поверхностного слоя торфяной залежи соответствует 42 %. Невысокое содержание гуминовых веществ (10,2 %) и соотношение С/Н (23,3) указывают на преобладание неразложившихся или слабо разложившихся растительных остатков, что также подтверждает отнесение верхних слоев торфяной залежи к верховому типу.

Исследование динамики выделения  $CO_2$  с поверхности выбранных участков болота позволило выявить схожий суточный ход эмиссии (рис. 2, А). В среднем наибольший рост эмиссии приходится на дневные часы с 9.00 до

16.00 с максимальной величиной в диапазоне с 12.00 до 13.00. Также отмечается возрастание потоков в вечернее время в диапазоне с 18.00 до 22.00. Наибольшие различия в суточном ходе по месяцам наблюдаются в дневное время, тогда как в ночные и утренние часы значения эмиссии имеют близкие величины. Амплитуда эмиссии в течение суток может быть обусловлена различиями метеорологических параметров, автотрофного и гетеротрофного дыхания, а также физико-химическими процессами, протекающими в торфяной залежи.

В мае скорость выделения  $CO_2$  с поверхности межкочья (*Sphagnum angustifolium*) достигает  $1,65$  гС/(м<sup>2</sup>сут), а с кочки, образованной *Eriophorum vaginatum*, –  $2,6$  гС/(м<sup>2</sup>сут). В июне экосистемное дыхание имеет максимальные значения с поверхности межкочья ( $1,9$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), что связано с жарким периодом и низким количеством осадков. В июле после обильных дождей и понижения температуры возможно возрастание растворимости  $CO_2$  в болотных водах, что может объяснять снижение  $R_{эко}$  с поверхности сфагнума на межкочье. Максимальный поток над растениями пушицы приходится на июль и составляет  $4,1$  гС/(м<sup>2</sup>сут), несмотря на низкую величину  $T_{атм}$ . В августе потоки диоксида углерода над изученными растительными сообществами снижаются, что обусловлено проливными дождями (межкочье –  $1,12$  гС/(м<sup>2</sup>сут), кочка –  $3,9$  гС/(м<sup>2</sup>сут)).

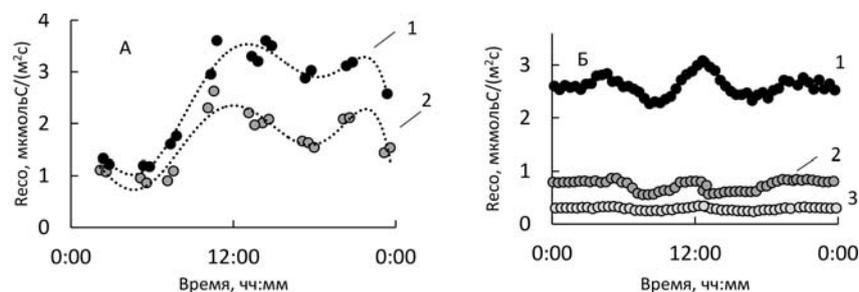


Рис. 2. Суточная динамика экосистемного (1, 2) и почвенного (3) дыхания на олиготрофном болоте:

А – в мае: 1 – кочка, образованная *Eriophorum vaginatum* ( $2,6$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 2 – межкочье со *Sphagnum angustifolium* ( $1,65$  гС/(м<sup>2</sup>сут)); Б – в сентябре: 1 – кочка, образованная *Eriophorum vaginatum* ( $2,7$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 2 – межкочье со *Sphagnum angustifolium*, единично *Andromeda polifolia* L., мощность 1,5 м ( $0,76$  гС/(м<sup>2</sup>сут)), 3 – торфяная залежь без фитомассы мха и сосудистых растений ( $0,3$  гС/(м<sup>2</sup>сут))

Fig. 2. Diurnal dynamics of ecosystem (1, 2) and soil (3) respiration in an oligotrophic bog:

А – in May: 1 – *Eriophorum vaginatum* hummock ( $2.6$  gC/(m<sup>2</sup>d)), 2 – space between hummocks with *Sphagnum angustifolium* ( $1.65$  gC/(m<sup>2</sup>d)); Б – in September: 1 – *Eriophorum vaginatum* hummock ( $2.7$ gC/(m<sup>2</sup>d)); 2 – space between hummocks with *Sphagnum angustifolium*, singly *Andromeda polifolia* L., the peat deposit thickness is 1.5 m ( $0.76$  gC/(m<sup>2</sup>d)), 3 – peat deposit without phytomass of moss and vascular plants ( $0.3$  gC/(m<sup>2</sup>d))

На рис. 2 (Б) приведены суточные измерения экосистемного дыхания, полученные на конец вегетационного периода в сентябре. Скорость выделения  $\text{CO}_2$  и амплитуда суточного хода достигли минимальных значений над растениями обоих видов. В последний месяц вегетации наибольшая эмиссия наблюдалась над растениями *Eriophorum vaginatum* ( $2,7 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{сут})$ ), что может быть связано с мощной корневой системой данного растения и увеличенной долей ризосферных микроорганизмов.

Измерения потоков в сентябре на межкочье показали существенное снижение  $\text{CO}_2$  по сравнению с маем (рис. 2, Б). Пик, приходящийся на период интенсивного дыхания в дневные часы, также сохранялся над растениями обоих видов. В случае измерений на участке без фитомассы характерные диапазоны роста эмиссии не обнаруживаются, это может быть связано со снижением микробиологической активности при низкой  $T_{\text{атм}}$ . При этом среднесуточные значения  $R_{\text{эко}}$  минимальны и составляют  $0,3 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{сут})$ . Данная величина соответствует сумме корневого и гетеротрофного дыхания и составляет 40 % от общего экосистемного дыхания.

Таким образом, максимальная величина  $R_{\text{эко}}$  для растительных сообществ, приуроченных к различным элементам микроландшафта на болоте Близкое, приходится на разные временные промежутки и существенно зависит от микроклиматических факторов. При этом нужно отметить, что увеличение осадков практически не оказало особого влияния на экосистемное дыхание с поверхности кочек, образованных *Eriophorum vaginatum*.

## Заключение

Измерения потоков  $\text{CO}_2$  на олиготрофном естественном болоте выявили суточные вариации за вегетационный период 2023 г. Схожие результаты температуры измерительных камер и атмосферного воздуха метеостанции указывают на близость температурной зависимости верхних слоев болота с атмосферным воздухом на расстоянии 1,5 м от его поверхности. Исследованные растительные сообщества, приуроченные к определенным формам микрорельефа, характеризовались различной интенсивностью  $R_{\text{эко}}$ . При этом наибольшая суточная величина экосистемного дыхания зафиксирована над растениями *Eriophorum vaginatum* в июле и составила  $4,1 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{сут})$ . В случае *Sphagnum angustifolium* максимальный поток  $\text{CO}_2$  наблюдался в июне, что соответствовало  $1,9 \text{ гС}/(\text{м}^2 \text{сут})$ . Возрастание количества осадков в июле–сентябре и снижение

среднесуточной температуры оказало существенное влияние на снижение экосистемного дыхания над растениями *Sphagnum angustifolium*. Полученные данные  $R_{\text{эко}}$  на участке с предварительно удаленным слоем фитомассы показали, что суммарное корневое и гетеротрофное дыхание составляет 40 % от общего экосистемного дыхания с поверхности болота. Полученные впервые результаты о характере экосистемного дыхания на олиготрофном болоте при дальнейшем сборе данных позволят дать оценку динамики экосистемного дыхания болот на территории Карелии, учитывая особенности климата и разнообразия растительных сообществ.

Авторы выражают благодарность руководству заповедника «Кивач» за предоставленную возможность проведения исследований.

## Литература

Алферов А. М., Блинов В. Г., Гитарский М. Л., Грабар В. А., Замолодчиков Д. Г., Зинченко А. В., Иванова Н. П., Ивахов В. М., Карабань Р. Т., Карелин Д. В., Калюжный И. Л., Кашин Ф. В., Конюшков Д. Е., Коротков В. Н., Кровотынцев В. А., Лавров С. А., Марунич А. С., Парамонова Н. Н., Романовская А. А., Юзбеков А. К., Трунов А. А., Шилкин А. В. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.

Дюкарев Е. А. Моделирование потоков углекислого газа в мезо-олиготрофной топяной болотной экосистеме // Математическое моделирование в экологии. ЭкоМатМод-2015: Мат-лы Четвертой нац. науч. конф. (18–22 мая 2015 г.). Пущино, 2015. С. 65.

Елина Г. А., Кузнецов С. Д., Максимов А. И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.

Кривенок Л. А., Суворов Г. Г., Авилов В. К., Сирин А. А. Измерение потоков  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  методом турбулентных пульсаций: использование мобильной установки и учет изменяющейся зоны охвата // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32, № 11. С. 942–950. doi: 10.15372/AOO20191111

Чистотин М. В., Сирин А. А., Дулов Л. Е. Сезонная динамика эмиссии углекислого газа и метана при осушении болота в Московской области для добычи торфа и сельскохозяйственного использования // Агрехимия. 2006. № 6. С. 54–62.

Шрайбер В. М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // Биосфера. 2013. Т. 5, № 1. С. 37–46.

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. 2006. Vol. 15, no. 3. P. 259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130

Montzka S. A., Dlugokencky E. J., Butler J. H. Non- $\text{CO}_2$  greenhouse gases and climate change // Nature. 2011. Vol. 476, no. 7358. P. 43–50. doi: 10.1038/nature10322

## References

Alferov A. M., Blinov V. G., Gitarskii M. L., Grabar V. A., Zamolodchikov D. G., Zinchenko A. V., Ivanova N. P., Ivakhov V. M., Karaban' R. T., Karelin D. V., Kalyuzhnyi I. L., Kashin F. V., Konyushkov D. E., Korotkov V. N., Krovotyntsev V. A., Lavrov S. A., Marunich A. S., Paramonova N. N., Romanovskaya A. A., Yuzbekov A. K., Trunov A. A., Shilkin A. V. Monitoring of greenhouse gas fluxes in natural ecosystems. Saratov: Amirit; 2017. 279 p. (In Russ.)

Chistotin M. V., Sirin A. A., Dulov L. E. Seasonal dynamics of carbon dioxide and methane emission from a peatland in the Moscow Region drained for peat extraction and agricultural use. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2006;6:54–62. (In Russ.)

Dyukarev E. A. Modeling of carbon dioxide fluxes in the meso-oligotrophic topiary bog ecosystem. *Matematicheskoe modelirovanie v ekologii. EcoMatMod-2015: Mat-ly Chetvertoi nats. nauch. konf. (18–22 maya 2015 g.) = Mathematical modeling in ecology. EcoMatMod-2015: Proceedings of the Fourth*

*national scientific conf. (May 18–22, 2015)*. Pushchino; 2015. P. 65. (In Russ.)

Elina G. A., Kuznetsov S. D., Maksimov A. I. Structural and functional organization and dynamics of bog ecosystems of Karelia. Leningrad: Nauka; 1984. 128 p. (In Russ.)

Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 2006;15(3):259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130

Krivenok L. A., Suvorov G. G., Avilov V. K., Sirin A. A. Eddy covariance measurement of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and H<sub>2</sub>O fluxes: Use of a mobile tower and taking into account the changing fetch. *Optika atmosfery i okeana = Atmospheric and Oceanic Optics*. 2019;32(11):942–950. doi: 10.15372/AOO20191111 (In Russ.)

Montzka S. A., Dlugokencky E. J., Butler J. H. Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases and climate change. *Nature*. 2011;476(7358):43–50. doi: 10.1038/nature10322

Shrayber V. M. On the history of studying the greenhouse effect of the Earth's atmosphere. *Biosfera = Biosphere*. 2013;5(1):37–46. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 06.11.2023; принята к публикации / accepted: 04.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Линкевич Елизавета Владимировна

канд. хим. наук., старший научный сотрудник

e-mail: maltseva2@gmail.com

### Гуляева Елена Николаевна

канд. биол. наук, научный сотрудник

e-mail: gln7408@gmail.com

### Прокопюк Виктория Михайловна

младший научный сотрудник, аспирант

e-mail: vi\_kaaa@mail.ru

### Ефимова Любовь Александровна

младший научный сотрудник

e-mail: ms.la.95@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### Linkevich, Elizaveta

Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher

### Gulyaeva, Elena

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

### Prokopyuk, Viktoria

Junior Researcher, Doctoral Student

### Efimova, Lyubov

Junior Researcher

УДК 57.015.6

## ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖАХ ВОДОРАЗДЕЛЬНЫХ БОЛОТ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

О. А. Леонова\*, Е. М. Волкова

Тульский государственный университет (просп. Ленина, 92, Тула, Россия, 300012),  
\*ya.oly2012@yandex.ru

Водораздельные болота на Среднерусской возвышенности встречаются нечасто, их роль в аккумуляции углерода изучена слабо, что не позволяет в полной мере оценить вклад этих экосистем в углеродный обмен с атмосферой. В статье обсуждаются результаты определения запасов углерода в торфяных залежах водораздельных болот, образованных в депрессиях карстового происхождения и имеющих различный генезис на северо-востоке Среднерусской возвышенности. Для расчета запасов углерода проведен отбор торфяных образцов с изучением их ботанического состава и физико-химических параметров. В образцах торфа определены объемный вес, зольность, содержание карбонатов и массовая доля углерода, на основании чего было рассчитано содержание органического углерода. Данный показатель имеет максимальное значение в древесно-сфагновых переходных (54,3 %), древесных (45 %) и травяно-сфагновых (43,3 %) низинных торфах. Расчет запасов углерода в торфах показал, что наиболее высокие значения свойственны травяно-сфагновому переходному торфу (456,4 кгС/м<sup>2</sup>). Послойное накопление торфяных отложений обеспечивает формирование общего запаса углерода на единице площади болот. Оценка общих запасов углерода свидетельствует о том, что продолжительность развития и условия обводнения болот, влияющие на формирование структуры торфяной залежи и интенсивность вертикального прироста торфа, способствуют максимальному накоплению углерода в смешанной торфяной залежи олиготрофного болота, возникшего в бореальный период голоцена (2909 кгС/м<sup>2</sup>). В болотах с разорванной или сплавинной залежами, развитие которых началось в субатлантический период, запасы углерода существенно ниже, несмотря на увеличение мощности торфяных отложений (1224–1385 кгС/м<sup>2</sup>). Полученные результаты отражают вклад разных типов водораздельных болот в депонирование углерода в торфяных залежах.

Ключевые слова: водораздельное болото; торфяная залежь; содержание и запас углерода; Среднерусская возвышенность

Для цитирования: Леонова О. А., Волкова Е. М. Запасы углерода в торфяных залежах водораздельных болот на северо-востоке Среднерусской возвышенности // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 20–27. doi: 10.17076/eco1845

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 23-24-10054 «Оценка роли разных типов болот Среднерусской возвышенности в углеродном обмене с атмосферой как основа для создания карбонового полигона (на примере Тульской области)» и соглашения с комитетом Тульской области по науке и инноватике №10 от 11.04.2023 г.

# O. A. Leonova\*, E. M. Volkova. CARBON RESERVES IN PEAT DEPOSITS OF WATERSHED MIRES IN THE NORTH-EAST OF THE MIDDLE-RUSSIAN UPLAND

Tula State University (92 Lenin Ave., 300012 Tula, Russia), \*ya.oly2012@yandex.ru

Watershed mires are infrequent on the Middle-Russian Upland and their role in carbon sequestration is poorly known, preventing a comprehensive assessment of the contribution of these ecosystems to carbon exchange with the atmosphere. The article discusses the results of determining the carbon reserves in peat deposits of watershed mires formed in depressions of karst origin and having different genesis in the north-east of the Middle-Russian Upland. To calculate the carbon reserves, peat samples were collected and their botanical composition and physico-chemical parameters were studied. The bulk density, ash content, carbonate content and mass fraction of carbon in the peat samples were determined, from which the organic carbon content was calculated. This value was the highest in woody-Sphagnum mesotrophic (54.3 %), woody (45 %), and herb-Sphagnum (43.3 %) eutrophic peat. The calculation of carbon reserves in peat shows that the highest values are characteristic of herb-Sphagnum mesotrophic peat (456.4 kgC/m<sup>2</sup>). Layer-by-layer accumulation of peat deposits ensures the formation of a total carbon pool per unit area of mires. The estimation of total carbon reserves indicates that the duration of mire development and the wetness conditions, which influence the structure of the forming peat deposit and the rate of vertical peat increment, have facilitated the highest carbon accumulation in the mixed peat deposit of an oligotrophic mire that emerged in the Boreal period of the Holocene (2909 kgC/m<sup>2</sup>). In mires with a discontinuous or floating deposit, which started developing in the sub-Atlantic period, carbon reserves are significantly lower, despite the build-up of the peat deposit thickness (1224–1385 kgC/m<sup>2</sup>). Our results reflect the contributions of different types of watershed mires to carbon deposition in peat deposits.

**Keywords:** watershed mire; peat deposit; carbon content and reserves; Middle-Russian Upland

**For citation:** Leonova O. A., Volkova E. M. Carbon reserves in peat deposits of watershed mires in the north-east of the Middle-Russian Upland. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 20–27. doi: 10.17076/eco1845

**Funding.** The study was supported by RSF grant #23-24-10054 “Assessment of the role of different types of mires of the Middle-Russian Upland in carbon exchange with the atmosphere as a basis for the establishment of a carbon testing ground (Tula Region case study)” and under Agreement with the Tula Regional Committee on Science and Innovation Studies #10 of 11.04.2023.

## Введение

Болотные экосистемы играют важную роль в биогеохимическом круговороте, что проявляется в депонировании углерода из атмосферы в органическом веществе болотных фитocenozов с последующей его аккумуляцией в торфяных отложениях [Holmquist et al., 2014]. Аккумуляция углерода как в растительности, так и в торфяных залежах разных типов болот происходит с разной интенсивностью, что зависит от комплекса экологических параметров. Итоговым показателем является запас углерода в торфяных залежах [Залесов, 2021]. Оценка запасов углерода в разных типах болотных экосистем весьма актуальна, поскольку позволяет понять роль этих экосистем в депонировании углерода.

Несмотря на низкую заболоченность Среднерусской возвышенности (0,5 %), на данной

территории сформированы болота разных типов, в частности водораздельные сфагновые, которые имеют небольшие (до 1 га) площади [Волкова, Зацаринная, 2023]. Они отличаются по комплексу параметров, что оказывает влияние на интенсивность депонирования углерода и его запасы в торфяных залежах. Однако сведения о запасах углерода в болотах региона крайне малочисленны, что не позволяет оценить роль болот Среднерусской возвышенности в углеродном обмене с атмосферой.

## Материалы и методы

Исследования проводили в северо-восточной части Среднерусской возвышенности. Объектами являлись водораздельные болота, сформированные в депрессиях карстово-суффозионного происхождения и имеющие разный генезис (рис. 1).



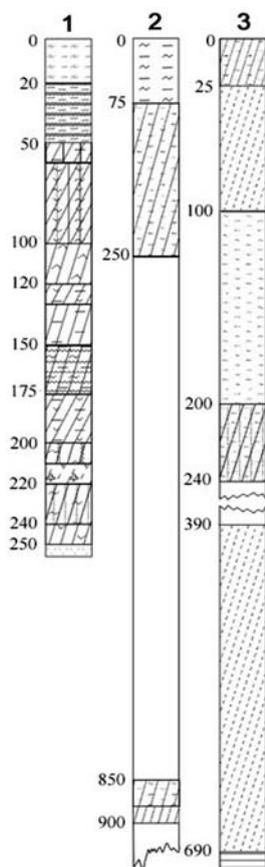
Рис. 1. Объекты исследования

Fig. 1. Objects of research

Болото Клюквя, являющееся наиболее древним (более 9 тыс. лет), сформировано на склоне водораздела в депрессии карстово-суффозионного происхождения глубиной 2,5 метра,

которая подстилается песками [Волкова и др., 2020]. Питание болота осуществляется преимущественно атмосферными осадками и бедными грунтовыми водами, что способствует формированию олиготрофной растительности [Волкова и др., 2017]. Торфяная залежь целостная, без разрывов. В составе залежи представлены переходные и верховые виды торфа (рис. 2) [Волкова, 2018].

Болота Главное и Кочаки сформированы в карстово-суффозионных депрессиях глубиной 6 и более метров, которые подстилаются озерными глинами или делювиальными суглинками. Питание выклинивающимися грунтовыми водами и стекающими поверхностными водами, реже атмосферными осадками обеспечивает формирование эвтрофной растительности по окрайкам, мезо- и олиготрофной растительности в центральных частях сплавин. Торфяные залежи редко целостные (по окрайкам), чаще – разорванные или сплавинные. В составе залежей представлены низинные и переходные виды торфа (рис. 2) [Волкова, 2018].

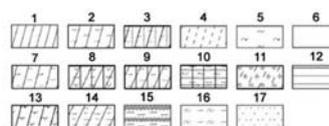


Условные обозначения:

- 1 – болото Клюквя,
- 2 – болото Главное,
- 3 – болото Кочаки

Legend:

- 1 – Klyukva mire,
- 2 – Glavnoye mire,
- 3 – Kochaki mire



**Виды торфа. Низинные:** 1 – осоковый, 2 – осоково-сфагновый, 3 – травяно-сфагновый, 4 – гипновый, 5 – сфагновый, 11 – травяно-гипновый, 13 – травяной.

**Переходные:** 7 – осоково-сфагновый, 8 – древесно-травяной, 9 – древесно-сфагновый, 10 – древесно-пушицево-сфагновый, 14 – травяно-сфагновый.

**Верховые:** 15 – пушицево-сфагновый, 16 – сфагновый.

**Минеральные отложения:** 6 – вода, 12 – глинистые и суглинистые, 17 – песчаные.

**Peat. Eutrophic:** 1 – sedge, 2 – sedge-sphagnum, 3 – grass-sphagnum, 4 – bog, 5 – sphagnum, 11 – grass-bog, 13 – grass.

**Mesotrophic:** 7 – sedge-sphagnum, 8 – wood-grass, 9 – wood-sphagnum, 10 – wood-cotton grass-sphagnum, 14 – grass-sphagnum.

**Oligotrophic:** 15 – cotton grass-sphagnum, 16 – sphagnum.

**Mineral deposits:** 6 – water, 12 – clayey and loamy, 17 – sandy.

Рис. 2. Стратиграфические колонки торфяных отложений исследуемых болот

Fig. 2. Stratigraphic columns of peat deposits of the studied mires

Для отбора образцов проводили бурение торфяных залежей буром конструкции Инстторфа до минерального дна в наиболее глубокой части болот, являющейся «генетическим центром». Образцы торфа (каждые 10 см) отбирали по профилям залежей, пакетировали и хранили в холодильнике. Для каждого образца определен объемный вес. Для оценки содержания органического вещества в каждом образце определяли зольность и содержание карбонатов гравиметрическим методом [ГОСТ 34467-2018]. Долю органического вещества для каждого образца торфа (%) рассчитывали как:  $100\% - \text{зольность} (\%) - \text{карбонатный углерод (неорганический)} (\%)$ . Определение содержания углерода (%) в образцах проводили, зная содержание органического вещества в единице объема торфа, а также массовую долю углерода, полученную с использованием CHNSO-анализатора LECO TruSpecMicro в Институте органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН. Запас углерода в каждом 10-см слое торфяной залежи рассчитывали исходя из произведения содержания углерода (%) и объемного веса торфа. Полученное значение умножали на мощность торфяного слоя (10 см). Послойное суммирование запасов углерода каждого 10-см слоя торфяной залежи позволило определить запас углерода на 1 м<sup>2</sup> каждого болота.

## Результаты и обсуждение

Водораздельные болота северо-востока Среднерусской возвышенности разнообразны по генезису, что отражается на характере растительности и структуре торфяных отложений. Проведенные исследования показали, что в торфяных залежах углерод накапливался с разной интенсивностью.

Болото Клюква характеризуется торфяной залежью мощностью 250 см, которая образована верховыми и переходными торфами со степенью разложения от 5 до 35 %. Результаты анализа торфов показали, что их объемный вес варьирует от 0,14 до 0,53 г/см<sup>3</sup> и в среднем составляет 0,26 г/см<sup>3</sup> (рис. 3). Наиболее высокие значения характерны для торфов, в составе которых доминируют древесные остатки, залегающие на глубине 90–120 см и имеющие степень разложения 25–30 %. Содержание зольных элементов варьирует от 3 до 14,3 % (в среднем 7,6 %), что объясняется доминированием низкозольных сфагновых мхов по всему профилю торфяной залежи. Наиболее высокие показатели характерны для глубины 170–200 см, где отмечено увеличение доли трав, что

соответствует травяно-сфагновому переходному торфу (рис. 2). Доля карбонатного (неорганического) углерода достигает 26 % в придонных образцах, снижаясь до 2,9 % в сфагновом переходном торфе. На основании рассмотренных показателей рассчитано содержание органического вещества (ОВ) в каждом образце торфа. Полученное значение составляет в среднем 82,3 % (варьирует в диапазоне от 60 до 93,9 %) (рис. 3). Параметр является обратно пропорциональным к показателям зольности. Так, наиболее низкие значения в придонных слоях (60–67 %) обусловлены высоким содержанием зольных элементов (13,8 %). Максимальная доля ОВ характерна для древесно-сфагнового переходного торфа.

Болота Главное и Кочки сформировались в субатлантический период голоцена в глубоких карстово-суффозионных депрессиях. Такие болота характеризуются обильным увлажнением и формированием разорванных/сплавинных торфяных залежей. Торфяная залежь болота Главное образована двумя различными по генезису частями, что отражается на составе и мощности торфяной залежи, а также на характере растительного покрова. Так, окраинная часть имеет целостную торфяную залежь мощностью до 450–500 см, образованную низинными торфами со степенью разложения до 45 %. Объемный вес торфяных образцов варьирует от 0,01 до 0,54 г/см<sup>3</sup>, максимальные значения характерны для древесно-травяного низинного торфа. Показатель зольности в среднем составляет 25 % (от 5,6 до 97,2 %). Доля карбонатного углерода варьирует от 3,4 до 22,8 %, наиболее высокие показатели характерны для сфагнового низинного торфа. Содержание органического вещества по профилю торфяной залежи составляет в среднем 65,9 % (14,4–90,1 %) (рис. 3), увеличиваясь в травяно-сфагновом низинном торфе. Центральная часть болота Главное представлена сплавинной мощностью 200 см, которая образована переходными торфами (степень разложения 5–23 %). По сравнению с окраинной частью объемный вес торфяных образцов центральной части ниже и в среднем составляет 0,26 г/см<sup>3</sup> (рис. 3), что коррелирует с низкой степенью разложения торфов. Показатель зольности достигает 50 %, а доля карбонатного углерода не превышает 17 %. Расчет доли органического вещества показал, что параметр в целом изменяется незначительно и в среднем составляет 74,1 % (32,8–92,5 %) (рис. 3). Снижение показателя отмечено на глубине 120–130 см в сфагновом переходном торфе с высоким содержанием зольных элементов.

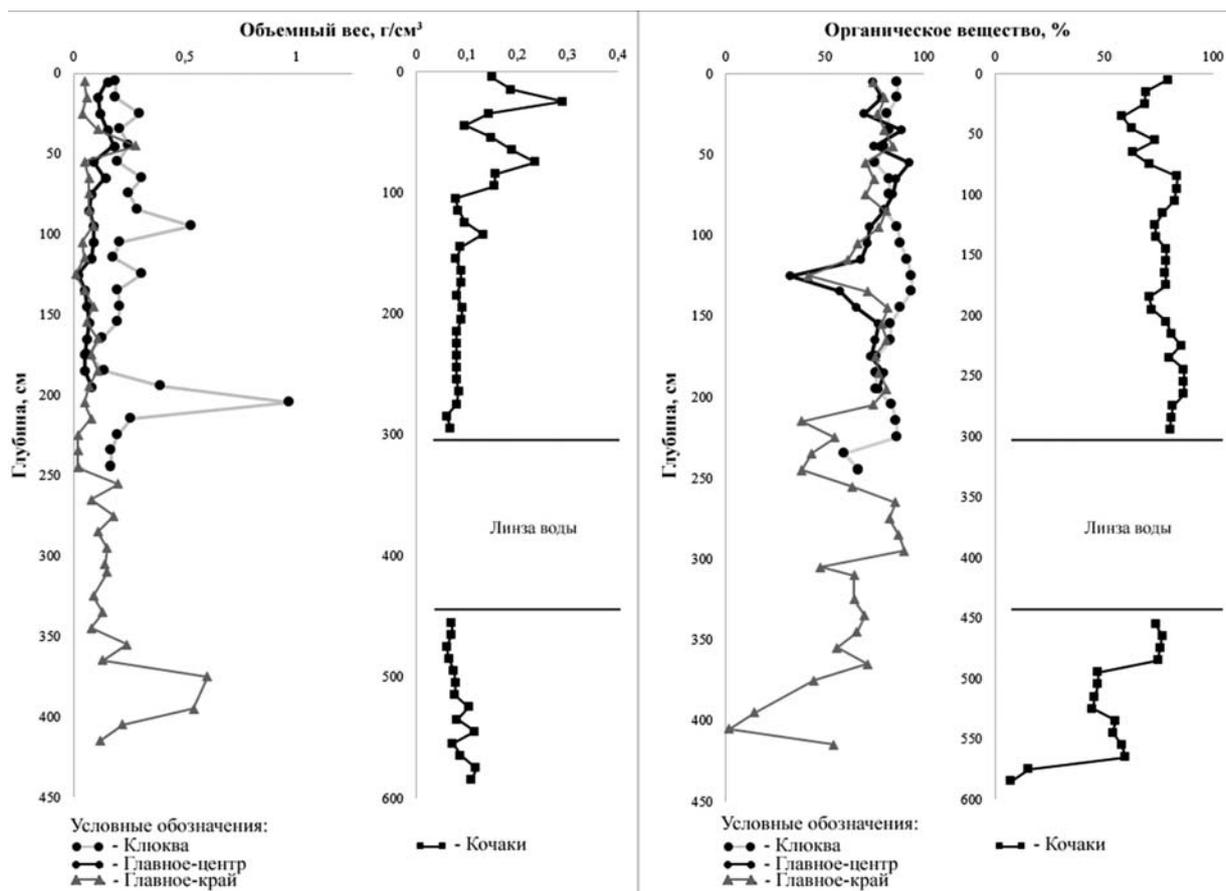


Рис. 3. Объемный вес и содержание органического вещества по профилям торфяных залежей модельных болот

Fig. 3. Volume weight and organic matter content by the profiles of peat deposits of model mires

Болото Кочаки имеет разорванную торфяную залежь, которая состоит из придонной и сплавинной части, разделенных линзой воды. По ботаническому составу залежь образована низинными торфами за исключением верхнего слоя сплавинны, где произошел переход к мезо- и олиготрофной стадиям развития. Объемный вес торфов варьирует от 0,06 до 0,3 г/см<sup>3</sup> (рис. 3), наиболее низкие значения характерны для травяного низинного торфа на глубине 280–290 см. Зольность торфа в придонной части достигает 70 %, что связано с привнесом глинистых частиц с минерального дна болота. Наиболее низкие значения параметра также характерны для нижней сильно обводненной части сплавинны (4,5–6 %). Доля карбонатного углерода не превышает 21 %. Расчет доли органического вещества показал, что параметр варьирует от 7,3 до 86,6 % (рис. 3). Высокое содержание органики в нижней части сплавинны (80,3–86,6 %) коррелирует с низкой долей зольных элементов.

Полученные результаты по физико-химическим показателям торфов на исследуемых болотах позволили рассчитать содержание ор-

ганического вещества в торфяных образцах. Результаты показали, что содержание углерода в образцах торфа на болоте Клюква варьирует от 33,6 до 54,3 % (рис. 4). При этом наиболее низкие значения характерны для верховых торфов, в составе которых высока доля сфагновых мхов с минимальными значениями объемного веса. Показатель увеличивается в торфах с высокой долей древесных остатков (на глубине 130–140 см), где достигает 54,3 %.

Содержание углерода в окраинной и сплавинной части болота Главное несколько отличается. Так, в окраинной части, сформированной низинными торфами, показатель в среднем составляет 31,5 % (варьирует от 7 до 45 %) и увеличивается в торфах, содержащих древесные остатки (рис. 4). В центральной части, образованной переходными сфагновыми торфами, содержание углерода в среднем составляет 34,7 %. Содержание углерода по профилю торфяной залежи болота Кочаки варьирует существенно – от 3,8 до 43,3 % (рис. 4). Минимальные значения отмечены в придонных слоях – 14,5 %. В сплавинной части содержание

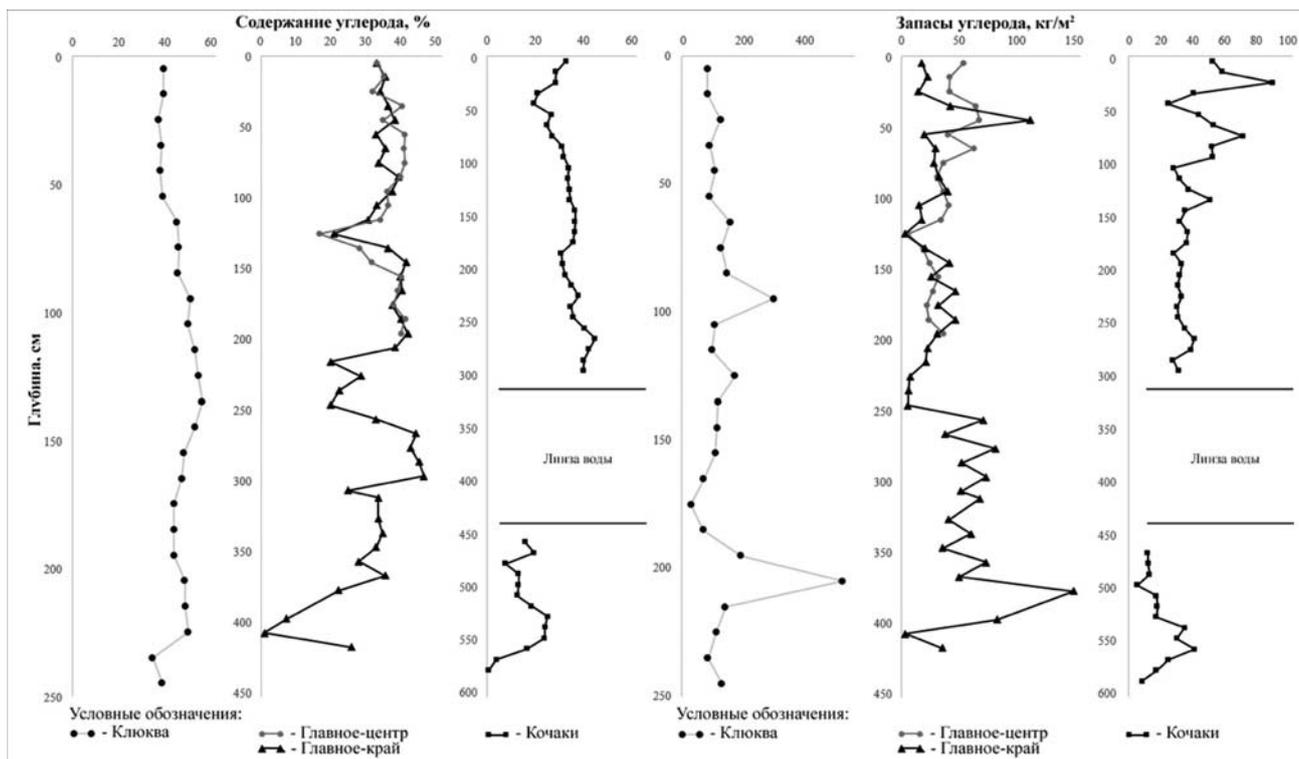


Рис. 4. Содержание и запасы углерода по профилям торфяных залежей модельных болот  
 Fig. 4. Carbon content and reserves by the profiles of peat deposits of model mires

углерода увеличивается до 43,3 % в травяно-сфагновом низинном торфе.

На основании данных по содержанию углерода определены его запасы в торфяных отложениях болот. Оценка запасов углерода в залежи болота Клюква показала, что значения варьируют от 57 до 456,4 кгС/м<sup>2</sup> (рис. 5). Наиболее высокие характерны для травяно-сфагнового переходного торфа, который имеет максимальные показатели объемного веса (0,53–0,9 г/см<sup>3</sup>) и низкие показатели зольности (4–6 %) (рис. 3). Минимальные запасы углерода отмечены на глубине 170–180 см, что коррелирует с наиболее высокими показателями зольности (14,3 %) в торфяной залежи и, напротив, низкими показателями объемного веса (0,06 г/см<sup>3</sup>).

Запасы углерода на окраинной части болота Главное изменяются в широких пределах и в среднем составляют 33,8 кгС/м<sup>2</sup> (2–128,3 кгС/м<sup>2</sup>) (рис. 5). Максимальные значения отмечены на глубине 370–380 см (128,3 кгС/м<sup>2</sup>), где в составе низинного торфа увеличивается доля древесных остатков, что коррелирует с высоким объемным весом – 0,6 г/см<sup>3</sup> (рис. 3). Сходные значения отмечены для сфагнового низинного торфа на глубине 40–50 см – 103,6 кгС/м<sup>2</sup> (объемный вес – 0,3 г/см<sup>3</sup>). При снижении объемного веса торфов до 0,02 г/см<sup>3</sup> и соот-

ветствующего увеличения показателей зольности (до 50 %) происходит снижение запасов углерода до 2–5 кгС/м<sup>2</sup>.

Запасы углерода в сплавине центральной части болота Главное варьируют от 13,5 до 61,7 кгС/м<sup>2</sup> (рис. 4). При этом максимальные значения характерны для глубины 0–70 см (35–61,7 кгС/м<sup>2</sup>), в остальных слоях показатель снижается и составляет в среднем 25,5 кгС/м<sup>2</sup>,

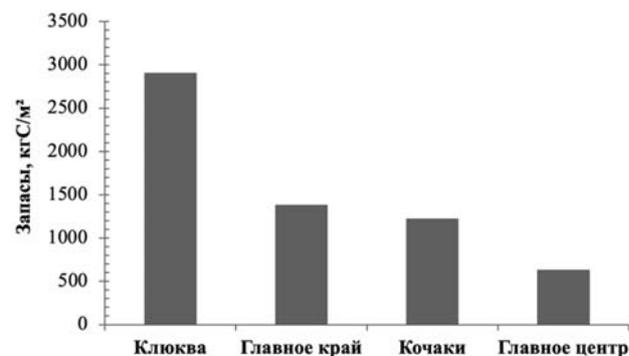


Рис. 5. Общие запасы углерода на 1 м<sup>2</sup> водораздельных болот Среднерусской возвышенности  
 Fig. 5. Total carbon reserves per 1 m<sup>2</sup> of watershed mires of the Middle-Russian Upland

что коррелирует с показателями зольности и объемного веса (рис. 3).

В разорванной торфяной залежи болота Кочаки запасы углерода изменяются в пределах от 4,5 до 80 кгС/м<sup>2</sup> (рис. 4). В придонных образцах показатели наиболее низкие, что коррелирует с высоким содержанием зольных элементов (78 %). На глубине 450–470 см торф имеет низкий объемный вес, что отражается на запасах углерода – 10–11 кгС/м<sup>2</sup>. Максимальные значения характерны для травяно-сфагнового торфа сплавинной части болота (глубина 20–30 и 70–80 см) – 62–80 кгС/м<sup>2</sup> при объемном весе образцов 0,24–0,3 г/см<sup>3</sup>.

Общий запас углерода в торфяных залежах отражает специфику болотных экосистем и их роль в аккумуляции атмосферного углерода. Так, наиболее высокие запасы углерода характерны для болота Ключка и составляют 2909 кгС/м<sup>2</sup> (рис. 5). Для торфяной залежи болота Кочаки и окраинной части болота Главное запас существенно ниже – 1224 и 1385 кгС/м<sup>2</sup> соответственно. В сплавинной части болота Кочаки запас углерода составляет 1057 кгС/м<sup>2</sup>, а придонная часть имеет запас всего 168 кгС/м<sup>2</sup>. Центральная часть болота Главное является наиболее молодой, и общий запас углерода в сплавине не превышает 634 кгС/м<sup>2</sup>. Полученные значения соответствуют опубликованным в литературе [Holmquist et al., 2014; Hribljan, 2015; Залесов, 2021].

## Заключение

Проведенные исследования отражают различия по запасам углерода в торфах с разными биологическими и физико-химическими свойствами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что углерод активно накапливается в древесно-травяных низинных и травяно-сфагновых переходных торфах.

Общий запас углерода в торфяной залежи на единице площади зависит от мощности отложений торфа, продолжительности развития болота, а также экологических условий (прежде всего обводненности), обеспечивающих интенсивность вертикального прироста торфов. Высокие значения общего запаса углерода на олиготрофном болоте Ключка, формирование которого началось в бореальный период голоцена, связаны с длительным временем аккумуляции углерода из атмосферы. На болотах Кочаки и Главное запас углерода существенно ниже, что обусловлено «молодостью» болот, сформированных в субатлантический период голоцена. Кроме того, для указанных болот характерна высокая обводненность

торфяных залежей, что обеспечило интенсивный вертикальный прирост и формирование торфов с низкой степенью разложения.

Таким образом, запас углерода в торфяных залежах водораздельных болот зависит от комплекса факторов, среди которых определяющую роль играют условия водно-минерального питания. Проведенное исследование свидетельствует о важной роли водораздельных болот в углеродном обмене с атмосферой, что следует учитывать при разработке направлений менеджмента болотных экосистем, особенно в регионах с низкой заболоченностью.

## Литература

Волкова Е. М. Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2018. 46 с.

Волкова Е. М., Зацаринная Д. В. Типология и распространение болот на Среднерусской возвышенности // Разнообразие растительного мира. 2023. № 3(18). С. 30–43. doi: 10.22281/2686-9713-2023-3-30-43

Волкова Е. М., Новенко Е. Ю., Носова М. Б., Зацаринная Д. В. Динамика развития водораздельных болот на южной границе леса в Европейской России // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 2017. Т. 122, № 1. С. 47–59.

Волкова Е. М., Новенко Е. Ю., Юрковская Т. К. Возраст болот Среднерусской возвышенности // Известия РАН. Сер. геогр. 2020. № 84(4). С. 551–561. doi: 10.31857/S2587556620040135

ГОСТ 34467-2018. Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов.

Залесов С. В. Роль болот в депонировании углерода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7. С. 6–9. doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033

Holmquist J. R., MacDonald G. M., Gallego-Sala A. Peatland initiation, carbon accumulation, and 2 ka depth in the James Bay Lowland and adjacent regions // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2014. Vol. 46. P. 19–39. doi: 10.1657/1938-4246-46.1.19

Hribljan J. A., Cooper D. J., Sueltenfuss J., Wolf E. C., Heckman K. A., Lilleskov E. A., Chimner R. A. Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia // Mires and Peat. 2015. Vol. 15(12). P. 1–14.

## References

ГОСТ 34467-2018. Soils. Laboratory methods for determination of calcium carbonate content. (In Russ.)

Holmquist J. R., MacDonald G. M., Gallego-Sala A. Peatland initiation, carbon accumulation, and 2 ka depth in the James Bay Lowland and adjacent regions. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2014;46:19–39. doi: 10.1657/1938-4246-46.1.19

Hribljan J. A., Cooper D. J., Sueltenfuss J., Wolf E. C., Heckman K. A., Lilleskov E. A., Chimner R. A. Carbon storage and long-term rate of accumulation in high-altitude Andean peatlands of Bolivia. *Mires and Peat*. 2015;15(12):1–14.

Volkova E. M. Mires of the Middle-Russian Upland: genesis, structural and functional features and environmental significance: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. St. Petersburg; 2018. 46 p. (In Russ.)

Volkova E. M., Novenko E. Yu., Nosova M. B., Zatsarinnaya D. V. Dynamics of the development of watershed mires on the southern border of the forest in European Russia. *Byulleten' MOIP = Bull.*

*Moscow Soc. Nat. Biol. Ser.* 2017;122(1):47–59. (In Russ.)

Volkova E. M., Novenko E. Yu., Yurkovskaya T. K. The age of the mires of the Middle-Russian Upland. *Izvestiya RAN. Ser. Geogr.* 2020;84(4):551–561. doi: 10.31857/S2587556620040135 (In Russ.)

Volkova E. M., Zatsarinnaya D. V. Typology and distribution of mires on the Middle-Russian Upland. *Diversity of the Plant World*. 2023;3(18):30–43. doi: 10.22281/2686-9713-2023-3-30-43 (In Russ.)

Zalesov S.V. The role of mires in carbon deposition. *International Research Journal*. 2021;7:6–9. doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.033 (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 10.11.2023; принята к публикации / accepted: 27.11.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Леонова Ольга Андреевна**

аспирант

*e-mail: ya.oly2012@yandex.ru*

**Волкова Елена Михайловна**

д-р биол. наук, доцент, заведующая кафедрой биологии

*e-mail: convallaria@mail.ru*

### **CONTRIBUTORS:**

**Leonova, Olga**

Doctoral Student

**Volkova, Elena**

Dr. Sci (Biol.), Associate Professor, Head of Biology Department

УДК 581.9 : 069.157 (285.33) (470.22)

## ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПОЛЕВОЙ ЭКСКУРСИИ «ЭВТРОФНЫЕ БОЛОТА ОКРЕСТНОСТЕЙ ДЕРЕВНИ КОЛАТСЕЛЬГА» (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)

О. Л. Кузнецов\*, П. А. Игнашов, М. А. Бойчук, А. И. Максимов

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*kuznetsov@krc.karelia.ru

В окрестностях деревни Колатсельга распространены эвтрофные травяные и травяно-гипновые болота, которые находятся в естественном состоянии. Богатство минерального питания этих болот обусловлено их залеганием на карбонатных породах (доломитах), что обуславливает высокое разнообразие их флоры и растительности. В составе флоры представлены четыре вида, занесенные в Красную книгу РФ (*Cyripedium calceolus*, *Dactylorhiza traunsteineri*, *Myrica gale*, *Rhynchospora fusca*), а также несколько видов, охраняемых в Карелии. Ряд ассоциаций, встречающихся на этих болотах, также являются редкими в Восточной Фенноскандии и находятся здесь у границ ареалов. Участники экскурсий знакомятся с растительностью четырех болотных массивов, состав их флоры и описания наиболее характерных ассоциаций приводятся в приложениях. Представлена также стратиграфия и динамика растительности трех массивов в голоцене.

Ключевые слова: болото; флора; растительность; стратиграфия; динамика

Для цитирования: Кузнецов О. Л., Игнашов П. А., Бойчук М. А., Максимов А. И. Путеводитель полевой экскурсии «Эвтрофные болота окрестностей деревни Колатсельга» (Южная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 28–40. doi: 10.17076/eco1846

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт биологии КарНЦ РАН).

## O. L. Kuznetsov\*, P. A. Ignashov, M. A. Boichuk, A. I. Maksimov. FIELD EXCURSION GUIDE TO EUTROPHIC FENS IN VILLAGE KOLATSELGA AREA (SOUTHERN KARELIA)

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*kuznetsov@krc.karelia.ru

The area around Village Kolatselga is rich in eutrophic herbaceous and herb-brown-moss fens in natural state. The mineral nutrition richness of these fens is due to the underlying carbonaceous rock (dolomites) and generates a high diversity of the flora and vegetation. The flora comprises four species listed in the Red Data Book of the Russian Federation

(*Cypripedium calceolus*, *Dactylorhiza traunsteineri*, *Myrica gale*, *Rhynchospora fusca*) and a number of species red-listed in Karelia. Some of the associations found in these fens are also rare in eastern Fennoscandia and this area lies at the limit of their distribution range. Participants of the excursions will learn about the vegetation of four mire massifs; the composition of their flora and descriptions of their most typical associations can be found in appendices. Another aspect covered is the stratigraphy and vegetation dynamics during the Holocene in three mire massifs.

**Keywords:** mire; flora; vegetation; stratigraphy; dynamics

**For citation:** Kuznetsov O. L., Ignashov P. A., Boichuk M. A., Maksimov A. I. Field excursion guide to eutrophic fens in Village Kolatselga area (Southern Karelia). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 28–40. doi: 10.17076/eco1846

**Funding.** The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRS RAS (Institute of Biology KarRC RAS).

### **Характеристика деревни Колатсельга и болот в ее окрестностях**

Колатсельга – небольшая карельская деревня, расположенная на северном берегу озера Тулмозеро примерно на половине дороги из Петрозаводска в Сортавалу (рис. 1). Ее название происходит от названия реки Колланйоки («рыбная река»). Через деревню проходит автодорога А121, здесь есть магазин и кафе. Основным источником доходов в деревне было сельское и лесное хозяйство. Хвойные леса в окрестностях активно рубились на протяжении нескольких столетий, сейчас преобладают производные леса, среди них много лиственных. В прошлом здесь имело место и горное производство. На западном берегу реки Колланйоки в трех километрах к северу от деревни находился металлургический завод, на котором переплавляли гематит из нескольких рудников. После войны завод был в руинах, сейчас является объектом промышленного туризма на Голубой дороге [Карелия..., 2022].

Коренные породы на этой территории представлены протерозойскими доломитами, зеленокаменными породами и диабазами, которые местами выходят на поверхность.

По геоботаническому районированию России эта территория входит в подзону средней тайги, а по скандинавскому фитогеографическому районированию относится к южнобореальной зоне [Ahti et al., 1968]. По флористическому районированию Карелии [Раменская, 1983] она находится в Олонецком районе – районе с высоким разнообразием сосудистых растений и мхов. В окрестностях Колатсельги нами выявлено более 400 видов сосудистых растений (данные А. В. Кравченко и О. Л. Кузнецова) и более 200 видов мхов (данные А. И. Максимова). Рельеф в окрестностях Колатсельги холмисто-

грядовый (высоты от 77 до 133 м над ур. моря) с моренным покровом различной мощности. Многочисленные депрессии заняты озерами и болотами. Благодаря наличию карбонатных пород ключевые и грунтовые воды, поступающие на болота, имеют высокий pH. Заболоченность территории около 20 %, здесь преобладают эвтрофные болотные массивы травяно-гипнового и древесно-травяно-мохового типов, имеются участки богатых заболоченных лесов. Болота маленькие – от 1–2 до 20–30 га.

Большая группа таких болот (более 30) детально исследована финскими ботаниками К. Й. Лоунамаа и Х. Варисом летом 1942 года, и их результаты позднее были опубликованы [Lounamaa, 1961] (рис. 1). Монография содержит краткую характеристику каждого из исследованных болот, список флоры сосудистых растений и мхов, выявленных на них, а также таблицы геоботанических описаний многих сообществ, в том числе редких для региона. К. Лоунамаа отмечает богатство флоры этой территории, на исследованных болотах и сырых лугах он выявил 218 видов сосудистых растений (из них 151 характерны для болот), 46 видов мхов. Ряд видов находятся здесь у границ ареалов (*Bistorta major*, *Ligularia sibirica*, *Saussurea alpina*). Многие болота использовались для сенокоса или выпаса скота, и таким образом, в 1942 году они были в основном открытыми. Несколько болот к западу от деревни осушены под сельское хозяйство в послевоенные годы, массивы к северу и востоку от Колатсельги находятся в естественном состоянии или слабо трансформированы.

Новые исследования этих болот проведены нами в 2001–2015 годах совместно с финскими коллегами. Повторно обследовано большинство сохранившихся болот, описанных Лоунамаа. Выявлены некоторые изменения их флоры и растительности за последние 60–70 лет

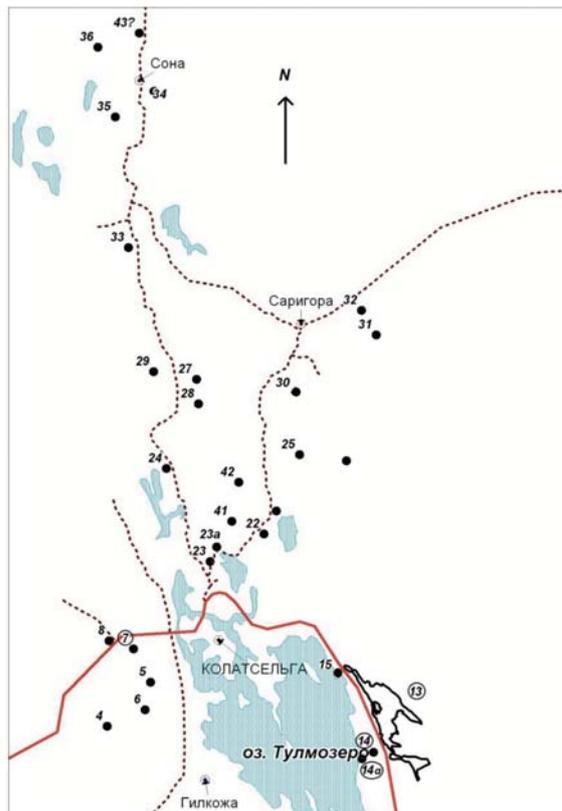


Рис. 1. Местоположение Колатсельги (слева) и болот, исследованных К. Й. Лоунамаа и Х. Варисом (4–36) в 1942 году (справа). Болота 41–43 исследованы нами после 2000 года. Номера объектов экскурсий показаны в кружках

Fig. 1. Location of the village of Kolatselga (left) and the mires studied by K. J. Lounamaa and H. Waris (4–36) in 1942 (right). Mires 41–43 have been studied by the authors after 2000. The numbers of the excursion objects are given in circles

[Heikkilä et al., 2008; Кузнецов, Грабовик, 2010; Lindholm et al., 2018]. Мы также исследовали ряд других болот этого района, изучили стратиграфию некоторых массивов.

Исследования показали высокую стабильность флоры и растительности эвтрофных болот, но из-за прекращения выкашивания и выпаса скота многие болота по сравнению с 1940-ми годами зарастают деревьями. Находки большинства видов, сделанные Лоунамаа в 1940-х годах на определенных болотах, подтверждены современными данными, как и стабильность структуры многих сообществ. Найдено несколько новых видов, не выявленных Лоунамаа (*Carex omskiana*, *C. rhynchophysa*, *C. vesicaria*, *Juncus stygius*, *Lycopus europaeus*, *Myrica gale*, *Rhynchospora fusca*, *Stellaria palustris*), некоторые из них – на болотах, которые он не посещал. В настоящее время на болотах в окрестностях Колатсельги выявлено 180 видов сосудистых растений (более половины флоры болот Карелии) и 53 вида мхов (около 40 % бриофлоры карельских болот). Четыре вида (*Cyripedium calceolus*, *Dactylorhiza*

*traunsteineri*, *Myrica gale* и *Rhynchospora fusca*) занесены в Красную книгу Российской Федерации [2008]. *Myrica gale* и *Rhynchospora fusca* находятся здесь у восточной границы ареалов, они встречаются еще только в северо-западной части Ленинградской области. В Приложение 1 включены виды, выявленные нами и Лоунамаа на объектах экскурсии.

Болота на этой территории имеют как озерный, так и суходольный генезис, глубина торфяных залежей, включая озерные отложения, достигает 6–7 метров. Маленькое травяно-гипновое болото диаметром всего 50 м и глубиной торфяной залежи 5,5 метра, расположенное у северного берега озера Сяркиярви, имеет возраст 12 700 лет (калиброванный возраст). Это самое старое болото Восточной Фенноскандии [Mäkilä et al., 2013].

Растительность исследованных болот включает более 20 ассоциаций, выделенных тополого-экологическим методом [Кузнецов, 2005]. Состав некоторых характерных ассоциаций исследованных болот приведен в Приложении 2.

Ассоциации *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii*, *Molinia caerulea*–*Scorpidium cossonii*, *Trichophorum cespitosum*–*Campylium stellatum*, широко представленные здесь, являются распространенными и по всей Фенноскандии в районах, сложенных основными и карбонатными породами. Ассоциации *Carex panicea* и *C. buxbaumii* довольно редки в Карелии, но здесь они встречаются на ряде болот (прил. 2). Эти сообщества включают ряд редких видов сосудистых растений и мхов, характерных для эвтрофных болот.

**Объектами экскурсии** являются четыре эвтрофных болота, характеристика которых приводится ниже. Болота на карте в работе Лунанамаа не имеют названий, а только порядковые номера. Мы дали болотам названия.

**Болото Приозерное** (№ 14а, рис. 1, 2) расположено на восточном берегу озера Тулмозеро на северном краю деревни Мандера. Болото очень маленькое (около 2 га), оно молодое и развивается в плоской депрессии за каменистым береговым валом. Мощность торфа составляет всего 20–40 см. Болото занято эвтрофными травяными и осоково-разнотравными сообществами с участием ряда прибрежно-водных видов (*Lythrum salicaria*, *Thalictrum flavum*, *Lysimachia vulgaris*, *Lathyrus palustris*, *Phragmites australis*), а также нескольких видов *Salix* (прил. 1). При маршрутном обследовании на болоте выявлено 53 вида сосудистых растений и 12 видов мхов. Наибольший интерес представляет произрастание на нем нескольких кустов *Myrica gale*, занесенного в Красную книгу РФ. Обширные заросли *M. gale* имеются на галечно-песчаных грунтах по берегам Тулмозера.

**Болото Молиниевое** (№ 14, рис. 1, 2) расположено на следующей террасе озера Тулмозеро, на 1–2 метра выше болота Приозерное. Оно имеет довольно изрезанную форму, его площадь около 15 га. Болото развивается в неглубокой депрессии, глубина торфяной залежи в центре составляет 2,5 метра. Растительный покров центральной открытой части болота вторичный, оно до середины 60-х годов прошлого века использовалось в качестве сенокоса, на нем еще видны остатки конной дороги и придорожных канав, заросших ивами. После прекращения сенокосения в центре болота сформировалось типичное для эвтрофных болот этого района сообщество *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii* с довольно богатым видовым составом (38 видов) (прил. 2) и редким облесением сосной. Несколько луговых видов (*Deschampsia cespitosa*, *Centaurea jacea*, *Galium album*, *Vicia cracca*) свидетельствуют о его предыдущем использовании как сенокоса. Всего на болоте выявлено 96 видов сосудистых

растений и 26 видов мхов, ряд из них кальцефильные (прил. 1). Из редких видов следует отметить *Myrica gale*, *Cypripedium calceolus*, *Dactylorhiza traunsteineri*, *Epipactis palustris*, *Malaxis monophyllos*.

Стратиграфия торфяной залежи свидетельствует, что это болото имеет суходольный генезис. Диаграммы динамики растительности построены по данным послойного ботанического состава торфов. Стадии (палеосообщества) выделены по доминирующим видам остатков в каждом слое. Его формирование началось около 10 тыс. л. н. (калиброванный возраст) с тростниково-осоковых сообществ (рис. 3, стадия I), которые отложили 1,25 м тростниково-осокового низинного торфа, он накапливался со скоростью 1,2 мм/год. Затем произошло снижение уровня болотных вод и облесение болота березой (стадия II), в растительном покрове резко снизилась роль тростника и *Carex lasiocarpa*. С этой стадии резко уменьшилась скорость торфонакопления, верхние 1,25 метра отлагались почти 8 тыс. лет. На следующей стадии (III) на болоте поселились ель и сосна, стало больше *Carex rostrata*. В последние столетия уменьшилась роль древесных пород, фактически выпал из покрова тростник, стала обильней *Carex lasiocarpa*, в торф проникли корни молинии (стадия IV). Затем деревья были



Рис. 2. Картосхема объектов экскурсии  
Fig. 2. Map of the excursion objects

вырублены, болото превращено в сенокос, а после прекращения его использования сформировался молиниевое-сфагновый покров (стадия V). Моховой покров прерывистый в связи с большим количеством ветоши от молинии и других трав. В настоящее время деревья и кустарники постепенно занимают местообитание. Они усиливают эвапотранспирацию, что приводит к осушению и затенению поверхности и вызывает исчезновение видов ключевых болот, особенно мохообразных.

**Болото Гипновое** (№ 13, рис. 1, 2). Самая крупная болотная система этого района, ее площадь около 140 га. Она состоит из двух болотных массивов, развивающихся в тектонической депрессии, протянувшейся вдоль северного края дороги Петрозаводск – Сортавала. Западный и южный берега болота сложены протерозойскими доломитами, а северо-восточный и восточный – архейскими гранитами.

Растительный покров болота разнообразен. Его центральная и западная части заняты эвтрофными кочковато-топяными комплексами и гомогенными травяно-гипновыми сообществами со *Scorpidium scorpioides*. Северная часть болота занята тростниково-осоково-сфагно-

выми и осоково-сфагновыми мезотрофными и мезоэвтрофными сообществами. Восточный край болота более бедный, с мезотрофными сообществами. Во флоре болота выявлено 75 видов сосудистых растений и 25 видов мхов, но обследование было довольно кратким, поэтому флора болота, вероятно, пополнится при дальнейших исследованиях. На нем произрастают несколько редких и охраняемых видов (*Carex bergrothii* = *C. viridula* var. *bergrothii*, *C. heleonastes*, *C. capitata*, *Rhynchospora fusca*). На этом болоте встречается *Hamatocaulis vernicosus*, который является охраняемым в Европейском союзе по Директиве об охраняемых биотопах (Habitat directive).

Болото имеет озерный генезис. Его глубина более 7 метров, в центральных частях под торфяными отложениями имеется 2–3 метра сапропеля. Изучена стратиграфическая колонка в центре болота глубиной 6,75 м (рис. 4). Слой сапропеля содержит небольшое количество остатков *Typha*, *Nuphar* и *Phragmites* (рис. 4, I). Затем отмечается кратковременная мелководная тростниково-гипновая стадия (II) с *Warnstorfia* sp. Следующая тростниково-разнотравная стадия (III) была продолжительной.

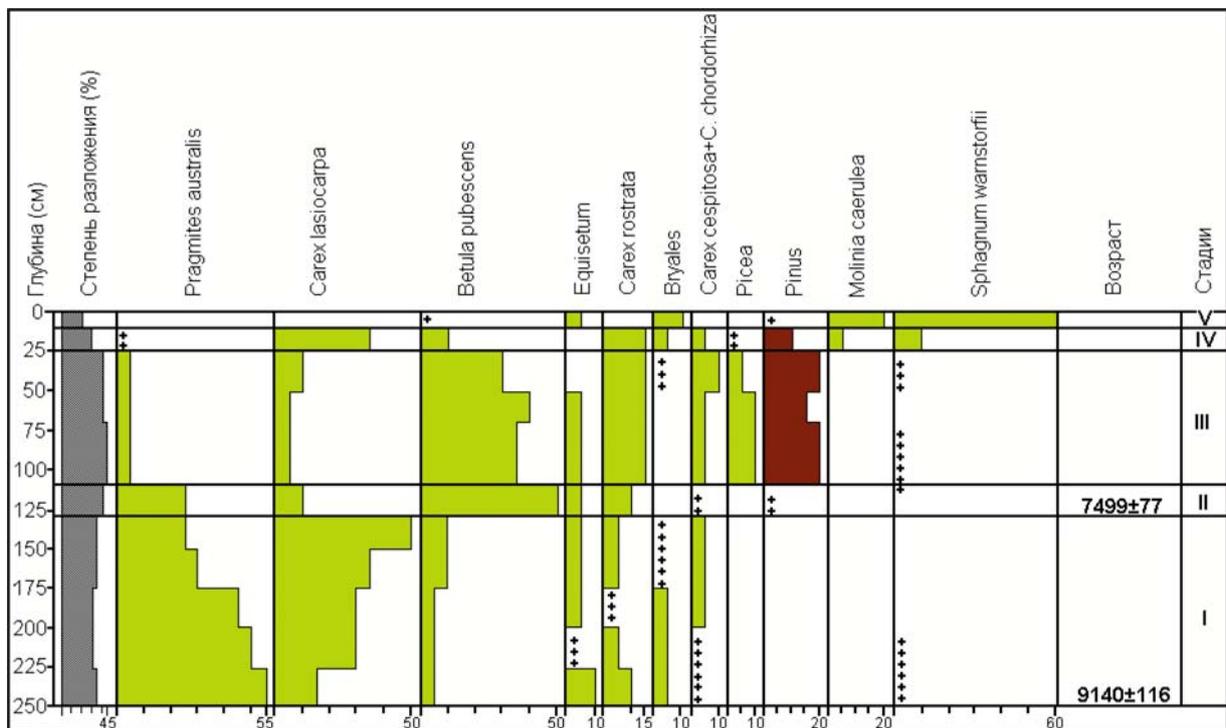


Рис. 3. Диаграмма ботанического состава торфов на болоте Молиниевое (возраст по C<sup>14</sup>)

Fig. 3. Diagram of the botanical composition of peats in Molinievoye mire (age by C<sup>14</sup>)

Стадии (палеосообщества) / Stages (paleocommunities): I – *Pragnites australis* + *Carex lasiocarpa* (E); II – *Betula pubescens*–*Pragnites australis* (ME); III – *Betula pubescens* + *Picea* + *Pinus*–*Carex rostrata* (M); IV – *Betula pubescens* + *Pinus*–*Carex lasiocarpa* + *C. rostrata* (M); V – *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii* (E)

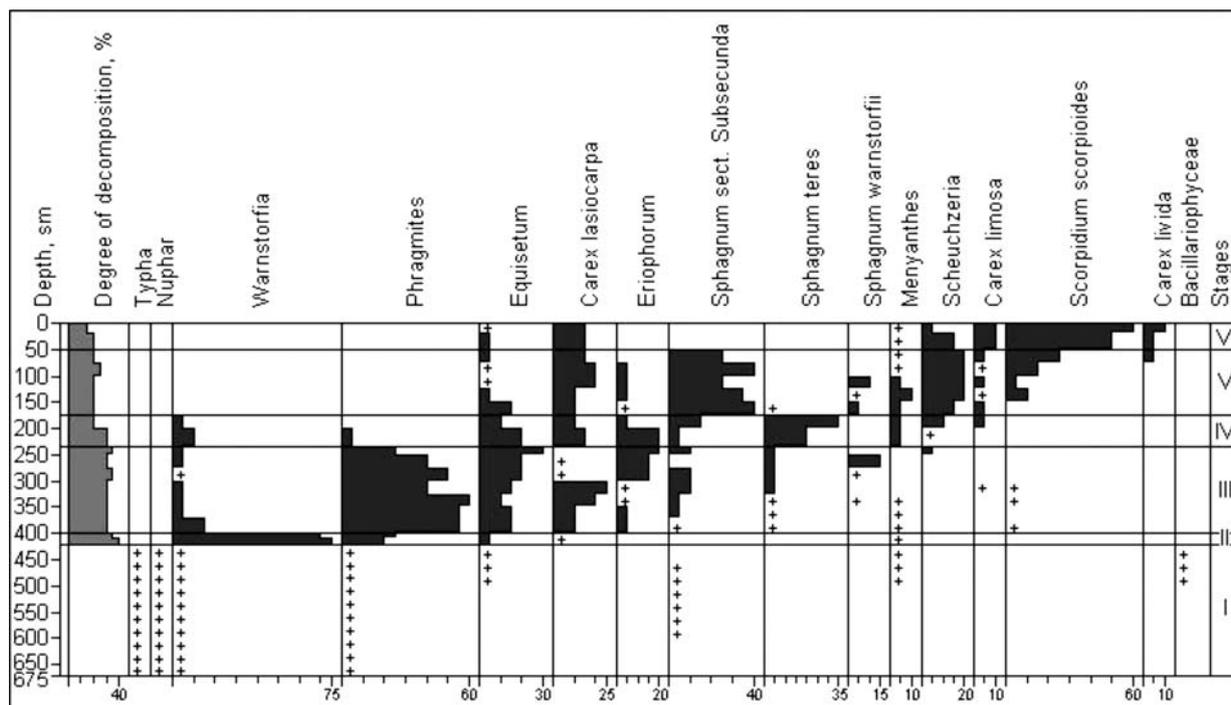


Рис. 4. Диаграмма ботанического состава торфов на болоте Гипновое

Fig. 4. Diagram of the botanical composition of peats in Gipnovoye mire

Стадии (палеосообщества) / Stages (paleocommunities): I – lake with *Typha* + *Nuphar*, II – *Phragmites australis*–*Warnstorfia* sp., III – *Phragmites australis* + *Equisetum fluviatile* + *Carex lasiocarpa*, IV – *Carex lasiocarpa* + *Equisetum fluviatile*–*Sphagnum teres*, V – *Carex lasiocarpa* + *Scheuchzeria palustris*–*Sphagnum* sect. *Subsecunda*, VI – *Carex* (*lasiocarpa* + *limosa* + *livida*)–*Scorpidium scorpioides*

После снижения обводненности центра болота здесь сформировалось травяно-сфагновое сообщество (IV) со *Sphagnum teres*. Следующая стадия (V) представляет более обводненные условия с осоково-шейхцериево-сфагновым палеосообществом со *Sphagnum* sect. *Subsecunda* (скорее всего, *S. contortum*, он есть в современном покрове в месте бурения). Современное осоково-гипновое сообщество (стадия VI) со *Scorpidium scorpioides* довольно молодое, осоково-гипновый низинный торф под ним имеет мощность всего 0,5 метра.

**Болото Шейхцериевое** (№ 7, рис. 1, 5) площадью около 35 га расположено в 0,5 км на запад от деревни Колатсельга к югу от дороги на Сортавалу. Северный край болота частично нарушен этой дорогой. Его западный берег сложен архейскими гранитами, а восточный – доломитами. Поэтому растительный покров болота очень разнообразен. Центр болота занят эвтрофными кочковато-мочажинными комплексами (прил. 2). В них представлены два типа мочажинных сообществ со *Scorpidium scorpioides*, в одних в травяном ярусе доминирует *Carex lasiocarpa*, в других – *Carex livida*. Восточная окрайка и южная часть болота заняты богатыми сосново-травяно-сфагновыми

сообществами. По западному краю болота развиты омбротрофные сосново-кустарничково-сфагновые (со *Sphagnum fuscum*) и открытые *Scheuchzeria*–*Sphagnum balticum* сообщества. На этом болоте очень хорошо виден экологический ряд от омбротрофных биотопов к эвтрофным. Флора болота благодаря широкому спектру биотопов богатая, она включает 124 вида сосудистых растений и 29 видов мхов. Несколько редких видов растут на этом болоте (*Carex capitata*, *Dactylorhiza traunsteineri* и *Epipactis palustris*).

Болото имеет суходольный генезис. Изучена стратиграфия колонки мочажины в центре болота глубиной 345 см (рис. 6). Формирование болота началось с осоково-гипновых сообществ (стадия I). Ее сменила осоково-шейхцериево-гипновая стадия (II) с кочками *Sphagnum centrale*. Затем сформировалось пушицево-шейхцериево-сфагновое сообщество (III), которое существовало очень долго и отложило 1,75 м шейхцериево-сфагнового торфа. Современное осоково-гипновое сообщество со *Scorpidium scorpioides* в мочажинах (стадия IV) довольно молодое, осоково-гипновый низинный торф под ним имеет мощность всего 0,5 метра.



Рис. 5. Местоположение болота Шейхцериовое (№ 7)  
 Fig. 5. Location of Sheikhtserievoye mire (No. 7)

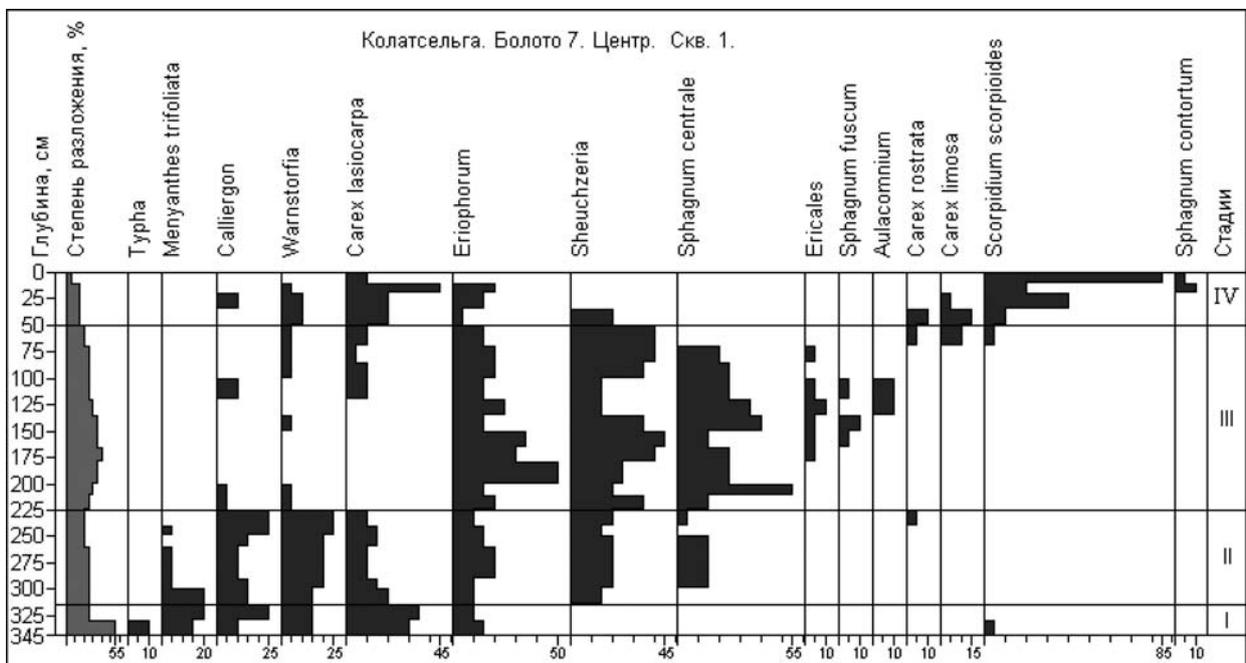


Рис. 6. Диаграмма ботанического состава торфов на болоте Шейхцериовое  
 Fig. 6. Diagram of the botanical composition of peats in Sheikhtserievoye mire

Стадии (палеосообщества) / Stages (paleocommunities): I – *Carex lasiocarpa*–*Warnstorfia* sp. + *Calliergon* sp., II – *Carex lasiocarpa* + *Scheuchzeria palustris*–*Warnstorfia* sp. + *Calliergon* sp., III – *Scheuchzeria palustris*–*Sphagnum centrale*, IV – *Carex lasiocarpa*–*Scorpidium scorpioides*

Флора болот (7 – Шейхцериное, 13 – Гипновое, 14 – Молининое, 14а – Приозерное) в окрестностях д. Колатсельга (объекты экскурсии)

Flora of the mires (7 – Sheikhtseriyevoe, 13 – Gipnovoye, 14 – Moliniyevoye, 14a – Priozernoye) in the vicinity of the village of Kolatselga (excursion objects)

Название вида Species	Номера болот Numbers of the mires			
	7	13	14	14a
<b>Сосудистые растения Vascular plants</b>				
<i>Agrostis canina</i>	+	+	+	+
<i>A. capillaris</i>	+			
<i>Alnus incana</i>	+	+	+	
<i>Andromeda polifolia</i>	+	+	+	
<i>Angelica sylvestris</i>	+		+	
<i>Anthoxanthum odoratum</i>			+	
<i>Baeothryon alpinum</i>	+	+	+	+
<i>B. cespitosum</i>	+	+	+	
<i>Betula nana</i>	+	+	+	
<i>B. pendula</i>	+			
<i>B. pubescens</i>	+	+	+	+
<i>Calamagrostis neglecta</i>	+	+	+	+
<i>C. purpurea</i>	+	+		
<i>C. canescens</i>	+			
<i>C. epigeios</i>	+			
<i>Calla palustris</i>	+			
<i>Caltha palustris</i>	+		+	+
<i>Calluna vulgaris</i>	+	+		
<i>Carex pauciflora</i>	+	+		
<i>C. elongata</i>			+	
<i>C. echinata</i>	+			
<i>C. pallescens</i>			+	
<i>C. capillaris</i>	+		+	
<i>C. rostrata</i>	+	+	+	+
<i>C. lasiocarpa</i>	+	+	+	+
<i>C. serotina</i>			+	+
<i>C. bergrothii</i>		+	+	
<i>C. flava</i>	+		+	+
<i>C. panicea</i>	+		+	+
<i>C. livida</i>	+	+		
<i>C. vaginata</i>	+			
<i>C. limosa</i>	+	+		
<i>C. pauperula (C. magellanica)</i>	+	+		
<i>C. buxbaumii</i>	+		+	
<i>C. juncella</i>	+			
<i>C. nigra</i>	+		+	
<i>C. cespitosa</i>	+		+	
<i>C. appropinquata</i>	+		+	
<i>C. diandra</i>	+	+	+	+
<i>C. cinerea</i>		+		
<i>C. heleonastes</i>		+		
<i>C. dioica</i>	+	+	+	
<i>C. chordorrhiza</i>	+	+		
<i>C. omskiana</i>		+		
<i>C. capitata</i>	+			
<i>C. vesicaria</i>				+
<i>Centaurea jacea</i>			+	
<i>C. phrygia</i>			+	
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	+	+	+	
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	+			+
<i>Cirsium heterophyllum</i>	+			
<i>C. palustre</i>	+		+	
<i>C. vulgare</i>	+			
<i>Crepis paludosa</i>	+		+	
<i>Convallaria majalis</i>	+		+	
<i>Comarum palustre</i>	+	+	+	+
<i>Cypripedium calceolus</i>			+	
<i>Dactylorhiza maculata</i>	+	+	+	+
<i>D. incarnata</i>	+	+	+	+
<i>D. fuchsii</i>			+	+
<i>D. traunsteineri</i>	+	+	+	
<i>Deschampsia cespitosa</i>	+		+	
<i>Drosera rotundifolia</i>	+	+	+	
<i>D. anglica</i>	+	+		
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+			
<i>D. cristata</i>			+	
<i>Empetrum nigrum</i>	+	+		
<i>Epilobium palustre</i>	+	+		
<i>Epipactis palustris</i>	+			
<i>Equisetum fluviatile</i>	+	+	+	+
<i>E. palustre</i>	+		+	+
<i>E. hyemale</i>	+	+		
<i>Eriophorum gracile</i>		+		
<i>E. latifolium</i>	+	+	+	+
<i>E. polystachyon</i>	+	+		+
<i>E. vaginatum</i>	+	+		
<i>Festuca rubra</i>		+	+	
<i>Filipendula ulmaria</i>	+	+	+	+
<i>Frangula alnus</i>	+	+	+	+
<i>Galium uliginosum</i>	+	+	+	
<i>G. palustre</i>	+	+	+	+
<i>G. boreale</i>	+		+	+
<i>G. album</i>	+		+	
<i>Geranium sylvaticum</i>	+		+	+
<i>Geum rivale</i>	+		+	+
<i>Gymnadenia conopsea</i>	+		+	
<i>Hammarbya paludosa</i>	+	+		
<i>Hierochloa arctica</i>			+	
<i>Juncus stygius</i>		+		
<i>Juniperus communis</i>	+	+	+	
<i>Lathyrus pratensis</i>	+			
<i>L. palustris</i>				+
<i>Ledum palustre</i>	+	+		
<i>Listera ovata</i>	+		+	
<i>Lysimachia vulgaris</i>				+
<i>Lycopus europaeus</i>	+			+
<i>Lythrum salicaria</i>				+
<i>Malaxis monophyllos</i>			+	
<i>Melica nutans</i>	+	+	+	
<i>Melampyrum sylvaticum</i>	+			
<i>M. nemorosum</i>			+	
<i>M. pratense</i>	+			
<i>Mentha arvensis</i>				+
<i>Menyanthes trifoliata</i>	+	+	+	+

Продолжение прил. 1  
Appendix 1 (continued)

Название вида Species	Номера болот Numbers of the mires			
	7	13	14	14a
<i>Molinia caerulea</i>	+	+	+	+
<i>Moneses uniflora</i>	+			
<i>Myrica gale</i>			+	+
<i>Naumburgia thyrsiflora</i>		+	+	+
<i>Oxycoccus microcarpus</i>				
<i>O. palustris</i>	+	+	+	
<i>Padus avium</i>	+			
<i>Paris quadrifolia</i>	+			
<i>Parnassia palustris</i>	+		+	+
<i>Pedicularis palustris</i>	+	+	+	
<i>P. sceptrum-carolinum</i>	+		+	
<i>Picea abies</i>	+	+	+	
<i>Phragmites australis</i>	+	+		+
<i>Pinguicula vulgaris</i>			+	
<i>Pinus sylvestris</i>	+	+	+	+
<i>Platanthera bifolia</i>	+			
<i>Poa pratensis</i>	+			
<i>Potentilla erecta</i>	+	+	+	
<i>P. anserina</i>				+
<i>Prunella vulgaris</i>	+			
<i>P. vulgaris</i>	+			
<i>Ranunculus auricomus</i>			+	+
<i>R. acris</i>	+		+	+
<i>Rhynchospora fusca</i>		+		
<i>R. alba</i>	+	+		
<i>Rosa majalis</i>			+	
<i>Rubus saxatilis</i>	+		+	
<i>R. chamaemorus</i>	+	+		
<i>R. arcticus</i>	+		+	
<i>Rumex acetosa</i>			+	
<i>Salix aurita</i>		+		
<i>S. pentandra</i>	+	+	+	
<i>S. lapponum</i>	+	+		
<i>S. rosmarinifolia</i>	+	+	+	+
<i>S. cinerea</i>	+	+	+	+
<i>S. myrtilloides</i>		+		
<i>S. myrsinifolia</i>		+	+	+
<i>S. phyllicifolia</i>	+	+	+	+
<i>Scheuchzeria palustris</i>	+	+		
<i>Selaginella selaginoides</i>	+		+	
<i>Scutellaria galericulata</i>				+
<i>Solidago virgaurea</i>	+			
<i>Sorbus aucuparia</i>	+		+	
<i>Stellaria graminea</i>	+			
<i>Thalictrum flavum</i>			+	+
<i>Thyselium palustre</i>	+	+	+	+
<i>Trientalis europaea</i>	+	+	+	
<i>Trollius europaeus</i>			+	
<i>Typha latifolia</i>	+			
<i>Urtica dioica</i>	+			
<i>Utricularia intermedia</i>	+	+	+	+
<i>U. minor</i>	+	+		
<i>Vaccinium myrtillus</i>	+			
<i>V. uliginosum</i>	+	+	+	
<i>V. vitis-idaea</i>	+		+	
<i>Viburnum opulus</i>			+	
<i>Vicia cracca</i>	+		+	+
<i>V. sepium</i>	+			+
<i>Viola palustris</i>	+		+	
<b>Мхи и печеночники Mosses and liverworts</b>				
<i>V. epipsila</i>	+	+	+	+
<i>Sphagnum angustifolium</i>	+	+	+	
<i>S. balticum</i>	+			
<i>S. centrale</i>	+	+	+	
<i>S. contortum</i>	+	+	+	+
<i>S. divinum</i>	+			
<i>S. fallax</i>		+		
<i>S. fimbriatum</i>		+		
<i>S. fuscum</i>	+	+		
<i>S. majus</i>	+			
<i>S. obtusum</i>		+		
<i>S. platyphyllum</i>		+		
<i>S. riparium</i>		+		
<i>S. russowii</i>		+		
<i>S. squarrosus</i>		+	+	
<i>S. teres</i>	+	+	+	
<i>S. warnstorffii</i>	+	+	+	
<i>Aulacomnium palustre</i>	+	+	+	
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	+		+	+
<i>Calliergon giganteum</i>			+	+
<i>Calliergonella cuspidata</i>			+	+
<i>Campylium stellatum</i>	+		+	+
<i>Cinclidium stygium</i>	+	+	+	+
<i>Dicranum bonjeanii</i>	+			
<i>D. scoparium</i>			+	
<i>D. undulatum</i>	+		+	
<i>Fissidens adianthoides</i>			+	
<i>Hamatocaulis vernicosus</i>		+	+	
<i>Helodium blandowii</i>	+			
<i>Hylocomium splendens</i>	+			
<i>Meesia triquetra</i>			+	
<i>Plagiomnium elatum</i>			+	+
<i>Pleurozium schreberi</i>	+		+	
<i>Polytrichum commune</i>		+		+
<i>P. strictum</i>	+	+	+	
<i>Pseudocalliergon lycopodioides</i>				+
<i>P. trifarium</i>	+	+		
<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i>	+			
<i>S. cossonii</i>	+	+	+	+
<i>S. revolvens</i>	+			
<i>S. scorpioides</i>	+	+	+	+
<i>Splachnum ampullaceum</i>	+			
<i>Straminergon stramineum</i>	+	+	+	
<i>Thuidium recognitum</i>			+	
<i>Tomentypnum nitens</i>	+		+	
<i>Warnstorffia exannulata</i>	+			+
<i>W. fluitans</i>		+		
<i>W. tundrae</i>		+		
<i>Aneura pinguis</i>	+	+	+	
<b>Число видов сосудистых растений Total number of vascular plants species</b>	<b>124</b>	<b>75</b>	<b>96</b>	<b>53</b>
<b>Число видов мхов Total number of mosses species</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>12</b>

Видовой состав ряда ассоциаций эвтрофных болот в окрестностях Колатсельги:

**A** – *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii*, **B** – *Carex flava*–*Campylium stellatum*+*Scorpidium cossonii*, **C** – *Carex panicea*, **D** – *Carex buxbaumii* и конкретные описания на объектах экскурсии: кочково-мочажинный комплекс на болоте Шейхцериевое (№ 7): 7(1) – кочки *Pinus sylvestris*–*Menyanthes trifoliata*–*Sphagnum warnstorffii*, 7(2) – мочажина *Carex lasiocarpa*–*Menyanthes trifoliata*–*Scorpidium scorpioides*, 7(3) – мочажина *Carex livida*–*Scorpidium scorpioides*; кочково-топяной комплекс на болоте Гипновое (№ 13): 13(1) – кочки *Andromeda polifolia*–*Trichophorum alpinum*–*Sphagnum warnstorffii*, 13(2) – топь *Carex limosa*–*Scorpidium scorpioides*; центр болота Молиниевое (№ 14): 14 – *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii*. ЭЦГ – эколого-ценотические группы видов [по: Кузнецов, 2005]

Species composition of the associations of eutrophic mires in the vicinity of Kolatselga:

**A** – *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii*, **B** – *Carex flava*–*Campylium stellatum*+*Scorpidium cossonii*, **C** – *Carex panicea*, **D** – *Carex buxbaumii* and the specific descriptions of the excursion objects: the hummock-hollow complex in Sheikhtserievoye mire (No. 7): 7(1) – hummocks *Pinus sylvestris*–*Menyanthes trifoliata*–*Sphagnum warnstorffii*, 7(2) – hollows *Carex lasiocarpa*–*Menyanthes trifoliata*–*Scorpidium scorpioides*, 7(3) – a hollow *Carex livida*–*Scorpidium scorpioides*; the hummock-bog complex in Gipnovoye mire (No. 13): 13(1) – hummocks *Andromeda polifolia*–*Trichophorum alpinum*–*Sphagnum warnstorffii*, 13(2) – a bog *Carex limosa*–*Scorpidium scorpioides*; the center of Molinievoye mire (No. 14): 14 – *Molinia caerulea*–*Sphagnum warnstorffii*. ЭЦГ – ecological-coenotic groups of species [after Kuznetsov, 2005]

ЭЦГ	Ассоциации Associations	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	7(1)	7(2)	7(3)	13(1)	13(2)	14
	Кол-во описаний Number of descriptions	30	22	8	6						
	<i>Betula pubescens</i>	V	II	II	II				+		1
	<i>Picea abies</i>	III	R	II							
	<i>Pinus sylvestris</i>	V	I	II	II	10					5-7
1	<i>Vaccinium uliginosum</i>	II									
2	<i>Empetrum nigrum</i>					2-5					
	<i>Drosera rotundifolia</i>	II		I		+			+		
	<i>Sphagnum fuscum</i>					+					
	<i>Dicranum bergerii</i>					+					
	<i>Polytrichum strictum</i>					1					
3	<i>Chamaedaphne calyculata</i>					5					
	<i>Andromeda polifolia</i>	II	R			2	+	+	15		
	<i>Betula nana</i>	II				+	+		2		
	<i>Oxycoccus palustris</i>	IV	II			2-3	+		3		+
	<i>Carex pauciflora</i>					1					
	<i>Sphagnum angustifolium</i>	II				20					
4	<i>Scheuchzeria palustris</i>							+		1	
	<i>Carex limosa</i>						+		+	10	
	<i>Drosera anglica</i>						+		+	+	
	<i>Rhynchospora alba</i>						1-2	5		+	
5	<i>Trichophorum cespitosum</i>	III	II	I		+					2
6	<i>Salix rosmarinifolia</i>	II	II	I	IV						
	<i>Molinia caerulea</i>	V	V	V	V	+					25
	<i>Eriophorum latifolium</i>	III	IV	IV	II	+					+
	<i>Trichophorum alpinum</i>	IV	IV	V	II	5	2	+	10	+	5-7
	<i>Carex dioica</i>	III	II	II		+			+		
	<i>C. flava</i>	III	V	V	V	+	+				1
	<i>C. panicea</i>	III	II	V	V						2
	<i>Dactylorhiza incarnata</i>		R	I	II		+	+	+		+
	<i>D. traunsteineri</i>	I	R	I							
	<i>Equisetum palustre</i>	II	III		I						5-7
	<i>Gymnadenia conopsea</i>	I	R	I		+					+
	<i>Ligularia sibirica</i>		I								
	<i>Malaxis monophyllos</i>	R		I	II						
	<i>Pinguicula vulgaris</i>										+
	<i>Potentilla erecta</i>	V	V	V	III	+					2-3
	<i>Saussurea alpina</i>	I	R								
	<i>Selaginella selaginoides</i>	III	III	V							

Продолжение прил. 2  
Appendix 2 (continued)

ЭЦГ	Ассоциации Associations	A	B	C	D	7(1)	7(2)	7(3)	13(1)	13(2)	14
	<i>Solidago virgaurea</i>	II	R								
	<i>Sphagnum centrale</i>								10		
	<i>S. warnstorffii</i>	V	I	IV		60			80		50
	<i>S. teres</i>					+			5	+	
	<i>Dicranum bonjeanii</i>	I				+					
	<i>Aulacomnium palustre</i>	IV		II		2-3					
	<i>Straminergon stramineum</i>						+				
	<i>Tomentypnum nitens</i>	II	II	I		5					
7	<i>Carex livida</i>	R	II	I				20	1-2	5	
	<i>C. buxbaumii</i>	II	R	II	V						
	<i>Juncus stygius</i>									+	
	<i>Hammarbya paludosa</i>					+					
	<i>Utricularia minor</i>						+			+	
	<i>Sphagnum contortum</i>	R	R	I			5	+			+
	<i>S. platyphyllum</i>									+	
	<i>Scorpidium scorpioides</i>						40	60		75	1
	<i>Cinclidium stygium</i>	R	R	I			+			1	
	<i>Riccardia pinguis (Aneura)</i>							+		+	+
8	<i>Carex chordorrhiza</i>	R	I			1-2	+		+		
	<i>C. lasiocarpa</i>	III	III	IV	IV	2-3	15	2	2	2	
	<i>C. rostrata</i>	III	II		IV						
	<i>Eriophorum angustifolium</i>						+		+	+	
	<i>Equisetum fluviatile</i>	III		I	II	+	+	+	+	+	
	<i>Menyanthes trifoliata</i>	IV	I	II	IV	20	15	10	15	20	1
	<i>Pedicularis palustris</i>						+	+		+	
	<i>Utricularia intermedia</i>				II		1-2	+		1	
9	<i>Frangula alnus</i>	IV	R		I	+					+
	<i>Crepis paludosa</i>	III	I	II	I						+
	<i>Filipendula ulmaria</i>	IV	III	I	III						1-2
	<i>Phragmites australis</i>	II		II	II						
	<i>Viola epipsila</i>	III	II	I	I						1
	<i>Calliergon giganteum</i>	R	R	I	I						
	<i>Calliergonella cuspidata</i>	R		I							
10	<i>Salix phylicifolia</i>	III	R	II	II						
	<i>Agrostis canina</i>	R	II	I							1
	<i>Calamagrostis neglecta</i>	I	R	II							
	<i>Carex diandra</i>	I	R								
	<i>C. nigra</i>	II	III		I	+					+
	<i>C. omskiana</i>				I				+	1	
	<i>Cirsium palustre</i>	I		II							+
	<i>Comarum palustre</i>	III	III	I	II	+			3	+	
	<i>Galium palustre</i>	II	II	II							+
	<i>G. uliginosum</i>	II	II	II	I						
	<i>Salix lapponum</i>						+				
	<i>Thyselium palustre</i>	R	R		III				3	+	+
	<i>Sphagnum obtusum</i>								+	+	
	<i>Hamatocaulis vernicosus</i>									2	
11	<i>Carex capillaris</i>	R	I								
	<i>Festuca rubra</i>	II	II	II							
	<i>Epipactis palustris</i>	R	I								
	<i>Listera ovata</i>	II	I	I		+					+
	<i>Parnassia palustris</i>	R	I								+
	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	R		II	I		+			+	
	<i>Fissidens adianthoides</i>	R		III							
	<i>Paludella squarrosa</i>	R		I			+				
	<i>Campylium stellatum</i>	II	III	V	IV		+				+
	<i>Scorpidium revolvens+S. cossonii</i>	II	IV	V	IV		10	5			
12a	<i>Carex vaginata</i>	II									
	<i>Dactylorhiza maculata</i>	II		I		+					
	<i>Melampyrum pratense</i>					+					

Окончание прил. 2  
Appendix 2 (continued)

ЭЦГ	Ассоциации Associations	A	B	C	D	7(1)	7(2)	7(3)	13(1)	13(2)	14
12b	<i>Alnus incana</i>										+
	<i>Juniperus communis</i>	III			I	+					1
	<i>Rosa majalis</i>	R		I	I						
	<i>Rubus arcticus</i>	I		I							
	<i>R. saxatilis</i>	II									
	<i>Angelica sylvestris</i>	II		II							+
	<i>Convallaria majalis</i>	III									
	<i>Maianthemum bifolium</i>	III									
	<i>Trientalis europaea</i>	III							+		
	<i>Plagiomnium elatum</i>	R		II							
12c	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	II									
	<i>Pyrola rotundifolia</i>	III									
	<i>Pleurozium schreberi</i>	II									
13	<i>Deshampsia cespitosa</i>	R		II							+
	<i>Galium album</i>										+
	<i>G. boreale</i>	II									
	<i>Geum rivale</i>	II		I							
	<i>Polygonum viviparum</i>	II		I							
	<i>Vicia cracca</i>	R		II							+
	<i>Centaurea jacea</i>										+

## Литература

Карелия промышленная. Горноиндустриальное наследие: Туломозеро, Суоярви и Питкяранта. Петрозаводск: Острова, 2022. 175 с.

Красная книга РСФСР (растения и грибы) / Сост. Р. В. Камелин и др.; гл. ред. Ю. П. Трутнев и др. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

Кузнецов О. Л. Тополого-экологическая классификация растительности болот Карелии (омбротрофные и олиготрофные сообщества) // Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Труды Карельского научного центра РАН. 2005. Вып. 8. С. 15–46.

Кузнецов О. Л., Грабовик С. И. Мониторинг флоры и растительности болотных экосистем // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 19–31.

Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1983. 216 с.

Ahti T., Hämet-Ahti L., Jalas J. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe // *Annales Botanici Fennici*. 1968. Vol. 5(3). S. 169–211.

Heikkilä R., Ala-Risku T., Kondelin H., Laine A. Kasviretki Kolatselkään, Vieljärvelle ja Hisjärvelle // *Lutukka*. 2008. N. 24. S. 3–14.

Lindholm T., Heikkilä R., Kuznetsov O. Finnish botanists in the mires of Olonets region in Russian Karelia during the Second World War // *Mires and Peat*. 2018. Vol. 24, no. 12. P. 1–18.

Lounamaa J. Untersuchungen über die eutrophen Moore des Tulemajärvi-gebietes im südwestlichen Ostkarelien, KASSR // *Annales Botanici Societatis*

*Zoologicae Botanicae Fennicae* 'Vanamo'. 1961. Vol. 32(3). P. 1–63.

Mäkilä M., Säävuori H., Kuznetsov O., Grundström A. Suomen soiden ikä ja kehitys. Geologiantutkimuskeskus. Turvetutkimusraportti, 443. 2013. 60 p.

## References

Ahti T., Hämet-Ahti L., Jalas J. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. *Annales Botanici Fennici*. 1968;5(3):169–211.

Heikkilä R., Ala-Risku T., Kondelin H., Laine A. Kasviretki Kolatselkään, Vieljärvelle ja Hisjärvelle. *Lutukka*. 2008;24:3–14.

Industrial Karelia. The mining heritage: Tulmozero, Suojarvi and Pitkaranta. Petrozavodsk: Ostrova; 2022. 175 p. (In Russ.)

Kamelin R. V. et al. (comp.); Trutnev Yu. P. et al. (eds). The Red Data Book of the Russian Federation (plants and fungi). Moscow: KMK; 2008. 855 p. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Topological-ecological classification of mire vegetation of Karelia (ombrotrophic and oligotrophic communities). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2005;8:15–46 (In Russ.)

Kuznetsov O. L., Grabovik S. I. Monitoring of flora and vegetation of mire ecosystems. *Monitoring i sokhranenie bioraznoobraziya taezhnykh ekosistem Evropeiskogo Severa Rossii = Monitoring and conservation of taiga ecosystems biodiversity in North European Russia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2010. P. 19–31. (In Russ.)

Lindholm T., Heikkilä R., Kuznetsov O. Finnish botanists in the mires of Olonets region in Russian

Karelia during the Second World War. *Mires and Peat*. 2018;24(12):1–18.

*Lounamaa J.* Untersuchungen über die eutrophen Moore des Tulemajärvi-gebietes im südwestlichen Ostkarelien, KASSR. *Annales Botanici Societatis Zoologicae Botanicae Fennicae 'Vanamo'*. 1961;32(3):1–63.

*Mäkilä M., Säävuori H., Kuznetsov O., Grundström A.* Suomen soiden ikä ja kehitys. Geologiantutkimuskeskus. Turvetutkimusraportti. 2013;443. 60 p.

*Ramenskaya M. L.* Flora analysis of Murmansk Region and Karelia. Leningrad: Nauka; 1983. 216 p. (In Russ.).

*Поступила в редакцию / received: 14.11.2023; принята к публикации / accepted: 27.11.2023.*  
*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.*

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Кузнецов Олег Леонидович**

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru*

### **Игнашов Павел Алексеевич**

младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: paul.ignashov@gmail.com*

### **Бойчук Маргарита Арсеньевна**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: boychuk@krc.karelia.ru*

### **Максимов Анатолий Иванович**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: maksimov\_tolya@mail.ru*

## **CONTRIBUTORS:**

### **Kuznetsov, Oleg**

Dr. Sci (Biol.), Chief Researcher

### **Ignashov, Pavel**

Junior Researcher

### **Boychuk, Margarita**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

### **Maksimov, Anatoly**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

УДК 502.4 : 502.75

## ПРИМОРСКАЯ БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ОНЕЖСКОЕ ПОМОРЬЕ» (БЕЛОЕ МОРЕ, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М. А. Смирнова<sup>1\*</sup>, С. И. Дровнина<sup>2</sup>, Н. В. Петрова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН (ул. Проф. Попова, 2, Санкт-Петербург, Россия, 197376), \*medvedetz@gmail.com

<sup>2</sup> Северный Арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова (наб. Северной Двины, 17, Архангельск, Россия, 163000)

<sup>3</sup> Национальный парк «Кенозерский» (наб. Северной Двины, 78, Архангельск, Россия, 163000)

Исследование болотной растительности побережья Белого моря национального парка «Онежское Поморье» показало, что на изученной территории наиболее распространены и обширны тростниковые сообщества Унской губы, представленные тремя экологическими типами: прибрежно-водными, галофитно-луговыми и болотно-травяными. Приморские болота на Летне-Золотицком участке встречаются редко, незначительны по площади и занимают небольшие бухты; представлены осоковыми, пушицевыми, поточниковыми сообществами. Уникальным компонентом природы национального парка «Онежское Поморье» и всего побережья Белого моря являются лесо-болотные сочетания, сформировавшиеся на древних приморских валах и понижениях, расположенных к западу и востоку от горла Унской губы.

Ключевые слова: Белое море; Онежское Поморье; болотная растительность; литоральная растительность; марши

Для цитирования: Смирнова М. А., Дровнина С. И., Петрова Н. В. Приморская болотная растительность национального парка «Онежское Поморье» (Белое море, Архангельская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 41–47. doi: 10.17076/eco1833

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания БИН РАН (121032500047-1), госконтракта между национальным парком «Кенозерский» и Архангельским филиалом Рослесинфорг на проведение лесоустроительных работ на территории национального парка «Онежское Поморье».

# M. A. Smirnova<sup>1\*</sup>, S. I. Drovkina<sup>2</sup>, N. V. Petrova<sup>3</sup>. COASTAL MIRE VEGETATION OF THE ONEGA POMORIE NATIONAL PARK (WHITE SEA, ARKHANGELSK REGION)

<sup>1</sup> Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (2 Prof. Popova St., 197376 St. Petersburg, Russia), \*medvedetz@gmail.com

<sup>2</sup> Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17 Severnaya Dvina Emb., 163002 Arkhangelsk, Russia)

<sup>3</sup> Kenozersky National Park (78 Severnaya Dvina Emb., 163000 Arkhangelsk, Russia)

The study of the mire vegetation on the coast of the Onega Pomorie National Park showed that the reed communities of Unskaya Bay are the most widespread and extensive and they are represented by three ecological types: coastal-aquatic, halophytic-meadow and mire-herbaceous communities. Marshes in the Letne-Zolotitsky stretch are rare and small, with communities dominated by sedges, cotton-grass, and saltmarsh flat-sedge. A unique component of the nature of the Onega Pomorie National Park and the entire White Sea coast is forest-mire combinations on ancient longshore bars and troughs located to the west and east of Unskaya Bay's mouth.

**Keywords:** White Sea; Onega Pomorie; mire vegetation; littoral vegetation; marshes

For citation: Smirnova M. A., Drovkina S. I., Petrova N. V. Coastal mire vegetation of the Onega Pomorie National Park (White Sea, Arkhangelsk Region). *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 41–47. doi: 10.17076/eco1833

Funding. Financial support for the research was provided from the federal budget for the implementation of state assignment to BIN RAS (121032500047-1) and under public contract between the Kenozersky National Park and the Arkhangelsk branch of Roslesinforg for forest management works in the territory of the Onega Pomorie National Park.

## Введение

Национальный парк «Онежское Поморье» основан на Онежском полуострове в 2013 г. Общая площадь лесного фонда национально-го парка, по данным лесоустройства 2021 г., составила 18 4031,9 гектара, из них леса занимают 12 9261,4 га (70 %), болота – 42 239,0 га (23 %), плавни – 15,7 га (0,01 %), галофитные луга – 1987,3 га (1,1 %) [Пояснительная..., 2022]. Целью нашего исследования было выявление флористического и фитоценотического разнообразия приморских ландшафтов, получение данных о редких видах растений и растительных сообществах, нуждающихся в охране. Побережье Белого моря дважды в день подвергается приливно-отливной деятельности. По мере удаления от уреза воды степень воздействия соленых вод уменьшается, и галофитные сообщества сменяются литоральными лугами, затем переходят в болота.

## Материалы и методы

Летом 2021 г. выполнено геоботаническое обследование растительности побережья Белого моря. В национальном парке «Онежское Поморье» проведены исследования на трех ключевых участках: Летне-Золотицкий

(от Орловского мыса до мыса Пертнаволок через дер. Летняя Золотица), Лопшеньгско-Яреньгский (от дер. Лопшеньга и Яреньга до Заяцкого мыса) и Унская губа (побережье губы и берега впадающих в нее рек Луда, Уна, Вёжма, Карасёвка, Кинжуга). Во время маршрутных исследований выполнялись стандартные геоботанические описания с GPS-привязкой в пределах естественных границ растительных сообществ. Синтаксоны растительности выделены согласно принципам эколого-фитоценотической классификации.

## Результаты и обсуждение

Территория парка «Онежское Поморье» входит в Онего-Усть-Двинский округ северотаежных лесов с преобладанием ельников зеленомошных и сфагновых [Геоботаническое..., 1989]. На Онежском полуострове распространены сосновые кустарничково-лишайниково-сфагновые болота [Соколова, 1935], поморские болота с регрессивными грядово-мочажинными комплексами [Абрамова, Кирышкин, 1968] или так называемые южноприбеломорские вересково-воронично-лишайниковые болота [Юрковская, 1980]. Болота материковой части нами не изучались, т. к. задача состояла в исследовании растительного покрова морских

побережий парка, которые, согласно геоботаническому районированию, относятся к Онего-Приморскому району лугов, гипновых и сфагново-осоковых болот [Соколова, 1935].

На формирование растительности побережья Белого моря влияют следующие факторы: географическое положение на севере Русской равнины, климат, соленость морской воды, приливо-отливная деятельность, шторма, ветра, а также степень засоленности почвенных субстратов. Беломорские побережья подвергаются дважды в день приливо-отливной деятельности моря. Корневая система и нижняя часть растений во время отливов частично остаются под водой. Для наиболее длительно затопляемых участков – маршей – характерна галофитная растительность. По мере удаления от моря его воздействие на растительный покров ослабевает, появляются процессы заболачивания, и в таких условиях начинают образовываться приморские болотные сообщества. Их специфичность в том, что в их составе присутствуют болотные виды и виды приморских лугов.

На Летне-Золотицком участке берега представлены валунными и песчаными морскими террасами, местами заболоченными. В прибрежной полосе болотные сообщества формируются в бухтах и полузамкнутых заливах, преобладают эвтрофные, реже мезоэвтрофные сообщества. В окрестности Орловского мыса за полосой литоральных лугов и невысокими песчано-валунными валами периодически встречаются небольшие по площади участки березовых криволесий разной степени дренированности, от крупнотравных до заболоченных хвощово-сфагновых, а также березово-пушицево-осоковых (*Carex rostrata*, *C. aquatilis*, *C. rariflora*, *Eriophorum angustifolium*) болот, местами с обилием клюквы (*Oxycoccus palustris*), вахты (*Menyanthes trifoliata*). Подобные болотца были отмечены для юго-западного побережья Онежского полуострова [Соколова, 1935]. Залив около мыса Сатанский – наиболее пестрый по набору растительных сообществ, видовой состав сообществ меняется от галофитной к болотной растительности. Мощность торфа не превышает 0,3–0,5 м. Площади таких болот невелики, часто это даже фрагменты сообществ, располагающиеся на градиенте двух факторов – солености и увлажнения. Для залива у мыса Сатанский выявлены следующие литоральные болотные сообщества: осоковые с осоками Маккензи (*Carex mackenziei*), чешуйчатой (*C. paleacea*), удлиненной (*C. elongata*) и седеющей (*C. canescens*); пушицевые (*Eriophorum angustifolium*); пушицево-осоково-сфагновые (*Carex rostrata*, *C. elongata*, *C. cinerea*,

*C. limosa*, *Eriophorum angustifolium*, виды рода *Sphagnum*); поточниковые (*Blysmus rufus*).

Террасы Лопшеньгско-Яреньгского ключевого участка – песчаные. По данным специалистов ИГ РАН и МГУ, верхняя часть голоценовых морских террас сложена косослоистыми песками, образующими на поверхности террасы береговые валы; на георадарных профилях в понижениях между валами прослеживаются лагунные осадки [Репкина и др., 2021], свидетельствующие о том, что в прошлом эта территория была частью моря. Формирование террасы авторы сопоставили с трансгрессией моря Тапес, датированной на северо-западе Онежского полуострова в интервале ~8,2–5,8 тыс. календарных лет назад (кал. л. н.) [Репкина и др., 2020]. К западу и востоку от горла (или пролива) Унской губы выделяются два больших по протяженности участка, которые на космоснимках выглядят как контуры, состоящие из узких полос. Первый участок расположен к западу от пролива на отрезке между оз. Мураканским и Унским маяком, он представляет собой чередование древних береговых валов и межваловых понижений, так называемые *лесо-болотные сочетания* растительного покрова (рис. 1). К востоку от пролива, восточнее пос. Пертоминск находится второй участок, на нем чередование валов и заболоченных понижений осложнено современными золовыми процессами – перевеваемыми ветром песками с расположенной поблизости большой дюнной гряды. В настоящее время на валах растут сосняки лишайниковые, кустарничково-лишайниково-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные, вороничные, кустарничковые (преимущественно из болотных видов кустарничков). В межваловых понижениях встречаются открытые и облесенные сосной кустарничково-сфагновые, кустарничково-пушицево-сфагновые (*Sphagnum fuscum*, *S. lindbergii*, *S. papillosum*) болота с небольшими грядово-озерковыми комплексами, которые чередуются с открытыми безлесными осоково (*Carex lasiocarpa*, *C. limosa*)-сфагновыми (*S. majus*, *S. papillosum*, *S. balticum*) болотами с озерковыми и мочажинными комплексами, но без выраженных гряд. В озерах отмечаются следующие виды: кувшинка чисто-белая (*Nymphaea candida*), виды рода рдест (*Potamogeton* ssp.), пузырчатка средняя (*Utricularia intermedia*), в мочажинах встречаются пухонос дернистый (*Trichophorum cespitosum*), шейхцерия (*Scheuchzeria palustris*), очеретники белый (*Rhynchospora alba*) и бурый (*R. fusca*), росянки круглолистная (*Drosera rotundifolia*) и английская (*D. anglica*). Такие *лесо-болотные сочетания* на древних морских валах и понижениях



Рис. 1. Растительный покров приморских береговых валов и межваловых понижений у оз. Муруканское: 1 – сосняки лишайниковые, кустарничково-зеленомошные, болотнокустарничковые; 2 – облесенные сосной кустарничково-сфагновые болота с небольшими грядово-озерковыми комплексами и осоково-сфагновые болота с озерковыми и мочажинными комплексами

Fig. 1. Vegetation cover of coastal bars and swales near Lake Murokanskoe: 1 – pine lichen, dwarf shrub-green-mosses and dwarf shrub forests; 2 – pine-dwarf shrub-sphagnum mires with small ridge-lake complexes and sedge-sphagnum mires with lake and hollow complexes

можно назвать уникальными для национального парка «Онежское Поморье» и в целом для берегов Белого моря, так как подобных протяженных участков больше нет на всем побережье.

Берега Унской губы представляют собой плоские низкие морские террасы, подвергающиеся дважды в день приливно-отливной деятельности Белого моря. Эти террасы часто заболоченные, сложены супесчаными, илистыми отложениями, валуны почти не встречаются. В осенний период при большом нагоне воды с моря сообщества средней литорали также бывают периодически подтопленными, даже в максимальный отлив. Кроме того, штормовая деятельность моря часто сильно меняет облик побережья и растительного покрова на нем. Растительность приливно-отливной зоны является как типичной галофитной, так и условно-галофитной, а также заболоченной, в связи с тем, что в Унскую губу впадает несколько рек, сильно опресняя ее воды в южной части [Макарова, 2022]. Приливно-отливная зона делится на низкую, среднюю и высокую литораль (рис. 2). Растительность низкой и средней литорали представлена сменяющимися друг друга галофитными сообществами – солеросовыми

(*Salicornia pojarkovae*, *S. europaea*), подорожниковыми (*Plantago maritima*), клубнекамышовыми (*Bolboschoenus maritimus*), постепенно переходящими в слабогалофитные заболоченные сообщества – болотницевые (*Eleocharis uniglumis*), поточниковые (*Blysmus rufus*) и затем в заболоченные вейниково-травяные (*Calamagrostis groenlandica*, *Eriophorum angustifolium*, *Parnassia palustris*, *Pedicularis palustris*, *Phragmites australis*) сообщества.

Тростниковые сообщества являются самыми распространенными в Унской губе и занимают значительные площади. По мере удаления от мелководий в глубь берега их можно разделить на три экологические группы: тростниковые сообщества низкой литорали, так называемые прибрежно-водные (монодоминантные, без примеси других видов); тростниковые сообщества средней литорали, галофитно-луговые, с участием в составе видов приморских лугов (*Agrostis straminea*, *Calamagrostis groenlandica*, *Juncus gerardii*, *Glaux maritima*); тростниковые болота средней литорали и супралиторали с участием и часто содоминированием болотных видов (*Comarum palustre*, *Eriophorum angustifolium*,

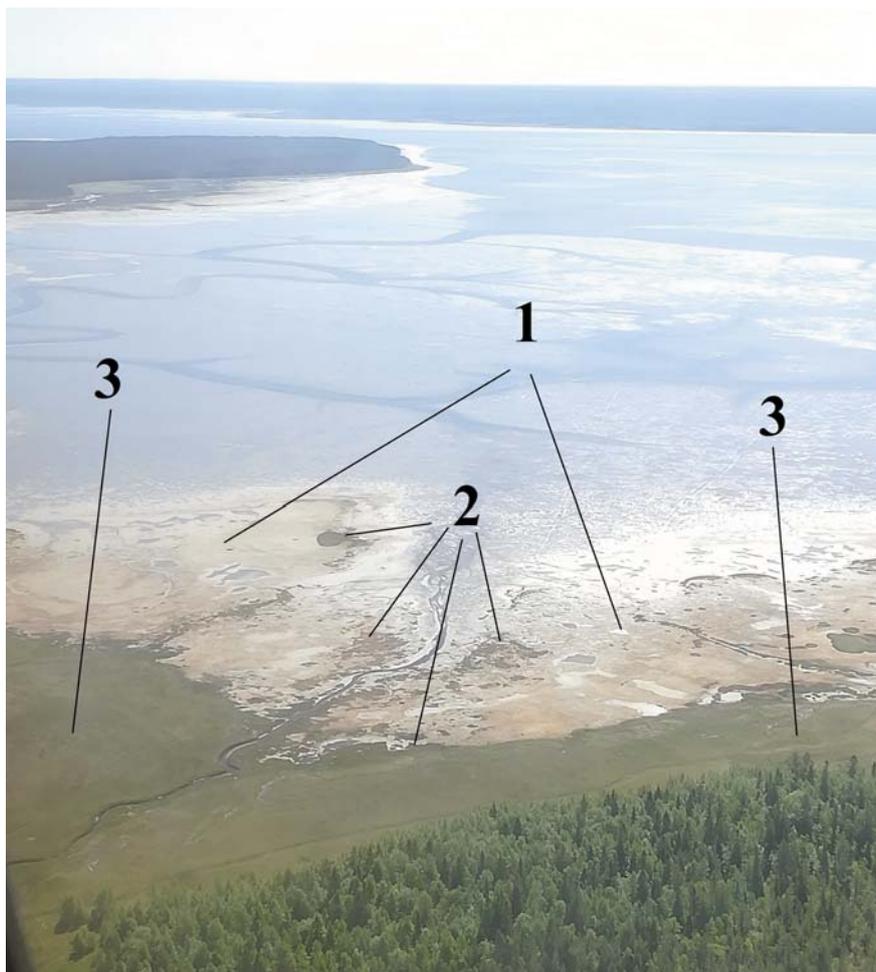


Рис. 2. Растительный покров маршей Унской губы: 1 – солеросовые сообщества; 2 – клубнекамышовые, болотницевые, подорожниковые сообщества; 3 – веерно-травяные сообщества, тростниковые сообщества с участием галофитов и тростниковые болота

Fig. 2. Vegetation cover of marshes in the Unskaya Bay: 1 – *Salicornia pojar-kovae*, *S. europaea* communities; 2 – *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis uniglumis*, *Plantago maritima* communities; 3 – *Calamagrostis groenlandica* communities, *Phragmites australis* communities with the participation of halophytes and *Phragmites australis* mires

*Oxycoccus palustre*, *Warnstorfia exannulata*, *Sphagnum teres*). По данным Д. С. Мосеева [2016], тростник является толерантным к засолению и часто образует сообщества на вторичных маршах Белого моря, занимающие большие площади в эстуариях рек юга Онежского и Двинского заливов.

### Заключение

Выявлено разнообразие приморской болотной растительности национального парка «Онежское Поморье». Тростниковые сообщества Унской губы представлены тремя экологическими типами: прибрежно-водными,

галофитно-луговыми и типичными болотными. Тростниковые болота – самый распространенный тип и занимают значительные площади, на других участках тростник встречался эпизодически в виде примеси в сообществах. На Летне-Золотицком участке литоральные болота встречаются редко и небольшие по площади, представлены осоковыми, пушицевыми, поточниковыми сообществами. Сообщества с поточником рыжим (*Blysmus rufus*) обнаружены в заливах у мыса Сатанский и на побережьях Унской губы, они занимают небольшие по протяженности участки и заслуживают охраны, так как поточник занесен в Красную книгу Архангельской области [2020].

Сочетание лесо-болотных участков на древних морских валах и межваловых понижениях, расположенных к западу и востоку от горла Унской губы, являются уникальным ландшафтным и растительным компонентом природы национального парка «Онежское Поморье» и всего побережья Белого моря.

Авторы искренне благодарят С. В. Торхова и коллектив сотрудников Архангельского филиала Рослесинфорга за всестороннюю помощь при организации полевых исследований.

## Литература

Абрамова Т. Г., Кирюшкин В. Н. Районирование болот Архангельской области // Северо-запад европейской части СССР. Л., 1968. Вып. 6. С. 81–113.

Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / Отв. ред. В. Д. Александрова, Т. К. Юрковская. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Красная книга Архангельской области. Архангельск: САФУ, 2020. 490 с.

Макарова М. А. Литоральная травянистая растительность Унской губы побережий Белого моря национального парка «Онежское Поморье» // Растительный покров Европейского Севера и Арктики: XIV Перфильевские научные чтения, посвящ. 140-летию со дня рождения И. А. Перфильева: Сб. мат-лов межрегион. науч. конф. / Сост. Т. А. Парина. Архангельск, 2022. С. 125–130.

Мосеев Д. С. Эколого-географический анализ видов галофитного флоро-ценотического комплекса (ГФЦКП) побережий Белого и юго-востока Баренцева морей // Труды Архангельского центра РГО. 2016. Вып. 4. С. 310–319.

Пояснительная записка к материалам лесостроительства лесничества Национальный парк «Онежское Поморье» / ФГБУ «Рослесинфорг», Архангельский ф-л. Архангельск, 2022. 107 с.

Репкина Т. Ю., Кублицкий Ю. А., Леонтьев П. А., Гуринов А. Л., Луговой Н. Н., Сердюков А. Г. Новые данные о строении рельефа и послеледниковых отложений летнего берега Белого моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Вып. 8. С. 182–187. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-182-187

Репкина Т. Ю., Романенко Ф. А., Лудикова А. В., Зарецкая Н. Е. Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Известия РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84, № 6. С. 888–904. doi: 10.31857/S2587556620060096

Соколова Л. А. Материалы к геоботаническому районированию Онега-Северодвинского водораздела и Онежского полуострова // Тр. БИН АН

СССР. Сер. 3. Геоботаника. Л., 1935. Вып. 2. С. 9–80 + карта-вклейка.

Юрковская Т. К. Болота // Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. С. 300–345.

## References

Abramova T. G., Kiryushkin V. N. Zoning of mires in the Arkhangelsk Region. *Severo-zapad evropeiskoi chasti SSSR = North-west of the European part of the USSR*. Leningrad; 1968. Iss. 6. P. 81–113. (In Russ.)

Aleksandrova V. D., Yurkovskaya T. K. (eds). Geobotanical zoning of the Non-Black Earth Region of the European part of the RSFSR. Leningrad: Nauka; 1989. 64 p. (In Russ.)

Explanatory note to the forest management materials of the forestry in the Onezhskoye Pomorye National Park. Arkhangel'sk; 2022. 107 p. (In Russ.)

Makarova M. A. Littoral herbaceous vegetation of the Unskaya Bay of the White Sea coast in the Onezhskoye Pomorye National Park. *Rastitel'nyi pokrov Evropeiskogo Severa i Arktiki: XIV Perfil'evskie nauchnye chteniya, posvyashch. 140-letiyu so dnya rozhdeniya I. A. Perfil'eva: Sb. mat-lov mezhtregion. nauch. konf. = Vegetation cover of the European North and Arctic. XIV Perfil'yev scientific readings dedicated to the 140<sup>th</sup> Anniversary of the birth of I. A. Perfil'yev. Proceed. interregional scientific conf.* Arkhangel'sk; 2022:125–130. (In Russ.)

Moseev D. S. Ecological-geographical analysis of species of the halophytic florocenotic complex (HFCC) of the coasts of the White and south-eastern Barents Seas. *Trudy Arkhangel'skogo tsentra RGO = Tr. Arkhangel'sk Center of the Russian Geographical Society*. 2016;4:310–319. (In Russ.)

Repkina T. Yu., Kublitskii Yu. A., Leont'ev P. A., Gurinov A. L., Lugovoi N. N., Serdyukov A. G. New data on the structure of the relief and post-glacial sediments of the summer shore of the White Sea. *Rel'ef i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktki i Severo-Zapada Rossii = Relief and Quaternary Formations of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. 2021;8:182–187. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-182-187 (In Russ.)

Repkina T. Yu., Romanenko F. A., Ludikova A. V., Zaretskaya N. E. The Northwestern Shores of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene: Development Conditions, Dynamics, Chronology. *Izvestiya RAN. Ser. Geogr.* 2020;84(6):888–904. doi: 10.31857/S2587556620060096 (In Russ.)

Sokolova L. A. Materials for geobotanical zoning of the Onega-Severodvinsk watershed and the Onega Peninsula. *Tr. BIN AN SSSR. Ser. 3. Geobotanika = Tr. BIN AS USSR. Ser. 3. Geobotany*. 1935;2:9–80. (In Russ.)

The Red Data Book of the Arkhangelsk Region. Arkhangel'sk: SAFU; 2020. 490 p. (In Russ.)

Yurkovskaya T. K. Mires. *Rastitel'nost' evropeiskoi chasti SSSR = Vegetation of the European part of the USSR*. Leningrad: Nauka; 1980. P. 300–345. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 24.10.2023; принята к публикации / accepted: 04.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:****Смирнова Марина Алексеевна**

младший научный сотрудник лаборатории географии  
и картографии растительности

*e-mail: medvedetz@gmail.com*

**Дровнина Светлана Игоревна**

канд. геогр. наук, доцент кафедры биологии, экологии  
и биотехнологии

*e-mail: drovnina@yandex.ru*

**Петрова Надежда Вячеславовна**

научный сотрудник

*e-mail: fenolog@kenozero.ru*

**CONTRIBUTORS:****Smirnova, Marina**

Junior Researcher

**Drovnina, Svetlana**

Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor

**Petrova, Nadezhda**

Researcher

УДК 581.526.35 (524)14

## **СРАВНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПРИРОСТОВ И ГОДИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ СФАГНОВЫХ МХОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ (БОЛОТНАЯ СИСТЕМА КОЙВУЛАМБИСУО, ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)**

**В. Л. Миронов\***, **О. Л. Кузнецов**, **Л. В. Канцерова**, **С. А. Кутенков**,  
**П. А. Игнашов**, **Е. Л. Талбонен**, **В. С. Васюта**, **А. Н. Свирида**

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*vict.mironoff@yandex.ru*

Интенсивность аккумуляции углерода северными болотами во многом зависит от темпов его фотосинтетической фиксации в приросте сфагновых мхов. Однако оценка этих темпов будет серьезно различаться в зависимости от выбранного метода измерения их прироста. Для лучшего понимания этих различий оценивались линейный прирост и годовая продукция сфагновых мхов, полученные при одновременном использовании методов перевязок, геотропических изгибов и ершиков. Исследование проводилось в пределах болотной системы Койвуламбисуо, входящей в состав научного стационара Карельского научного центра РАН «Киндасово» (Южная Карелия). Оно включало 7 видов сфагновых мхов в 25 микроценозах в составе 9 пробных площадей на трех типах болотных участков, которые являются модельными объектами для оценки пулов углерода в рамках проекта ВИП ГЗ 23-10. У разных видов линейные приросты, полученные методом геотропических изгибов, были на 12,4–144,6 % (на 12,4–62,4 % мочажинные, на 66,8–144,6 % ковровые и кочковые виды) больше полученных методом перевязок и на 51,1–282,3 % (ковровые и кочковые виды) больше полученных методом ершиков. Примечательно, что эти различия между приростами по перевязкам и геотропическим изгибам серьезно сокращаются и даже сверхкомпенсируются в оценках продуктивности разных видов. У ковровых и кочковых видов они значительно сокращаются, в результате чего продуктивность, полученная по геотропическим изгибам, на 12,8–40,4 % превышает таковую по перевязкам. При этом у мочажинных видов продуктивность с использованием перевязок на 6,0–17,4 % выше, чем по геотропическим изгибам. Метод ершиков, применяемый на микроучастках с ковровыми и кочковыми видами, показал, что он имеет тенденцию занижать оценку продуктивности относительно методов перевязок (0,95–52,9 %) и геотропических изгибов (40,3–193,2 %). Необходимо подчеркнуть, что представленные здесь результаты получены на основании одного сезона исследований с благоприятными для роста сфагновых мхов погодными-климатическими условиями. Продолжение исследования позволит лучше оценить, как различия между линейными и продукционными характеристиками ценопопуляций сфагновых мхов, получаемыми с помощью разных методов, зависят от погодных-климатических условий вегетационного сезона.

Ключевые слова: болота; мхи; продуктивность; метод ершиков; метод перевязок; метод геотропических изгибов

Для цитирования: Миронов В. Л., Кузнецов О. Л., Канцерова Л. В., Кутенков С. А., Игнашов П. А., Талбонен Е. Л., Васюта В. С., Свирида А. Н. Сравнение линейных приростов и годичной продукции сфагновых мхов, полученных с применением трех методов исследований (болотная система Койвуламбисуо, Южная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 48–64. doi: 10.17076/eco1847

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств проекта «Оценка пулов углерода в болотных экосистемах и агроландшафтах Республики Карелия, создание мониторинговой системы для измерения потоков углерода в агроландшафтах региона» (ГЗ (ВИП) 23-10).

**V. L. Mironov\*, O. L. Kuznetsov, L. V. Kantserova, S. A. Kutenkov, P. A. Ignashov, E. L. Talbonen, V. S. Vasyuta, A. N. Svirida. COMPARISON OF LINEAR INCREMENTS AND ANNUAL PRODUCTION OF SPHAGNUM MOSSES OBTAINED USING THREE RESEARCH METHODS (KOIVULAMBISUO MIRE SYSTEM, SOUTHERN KARELIA)**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*vict.mironoff@yandex.ru*

The rate of carbon accumulation in northern mires largely depends on photosynthetic fixation by Sphagnum mosses. However, estimates of this rate will vary greatly depending on the method chosen to measure their growth. The simultaneous application of the tied thread, geotropic curvature, and brush wire methods was used to assess the differences in their estimates of linear growth and annual production of Sphagnum mosses. The study was carried out within the Koivulambisuo mire system, which is part of the Kindasovo Research Station of the Karelian Research Centre RAS (southern Karelia). The study examined 7 species of Sphagnum in 25 microcoenoses across 9 sample plots in 3 mire sites. These locations serve as model objects for carbon pool assessment within the national-importance vital innovative project 23-10. In different species, linear increments obtained by the geotropic curvature method were 12.4–144.6 % (12.4–62.4 % – hollow, 66.8–144.6 % – carpet and hummock species) greater than those obtained by the tied thread method, and 51.1–282.3 % (carpet and hummock species) greater than those obtained using the brush wire method. The increment estimation differences between the tied thread and geotropic curvature methods are significantly reduced or even overcompensated when estimating the productivity of different species. In carpet and hummock species, they are significantly reduced, wherefore the productivity determined by the geotropic curvature method is 12.8–40.4 % higher than that obtained by the tied thread method. At the same time, in hollow-dwelling species, productivity determined by the tied thread method is 6.0–17.4 % higher than that estimated by the geotropic curvature method. The brush wire method, applied to plots with carpet and hummock species, has been shown to tend to underestimate productivity relative to the tied thread method (0.95–52.9 %) and geotropic curvature method (40.3–193.2 %). The results presented here were obtained based on one growing season with weather and climatic conditions favorable for the growth of Sphagnum mosses. Further studies will help evaluate how weather and climatic conditions affect the differences between linear growth and production characteristics of Sphagnum mosses estimated by different methods.

Keywords: mires; mosses; productivity; brush wire method; tied thread method; geotropic curvature method

For citation: Mironov V. L., Kuznetsov O. L., Kantserova L. V., Kutenkov S. A., Ignashov P. A., Talbonen E. L., Vasyuta V. S., Svirida A. N. Comparison of linear increments and annual production of Sphagnum mosses obtained using three research methods (Koivulambisuo mire system, southern Karelia). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 48–64. doi: 10.17076/eco1847

Funding. The study was funded from the project “Assessment of carbon pools in wetland ecosystems and agricultural landscapes of the Republic of Karelia, creation of a monitoring system for measuring carbon flows in agricultural landscapes of the region” (The most important innovative project of national importance 23-10).

## Введение

Северные болота охватывают  $3,46 \times 10^6$  км<sup>2</sup> земной поверхности [Vitt, 2006] и являются одним из крупнейших биосферных резервуаров почвенного углерода. Согласно текущим оценкам, общие запасы углерода в них составляют 473–621 Гт, при этом ежегодно они увеличиваются примерно на 74,4 Мт [Yu et al., 2010]. Основной причиной накопления углерода является небольшой положительный баланс между фотосинтетической фиксацией CO<sub>2</sub> из атмосферы растениями и последующим возвратом в атмосферу CO<sub>2</sub>, выдыхаемого растениями и образующегося в результате деятельности микроорганизмов и грибов в торфяной почве.

Наиболее типичными растениями и основными торфообразователями северных болот являются мхи рода *Sphagnum*. Они покрывают около  $1,5 \times 10^6$  км<sup>2</sup> болотной поверхности и являются господствующим компонентом растительного покрова верховых и переходных болот [Rydin et al., 2006]. В процессе существования сфагновые мхи создают обводненную, обедненную кислородом, кислую и бедную ионами среду, которая благоприятна для накопления торфа и обуславливает специфическое биообразие болот. Типичная и хорошо узнаваемая форма существования сфагновых мхов – это сфагновый ковер (дернина), в котором побеги тесно контактируют между собой и поэтому лучше увлажнены и адаптированы к пересыханию.

В течение вегетации разные виды сфагну-ма прирастают от нескольких миллиметров до десятков сантиметров, непрерывно извлекая огромные количества углерода из атмосферы. Подавляющая часть этого углерода с дыханием возвращается в атмосферу и лишь менее 10 % переходит в состав торфяной залежи [Joosten, Clarke, 2002; Limpens et al., 2008]. Точность оценки этого депонируемого углерода серьезно зависит от точности оценок его количества, извлекаемых ежегодно с приростом сфагновых мхов и теряемых в процессе дыхания. И если использование разных методов исследования дыхания относительно слабо влияет на оценку дыхательных потерь, то использование разных методов исследования прироста сфагновых мхов может вести к серьезно различающимся оценкам накопления углерода болотами.

Существует около десятка методов определения линейного прироста сфагновых мхов. Все они направлены на создание строгих систем отсчета, в которых исходными точками для измерений выступают различные естественные и искусственные маркеры [Clueto,

1970; Vitt, 2007]. Однако эти методы имеют специфические систематические ошибки и зачастую оказывают разное воздействие на растущие сфагновые мхи, что в конечном итоге приводит к разным оценкам линейного прироста [Илометс, 1976; Pouliot et al., 2010; Siegenthaler et al., 2014; Mironov et al., 2016]. В связи с этим возникает закономерное опасение, что оценки продуктивности, и в конечном итоге оценка баланса углерода в болотных экосистемах, могут серьезно зависеть от выбранного метода определения прироста.

До сих пор этот вопрос остается слабоизученным, и для ответа на него необходимы сравнительные исследования прироста и продуктивности, проводимые одновременно с использованием различных методов. В данной работе мы ставим целью исследовать этот вопрос, измеряя прирост и продуктивность разных видов сфагновых мхов одновременно методами перевязок, геотропических изгибов и ершиков (ёршиков), используемых в настоящее время болотоведами [Грабовик, 2003; Grabovik, Nazarova, 2013; Mironov et al., 2016; Kosykh et al., 2017]. Данное исследование является частью работ, выполняемых лабораторией болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН в 2023 г. по проекту ВИП ГЗ-23-10 «Оценка пулов углерода в болотных экосистемах и агроландшафтах Республики Карелия, создание мониторинговой системы для измерения потоков углерода в агроландшафтах региона» в пределах болотной системы Койвуламбисуо (Южная Карелия). В задачи исследования входило: 1) определение линейного прироста сфагновых мхов с использованием трех методов, 2) оценка плотности ценопопуляций сфагновых мхов, 3) определение и сравнение показателей продуктивности сфагнового покрова, полученных с использованием данных линейного прироста, полученных тремя методами.

## Материалы и методы

### Характеристика полигона исследования

Исследование проводилось в пределах болотной системы Койвуламбисуо, охраняемой в ранге регионального болотного заказника площадью 1875 га (61,80° с.ш. 33,56° в.д.) и входящей в состав лесоболотного научного стационара Карельского научного центра РАН «Киндасово» (рис. 1). Эта болотная система уже несколько десятилетий служит полигоном для изучения годичного роста сфагновых мхов [Грабовик, Антипин, 1982; Грабовик, 2003; Grabovik, Nazarova, 2013; Грабовик,

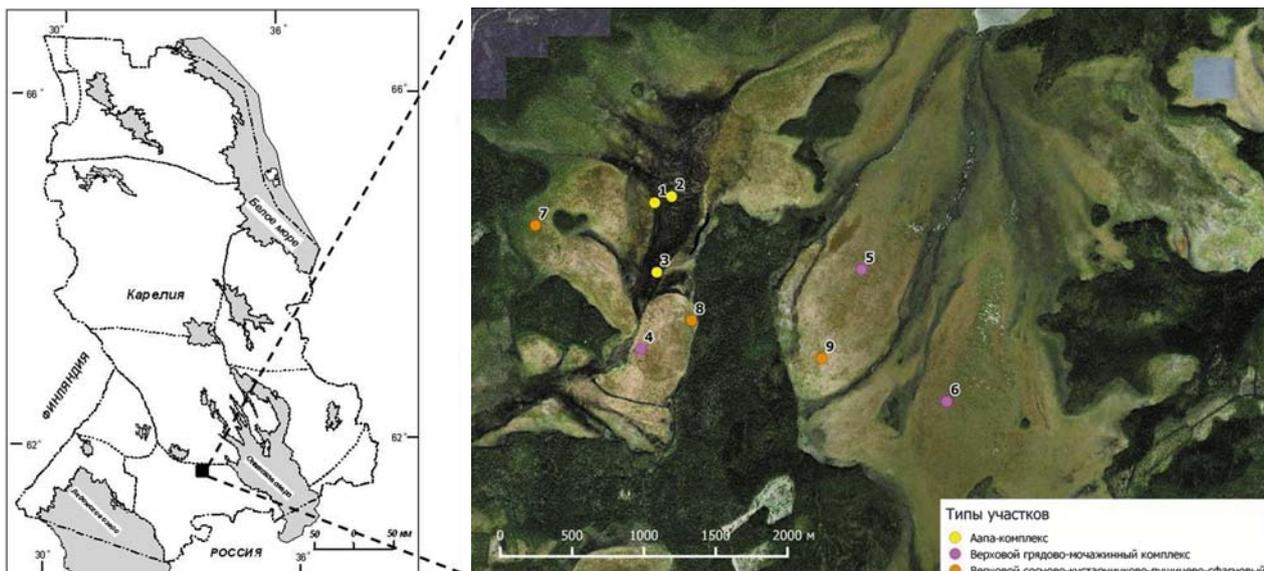


Рис. 1. Местоположение пробных площадей для оценки прироста и продуктивности сфагновых мхов  
 Fig. 1. Location of the sample plots where linear growth and productivity of Sphagnum mosses were measured

Кузнецов, 2016]. В пределах болотной системы, включающей болота Неназванное и Мустусуо, наиболее типичными являются участки аапа-типа, а также верховые сфагновые грядово-мочажинные и верховые сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые участки. Имеются на ней и переходные травяно-сфагновые и облесенные участки разной трофности, занимающие меньшие площади.

Участки аапа-типа характеризуются вогнутой поверхностью и обводненным центром с мезотрофными или мезоэвтрофными грядово-мочажинными и кочково-топяными комплексами. Аапа-комплексы на болоте Неназванное приурочены к транзитной топи (протяженность около 1,6 км, ширина до 0,4 км), пересекающей болото с севера на юг. Они имеют хорошо развитый кочково-топяной микрорельеф. Сфагновые кочки занимают 20–30 % поверхности и имеют диаметр 1–5 метров, при этом топяные участки имеют редкий травяной ярус и слой воды 10–50 см. На участках с аапа-комплексами были заложены три пробные площади (ПП) для оценки пулов углерода. В рамках этих площадей проводилось изучение прироста и продуктивности сфагновых мхов (рис. 1, ПП 1–3).

Верховые сфагновые грядово-мочажинные участки сконцентрированы на восточном краю болота Неназванное и на болоте Мустусуо, состоящем из двух массивов со стоком в озера Койвуламби и Тальвусламби. Участки слегка варьируют между собой по степени развития и увлажнения мочажин. В комплексе на восточном краю болота Неназванное мочажинны

слабо обводненные пушицево-сфагновые со *Sphagnum balticum*, тогда как на болоте Мустусуо представлены также и более обводненные шейхцерицево-сфагновые со *Sphagnum majus* мочажинны. В пределах этих болотных участков заложено три пробных площади для оценки прироста и продуктивности сфагновых мхов (рис. 1, ПП 4–6).

Верховые сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые участки характерны для дренированных окраек болот, нередко они образуют небольшие самостоятельные болотные массивы (1–30 га). В среднетаежной Карелии подобные участки занимают около 10 % болотного фонда. Имеют древостой с высотами от 4 до 10 метров с сомкнутостью 0,1–0,4. Напочвенный покров слабодифференцирован, на более сухих приствольных повышениях выше роль лесных зеленых мхов и кустарничков. На болотной системе Койвуламбисуо сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые участки приурочены к окрайкам болот Неназванное и Мустусуо. Для оценки прироста и продуктивности сфагновых мхов в пределах этих болотных участков заложены три пробные площади (рис. 1, ПП 7–9).

Характеристика ПП, заложенных на трех вышеописанных типах участков, представлена в табл. 1.

#### Краткая погодно-климатическая характеристика периода вегетации

Период вегетации 2023 года, во время которого проводилось исследование, характе-

Таблица 1. Характеристика пробных площадей и виды исследуемых сфагновых мхов

Table 1. Characteristics of the sample plots and species of sphagnum mosses under the study

№ ПП SP	Название участка, болото Name of mire site, mire	pH	Минерализация, мг л <sup>-1</sup> Mineralization, mg l <sup>-1</sup>	Виды Species	Элемент микрорельефа, Microrelief	Весенний УБВ, см Spring MWL, cm	Осенний УБВ, см Autumn MWL, cm
1	Аапа 1, Неназванное Aapa 1, Nenazvannoe	5,53	15,9	<i>S. papillosum</i>	Кочка Hummock	-8,2	-13,0
				<i>S. papillosum</i>	Ковер Carpet	-7,8	-2,0
2	Аапа 2, Неназванное Aapa 2, Nenazvannoe	4,99	13,4	<i>S. papillosum</i>	Ковер Carpet	-5,5	-8,0
				<i>S. divinum</i>	Кочка Hummock	-19,0	-18,0
				<i>S. fuscum</i>	Кочка Hummock	-21,0	-
				<i>S. angustifolium</i>	Кочка Hummock	-18,0	-25,5
3	Аапа 3, Неназванное Aapa 3, Nenazvannoe	4,99	8,3	<i>S. papillosum</i>	Ковер Carpet	-12,0	-7,5
				<i>S. papillosum</i>	Кочка Hummock	-	-
				<i>S. obtusum</i>	Мочажина Hollow	-1,0	0,0
				<i>S. angustifolium</i>	Гряда Ridge	-25,0	-14,0
4	ГМК 1, Неназванное RHC 1, Nenazvannoe	3,83	27,4	<i>S. balticum</i>	Мочажина Hollow	-0,5	+5
				<i>S. fuscum</i>	Гряда Ridge	-26,0	-21,5
5	ГМК 2, Мустусуо RHC 2, Mustusuo	3,88	20,8	<i>S. majus</i>	Мочажина Hollow	-2,0	+3,5
				<i>S. balticum</i>	Мочажина Hollow	-5,0	-1,0
				<i>S. fuscum</i>	Гряда Ridge	-19,0	-13,0
6	ГМК 3, Мустусуо RHC 3, Mustusuo	3,84	20,5	<i>S. majus</i>	Мочажина Hollow	-2,3	+7,0
				<i>S. fuscum</i>	Кочка Hummock	-17,5	-11,0
				<i>S. balticum</i>	Мочажина Hollow	-1,5	+5,0
7	Сосновый 1, Неназванное Pine 1, Nenazvannoe	3,78	32,8	<i>S. angustifolium</i>	Ковер Carpet	-15,0	-18,0
				<i>S. fuscum</i>	Кочка Hummock	-27,0	-25,0
8	Сосновый 2, Неназванное Pine 2, Nenazvannoe	3,82	27,7	<i>S. angustifolium</i>	Западина Microdepression	-12,0	-13,0
				<i>S. fuscum</i>	Кочка Hummock	-32,0	-29,0
9	Сосновый 3, Мустусуо Pine 3, Mustusuo	3,85	25,4	<i>S. angustifolium</i>	Ковер Carpet	-7,5	-5,0
				<i>S. fuscum</i>	Кочка Hummock	-33,0	-22,0
				<i>S. divinum</i>	Ковер Carpet	-16,0	-8,0

Примечание. В таблице представлены средние значения pH и минерализации воды для болотного участка, которые были рассчитаны на основе измерения этих показателей в 7–12 точках отбора. УБВ – уровень болотных вод, ПП – пробная площадь, ГМК – грядово-мочажинный комплекс.

Note. The table presents the mean values of pH and water mineralization for the mire site, which were calculated based on measurements at sampling points 7–12. MWL – mire water level, SP – sample plot, RHC – ridge-hollow complex.

ризовался умеренной температурой воздуха и обилием атмосферных осадков. Согласно данным ближайшей к месту исследования метеостанции Петрозаводск (расстояние до исследуемых болот 35 км), за период с 1 мая по 31 октября средняя температура воздуха составила 12,1 °С, общее количество осадков – 496 мм, число дней с осадками – 118, облачность нижнего яруса – 50 %. Температура была слегка выше, а количество осадков – значительно выше средних значений (для температуры – 11,9 °С, для количества осадков – 381 мм) за последние 10 лет метеорологических наблюдений. Подробная климатическая характеристика вегетационного периода 2023 года представлена в табл. 2. Таким образом, в среднем за период вегетации атмосферные осадки разной степени интенсивности регистрировались в течение 64 % дней. Количество осадков, как и количество дней с осадками, было наибольшим с июля по октябрь. Это обстоятельство обусловило благоприятный фон для увлажнения и роста сфагновых мхов.

#### Оценка линейного прироста

На пробных площадях выбирались типичные микроценозы растительного покрова с доминированием одного вида сфагновых мхов (на разных ПП доминантами были *Sphagnum fuscum*, *S. angustifolium*, *S. divinum*, *S. papillosum*, *S. majus*, *S. balticum*, *S. obtusum*). Полевые работы, связанные с установкой маркеров прироста, для дальнейшего определения линейного прироста сфагновых мхов методами перевязок, геотропических изгибов и ершиков проводились с 15 по 17 мая 2023 года. На кочках и грядах использовались одновременно все три метода, однако в условиях мочажин – толь-

ко методы перевязок и геотропических изгибов (поскольку применение метода ершиков здесь было невозможно). Поскольку дальнейший анализ подразумевал сравнение результатов, разные методы использовались для каждого вида в непосредственной близости друг от друга в пределах одного элемента микрорельефа.

Метод перевязок применялся во всех местообитаниях, включая мочажины, ковры, гряды и кочки. Он имеет более чем вековую историю и считается классическим методом определения прироста сфагновых мхов [Бегак, 1927; Солоневич, 1966; Грабовик, Кузнецов, 2016]. В настоящее время существуют аналоги этого метода, предполагающие использование проволочных индивидуальных меток [Kosykh et al., 2008]. Суть метода перевязок заключается в том, что непосредственно под головкой (апикальной меристемой) сфагнума перевязывают нить, чтобы она не перемещалась вдоль стебля мха и в то же время не пережимала его. После отрастания побега его длина от перевязанной нити до места под головкой (где исходно перевязывалась нить) является линейным приростом. Для получения репрезентативной выборки результатов прироста перевязки выполнялись в каждой ценопопуляции в количестве 50–90 штук. В общей сложности перевязки выполнены в 23 дернинах мхов, из которых 6 – со *Sphagnum fuscum*, 5 – *S. angustifolium*, 4 – *S. papillosum*, 3 – *S. balticum*, 2 – *S. divinum*, 2 – *S. majus*, 1 – *S. obtusum*.

Метод геотропических изгибов охватывал тот же спектр местообитаний, что и метод перевязок. Метод разработан относительно недавно [Mironov et al., 2016], сейчас он активно используется в сезонном мониторинге роста быстрорастущих сфагновых мхов [Mironov et al., 2020; Mironov, 2022]. Применение изгибов сте-

Таблица 2. Основные погодные-климатические показатели вегетационного периода 2023 года

Table 2. Basic weather and climatic indicators of the growing season in 2023

	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Октябрь October	Весь период Allperiod
Средняя температура, °С Average temperature, °C	10,6	13,8	15,5	16,7	14,0	2,1	12,1
Количество осадков, мм Precipitation, mm	21	39	155	71	75	134	496
Число дней с осадками Number of days with precipitation	13	14	27	17	19	28	118
Облачность нижнего яруса, % Low level cloud cover, %	40	40	60	50	50	75	50

бля и других естественных маркеров для определения линейных приростов имеет более чем полувековую историю [Корчагин, 1960; Мульдияров, Лапшина, 1983], однако принципиальным ограничением для широкого применения было отсутствие их строгой привязки к триггерам формирования. Метод геотропических изгибов снимает это ограничение. Его суть состоит в использовании геотропических изгибов, которые образуются на стеблях в результате изменения направления их роста после отклонения от исходного направления [Bismarck, 1959]. Существуют разные триггеры геотропических изгибов [Mironov et al., 2016]. В природе основным из них является снеговая нагрузка, обычно вызывающая хорошо различимые изгибы стебля. Однако в условиях плотных сфагновых дернин вес снега может оказаться недостаточным для отклонения побегов и последующего образования изгибов. Поэтому, чтобы гарантированно индуцировать геотропические изгибы, мы дополнительно искусственно вдавливали сфагновый покров на площади 30×40 см. Эта процедура выполнялась одновременно с установкой перевязок и ершиков в весеннее время, когда рост исследуемых видов еще не начался. Поскольку при формировании изгиба стебель меняет направление роста непосредственно под головкой, линейный прирост побега определяется как длина от изгиба до места под головкой. Выборка измерений составляла 30 побегов для каждого вида. В общей сложности изгибы индуцировались в 24 дернинах мха, из которых 7 – со *S. fuscum*, 5 – *S. angustifolium*, 4 – *S. papillosum*, 3 – *S. balticum*, 2 – *S. divinum*, 2 – *S. majus*, 1 – *S. obtusum*.

Метод ершиков применялся в условиях кочек и гряд для измерения линейного прироста мхов с плотной дерниной, которые обычно имеют вертикальное расположение побегов [Rydin, Jeglum, 2013]. Данный метод является одной из последних модификаций хорошо известного метода колышков [Cluto, 1970]. Мы использовали промышленно изготовленные многофункциональные ершики из металла и пластика. Их общая длина составляет 20 см, а диаметр щетины – 1 см. Для исключения прямого контакта со сфагновыми мхами металлические стержни ершиков были изолированы пластиковыми трубками. Нейлоновая щетка ершиков устанавливалась в сфагновую дернину через трубку, и после удаления трубки она надежно фиксировалась в сфагновом покрове. Ершики устанавливались в количестве 10 штук рядами от основания кочек до их вершин в пределах дернины одного вида сфагнума. В общей сложности ершиками было охвачено 12 дернин мхов, среди

которых 7 – со *Sphagnum fuscum*, 2 – *S. angustifolium*, 2 – *S. papillosum* и 1 – *S. divinum*.

Полевые работы по определению приростов мхов разными методами и взятию материала для дальнейшей оценки продукционных характеристик ценопопуляций проводились с 12 по 20 октября 2023 года при наступлении отрицательных среднесуточных температур и прекращении роста мхов.

#### Плотность сфагнового покрова

Для оценки плотности сфагнового покрова на каждой из дернин рядом с местами измерения прироста (одновременно с осенними работами по измерению прироста мхов) вырезался фрагмент размером 10×10 см в трехкратной повторности. После этого по количеству головок рассчитывалось количество побегов. Конечная оценка плотности рассчитывалась как среднее между тремя повторностями. Эта оценка использовалась в дальнейшем при расчете продуктивности сфагнового покрова по всем трем методам.

#### Продукционные показатели

Оценки данных годичной продукции, рассчитанные с использованием показателей линейных приростов методами перевязок и геотропических изгибов, отличались от полученных с приростами методом ершиков. Полученные при измерении прироста отрезались от побегов без головок. После этого выборки побегов высушивались до сухого веса в сушильном шкафу при температуре 60 °С в течение суток. Высушенные приросты взвешивались на весах с точностью до 0,001 г. После этого путем деления общей массы приростов на их количество в выборке рассчитывалась средняя масса прироста одного экземпляра. Для получения оценки продуктивности сфагнового покрова средняя масса прироста одного растения, полученного как методами перевязок и геотропических изгибов, умножалась на оценку плотности каждой сфагновой дернины. В результате была рассчитана продуктивность ценопопуляций изученных видов мхов.

По методу ершиков продуктивность оценивалась расчетным способом, который не подразумевал отрезание приростов от побегов. В этом случае средняя масса прироста вычислялась с помощью пропорции из средней массы прироста, полученного методом геотропических изгибов. Такие приросты взяты за основу для расчета по той причине, что они не подвержены повреждению и ростовым аномалиям,

которые провоцирует перевязывание побегов [Солоневич, 1966]. После расчета средней массы одного прироста продуктивность сфагнуовой ценопопуляции оценивалась с помощью умножения веса одного растения на плотность сфагнуовой дернины.

### Статистическая обработка данных

В настоящем исследовании обработка данных применялась для расчета средних значений, полученных тем или иным методом. Для этих целей применялись общепринятые статистические методы и приемы [Ивантер, Коросов, 2010]. Обработка данных выполнялась в Microsoft Excel 2007.

## Результаты

### Линейный прирост

Результаты определения линейного прироста сфагнуовых мхов, полученные тремя методами по всем ПП, представлены на рис. 2. Примеры натурного измерения линейных приростов методами перевязок и геотропических изгибов представлены на рис. 3.

Получены следующие средние значения прироста для разных видов мхов при использовании метода перевязок (см): *S. fuscum* – 1,71; *S. balticum* – 2,16; *S. angustifolium* – 3,60; *S. obtusum* – 8,44; *S. papillosum* – 1,87; *S. majus* – 3,49; *S. divinum* – 1,60. Следует отметить, что показатели приростов отдельных видов в пределах однотипных ПП довольно близки: *S. papillosum* на кочках и коврах аапа-комплексов прирастал на 0,5–2,2 см, *S. fuscum* на грядах верховых комплексов и в сосново-кустарничково-сфагнуовых участках – на 1,0–2,2 см.

Прирост этих видов, полученный методом геотропических изгибов, был следующим (см): *S. fuscum* – 3,00; *S. balticum* – 3,51; *S. angustifolium* – 6,01; *S. obtusum* – 11,05; *S. papillosum* – 3,02; *S. majus* – 3,92; *S. divinum* – 3,92. Метод ершиков дал следующие оценки приростов (см): *S. fuscum* – 1,99; *S. angustifolium* – 2,97; *S. papillosum* – 2,43; *S. divinum* – 1,03.

Таким образом, показатели линейного прироста, полученные разными методами, существенно различаются между собой. Наибольшие значения получены с помощью метода геотропических изгибов, в то время как при использовании методов перевязок и ершиков оценки были явно ниже и ближе между собой.

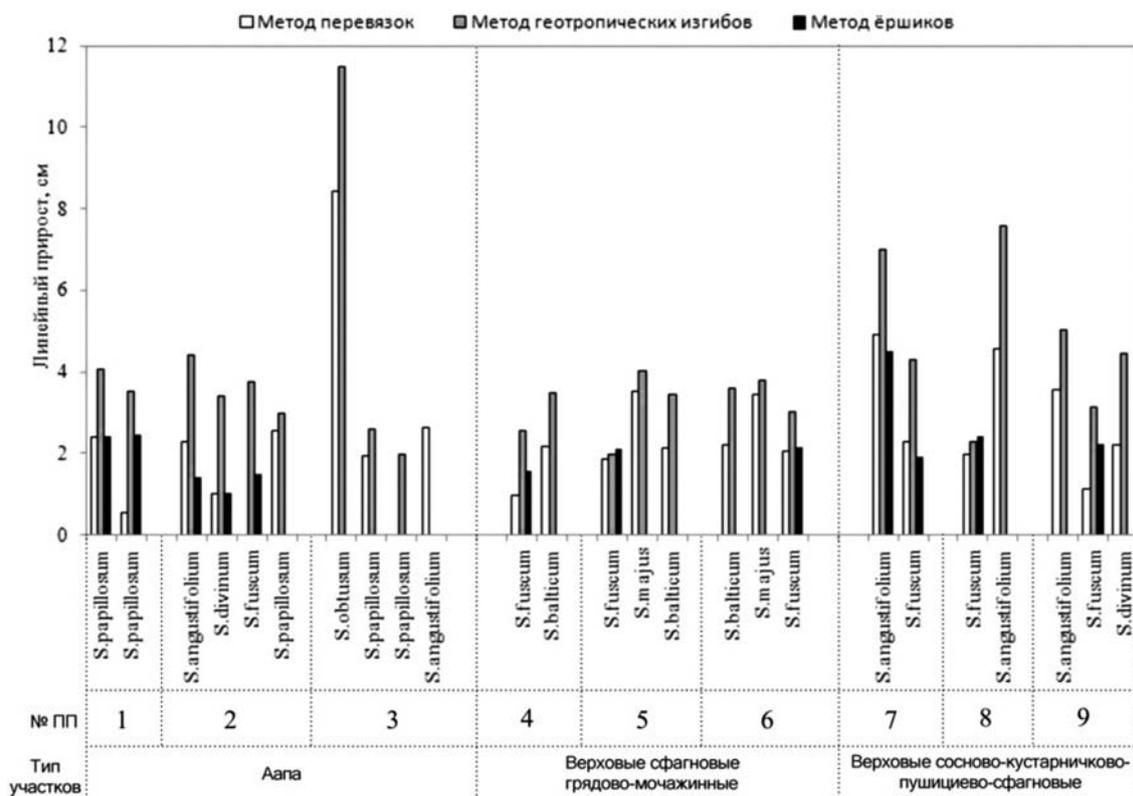


Рис. 2. Линейный прирост сфагнуовых мхов на отдельных пробных площадях

Fig. 2. Linear increment of Sphagnum mosses in different sample plots



Рис. 3. Примеры сфагновых мхов с перевязками и геотропическими изгибами:

в верхнем ряду – *Sphagnum papillosum* (ПП 3), в нижнем ряду – *S. majus* (ПП 6). В обоих случаях слева показаны побеги с перевязками, справа – с геотропическими изгибами

Fig. 3. Examples of *Sphagnum* mosses with thread tied and geotropic curvatures:

top row – *Sphagnum papillosum* (SP 3), bottom row – *S. majus* (SP 6). In both cases, shoots with thread tied are shown on the left, and with geotropic curvatures – on the right.

Полученные методом геотропических изгибов приросты были больше полученных методом перевязок на 76,0 % для *S. fuscum*, на 62,4 % для *S. balticum*, на 66,8 % для *S. angustifolium*, на 36,3 % для *S. obtusum*, на 61,6 % для *S. papillosum*, на 12,4 % для *S. majus* и на 144,6 % для *S. divinum*. При этом превышение приростов, полученных методом геотропических изгибов, относительно полученных методом ершиков было 51,1 % для *S. fuscum*, 102,1 % для *S. angustifolium*, 24,1 % для *S. papillosum* и 282,3 % для *S. divinum*. Сравнение приростов, измеренных методами перевязок и ершиков, показало, что метод перевязок дал показатели выше на 17,4 % для *S. angustifolium* и на 36,0 % для *S. divinum*, при этом он ниже на 16,5 % для *S. fuscum* и на 30,2 % для *S. papillosum*.

#### Оценка плотности сфагнового покрова

Результаты определения средней плотности сфагновых дернин по пробным площадям представлены на рис. 4. Данные показывают, что плотность дернин разных видов сфагновых мхов сильно варьирует. На квадратном

дециметре болотной поверхности среднее количество побегов составило: для *S. fuscum* – 773, *S. balticum* – 253, *S. angustifolium* – 311, *S. obtusum* – 90, *S. papillosum* – 170, *S. majus* – 144 и *S. divinum* – 153. Самые большие вариации отмечены у *S. fuscum* – от 600 до 1100.

#### Оценка продукционных характеристик годичного прироста

Результаты определения средней массы прироста одной особи сфагновых мхов, измеренного разными методами, по пробным площадям представлены на рис. 5. Средние значения при использовании метода перевязок составляют (г): *S. fuscum* – 0,0043; *S. balticum* – 0,0105; *S. angustifolium* – 0,0095; *S. obtusum* – 0,0594; *S. papillosum* – 0,0188; *S. majus* – 0,0209; *S. divinum* – 0,0141. При этом масса прироста особей этих видов при использовании метода геотропических изгибов следующая (г): *S. fuscum* – 0,0052; *S. balticum* – 0,0100; *S. angustifolium* – 0,0118; *S. obtusum* – 0,0528; *S. papillosum* – 0,0215; *S. majus* – 0,0174; *S. divinum* – 0,0147. Метод ершиков дал следующие

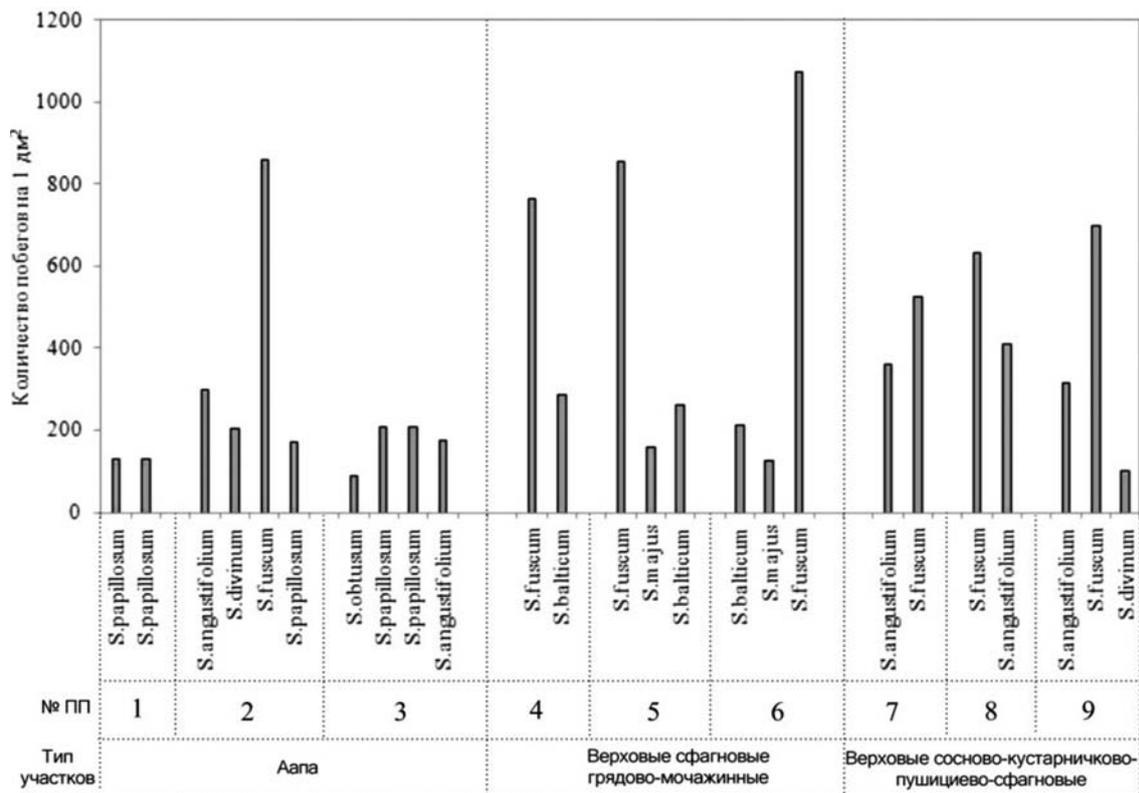


Рис. 4. Плотность сфагнового покрова на разных пробных площадях

Fig. 4. Density of Sphagnum cover in different sample plots

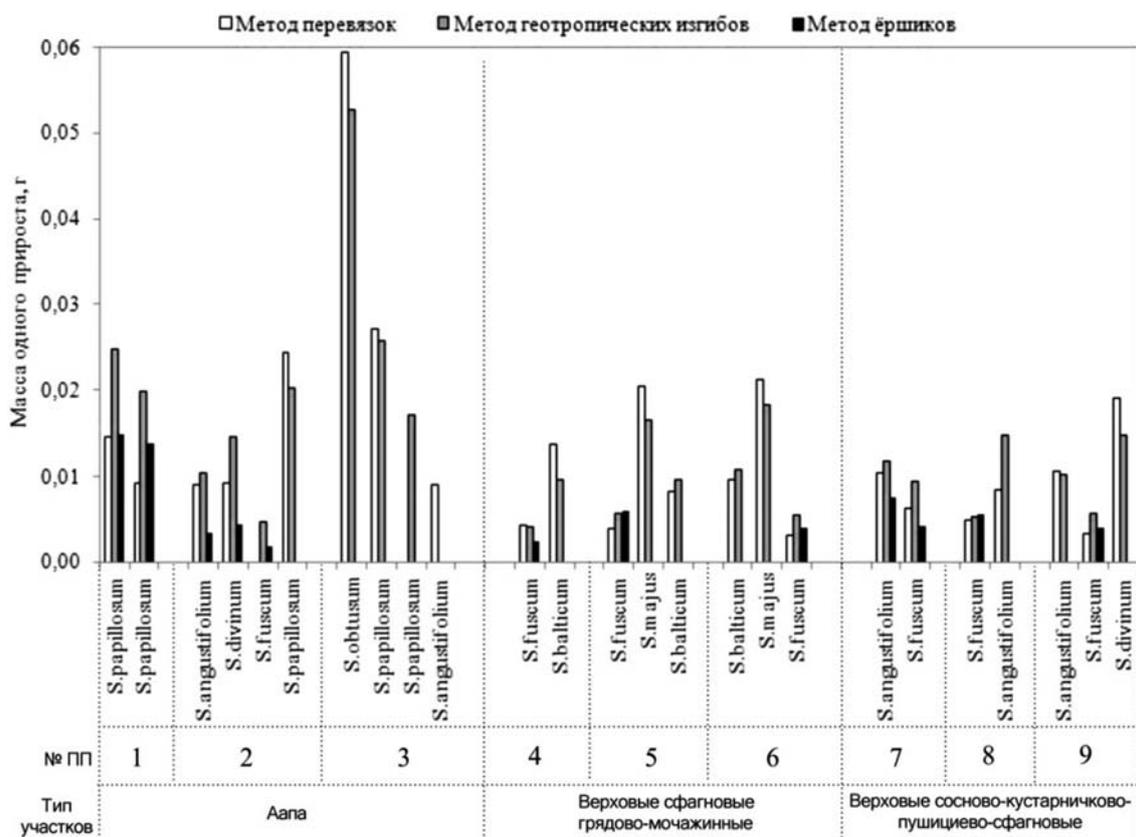


Рис. 5. Масса прироста одной особи сфагновых мхов на разных пробных площадях

Fig. 5. Weight of one increment of Sphagnum mosses in different sample plots

оценки массы прироста особей (г): *S. fuscum* – 0,040; *S. angustifolium* – 0,055; *S. papillosum* – 0,0143; *S. divinum* – 0,0044.

Таким образом, хотя исходно полученные с помощью методов перевязок и геотропических изгибов линейные приросты существенно отличались, мы видим, что значения массы их отдельных особей оказались близки друг к другу. Метод геотропических изгибов продемонстрировал более высокие оценки массы прироста одной особи относительно метода перевязок для *S. fuscum* (20,2 %), *S. angustifolium* (24,3 %), *S. papillosum* (14,5 %) и *S. divinum* (3,6 %) и более низкие оценки для *S. balticum* (–3,9 %), *S. obtusum* (–11,1 %) и *S. majus* (–17,0 %). В то же время метод геотропических изгибов дал явно более высокие оценки массы прироста особей по сравнению с методом ершиков, различия (%) составили: для *S. fuscum* – 28,1; *S. angustifolium* – 114,8; *S. papillosum* – 50,7; *S. divinum* – 232,1. Сравнение методов перевязок и ершиков показало, что метод перевязок во всех случаях дал более высокие оценки массы прироста отдельной особи мха. Она составила (%): для *S. fuscum* – 6,1; *S. angustifolium* – 42,2; *S. papillosum* – 24,0; *S. divinum* – 68,8.

Для понимания причин значительных различий между линейными и весовыми характеристиками прироста, полученного методами перевязок и геотропических изгибов, отдельно была рассчитана средняя масса 1 см прироста особи мха. При использовании метода перевязок она составляет (г): у *S. fuscum* – 0,0027; *S. balticum* – 0,0048; *S. angustifolium* – 0,0029; *S. obtusum* – 0,0070; *S. papillosum* – 0,0115; *S. majus* – 0,0060; *S. divinum* – 0,0089. При этом масса 1 см фрагмента стебля этих видов при использовании метода геотропических изгибов была следующей (г): *S. fuscum* – 0,0020; *S. balticum* – 0,0029; *S. angustifolium* – 0,0020; *S. obtusum* – 0,0046; *S. papillosum* – 0,0074; *S. majus* – 0,0044; *S. divinum* – 0,0038. Эти данные свидетельствуют о том, что в течение вегетации побеги с перевязками активнее накапливали массу, чем побеги с геотропическими изгибами. Эти различия составили (%): у *S. fuscum* – 27,2; *S. balticum* – 40,9; *S. angustifolium* – 29,9; *S. obtusum* – 34,8; *S. papillosum* – 35,3; *S. majus* – 26,0 и *S. divinum* – 57,5.

Продуктивность ценопопуляций сфагновых мхов на ПП, рассчитанная по рассмотренным показателям, представлена на рис. 6.

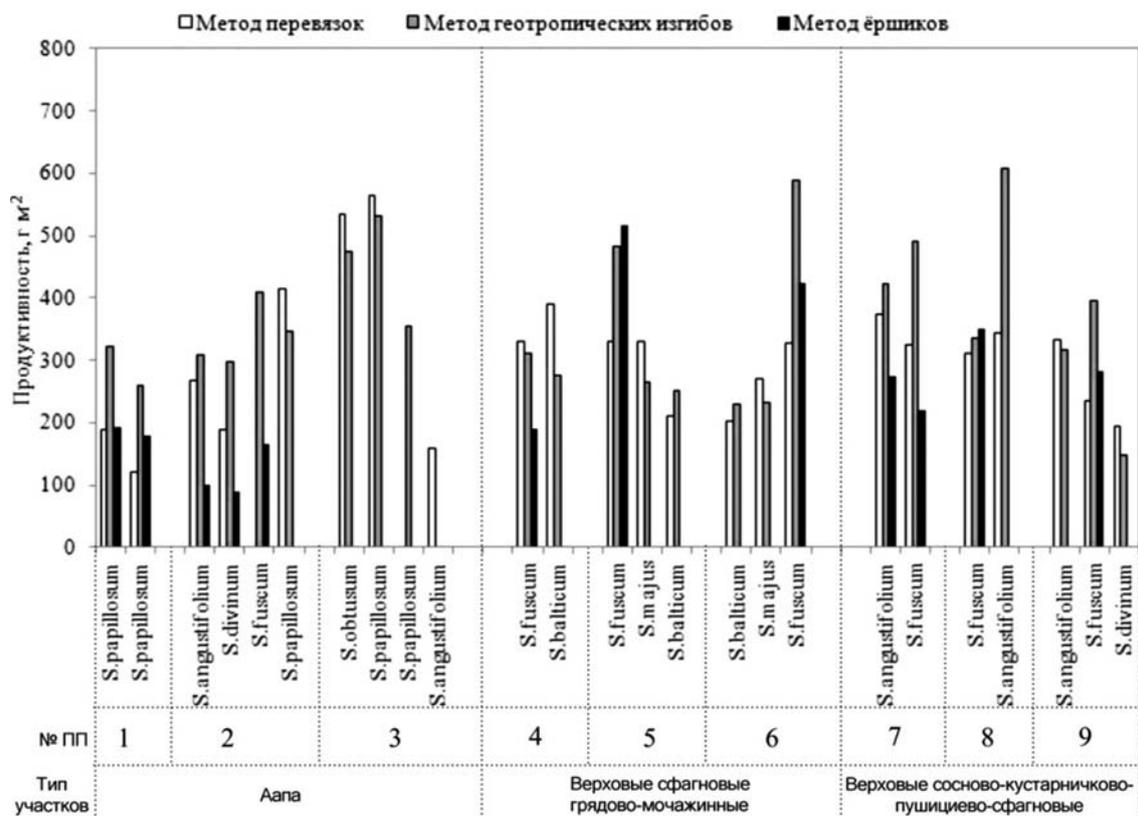


Рис. 6. Продуктивность сфагновых мхов на разных пробных площадях

Fig. 6. Productivity of Sphagnum mosses in different sample plots

Средние значения для видов, исследованных методом перевязок на разных ПП, следующие (г м<sup>-2</sup>): *S. fuscum* – 310,2; *S. balticum* – 268,2; *S. angustifolium* – 295,3; *S. obtusum* – 534,3; *S. papillosum* – 322,2; *S. majus* – 300,5; *S. divinum* – 191,3. При этом установлено большое варьирование показателей у некоторых видов в пределах однотипных ПП в зависимости от локальных условий обитания модельных ценопопуляций. Так, продуктивность *S. papillosum* на коврах в аапа-комплексах составляет от 150 до 560 г м<sup>-2</sup>, а *S. balticum* в мочажинах верховых комплексов – от 250 до 400 г м<sup>-2</sup>.

Показатели продуктивности, полученные при использовании метода геотропических изгибов, составили (г м<sup>-2</sup>): *S. fuscum* – 431,0; *S. balticum* – 252,1; *S. angustifolium* – 414,7; *S. obtusum* – 474,9; *S. papillosum* – 363,4; *S. majus* – 248,3; *S. divinum* – 264,3. По методу ершиков продуктивность составляет (г м<sup>-2</sup>): *S. fuscum* – 307,3; *S. angustifolium* – 186,8; *S. papillosum* – 186,7; *S. divinum* – 90,1.

Таким образом, метод геотропических изгибов показывает более высокие оценки продуктивности относительно метода перевязок (%) для *S. fuscum* (38,9), *S. angustifolium* (40,4), *S. papillosum* (12,8) и *S. divinum* (38,1) и более низкие для *S. balticum* (–6,0), *S. obtusum* (–11,1) и *S. majus* (–17,4). Также метод геотропических изгибов дал явно более высокие оценки продуктивности по сравнению с методом ершиков, различия (%) составили: для *S. fuscum* – 40,3; *S. angustifolium* – 121,9; *S. papillosum* – 94,6 и *S. divinum* – 193,2. Сравнение методов перевязок и ершиков показало, что метод перевязок во всех случаях дал более высокие оценки продуктивности. Она составила 0,95 % для *S. fuscum*; 36,7 % для *S. angustifolium*; 42,0 % для *S. papillosum* и 52,9 % для *S. divinum*.

## Обсуждение

### Различие линейных приростов, полученных разными методами

Результаты исследования согласуются с мнением ряда авторов, что использование разных методов ведет к получению явно различающихся оценок линейного прироста сфагновых мхов [Clymo, 1970; Илометс, 1976; Pouliot et al., 2010; Siegenthaler et al., 2014; Mironov et al., 2016]. Анализ полученных данных линейного прироста показал, что оценки, полученные методом геотропических изгибов, почти во всех случаях превышали таковые при использовании методов перевязок или ершиков. Разница в приросте, измеренном методом

перевязок и геотропических изгибов, составила 12,4–144,6 % среди изученных видов, при этом она закономерно отличалась у видов, занимающих разные элементы микрорельефа. У мочажинных видов *S. majus*, *S. balticum*, *S. obtusum* она была явно ниже (12,4–62,4 %), чем у кочковых и ковровых видов *S. fuscum*, *S. divinum*, *S. angustifolium*, *S. papillosum* (66,8–144,6 %).

Имеющиеся среднемноголетние (2001–2010 гг.) данные по приросту мхов на этой же болотной системе Койвуламбису, полученные методом перевязок, свидетельствуют о больших колебаниях показателей в разные годы в зависимости от погодно-климатических условий вегетационного периода [Grabovik, Nazarova, 2013]. Так, средний прирост *S. majus* составил в те годы 50,9 мм/год (22–62), *S. balticum* – 16,3 (8–31), *S. obtusum* – 96,8 (29–140), что в целом согласуется с нашими результатами, полученными в 2023 году методом перевязок.

В качестве одной из наиболее вероятных причин различий приростов при методах перевязок и геотропических изгибов мы рассматриваем влияние перевязывания побегов на рост сфагновых мхов. Эта процедура неизбежно нарушает капиллярное взаимодействие между апикальными участками побегов, что увеличивает уязвимость перевязанных побегов к пересыханию и водному стрессу. Поскольку мочажинные виды растут практически в водной среде, исходно они менее подвержены пересыханию. Плотность их побегов в дернине меньше, поэтому при выполнении перевязок структура их покрова нарушается меньше, чем у кочковых видов. Кроме того, поскольку перевязывание подразумевает механическое воздействие на стебли побегов, оно потенциально может сопровождаться микроповреждениями в апикальных участках побегов. Таким образом, оба эти эффекта могли нарушить нормальное функционирование верхушек побегов, в которых расположены ответственные за рост апикальные меристемы.

Одним из свидетельств того, что функционирование апикальной меристемы на перевязанных побегах действительно нарушается, является аномальное ветвление побегов. Этот феномен широко встречается у перевязанных сфагнов [Солоневич, 1966]. Его физиологической причиной является потеря или ослабление доминирования апикальной меристемы (апикальное доминирование), в результате чего запускается рост побегов из боковых почек [Смоляницкий, 1977]. В нашем исследовании аномальное ветвление было явным у ковровых и кочковых видов в дернинах с перевязками и менее выражено у мочажинных видов.

Эта черта, а также наибольшая разница прироста между побегами с перевязками и геотропическими изгибами (66,8–144,6 %) свидетельствуют о том, что в условиях кочек и ковров происходило более серьезное нарушение функционирования апикальной меристемы. Менее выраженное ветвление перевязанных побегов и значительно меньшая разница прироста между побегами с перевязками и геотропическими изгибами (12,4–62,4 %) в мочажинах указывает на то, что функционирование апикальной меристемы нарушалось здесь слабее относительно ковров и кочек. Таким образом, на основании этих косвенных признаков мы предполагаем, что различие в снабжении влагой вносило больший вклад, чем механическое повреждение, в различие оценок линейного прироста между перевязанными побегами и побегами с геотропическими изгибами.

Также мы не исключаем, что метод геотропических изгибов мог оказать противоположное методу перевязок влияние на оценку линейного прироста сфагновых мхов. В данном исследовании для индукции более четких геотропических изгибов мы дополнительно вдавливали сфагновый покров, в результате чего расстояние между его поверхностью и уровнем болотных вод слегка сокращалось. Это потенциально могло улучшить водоснабжение побегов и ускорить их рост. Однако остается неясным, существовал ли этот эффект в нашем случае, поскольку более высокие оценки линейного прироста побегов с геотропическими изгибами относительно перевязанных побегов отмечаются и без процедуры дополнительного вдавливания [Mironov et al., 2016].

Линейный прирост, измеренный методами ершиков и геотропических изгибов, отличался у разных видов на 51,1–282,3 %. Поскольку применение метода ершиков было невозможно в мочажинных местообитаниях, полученные различия относятся только к кочковым и ковровым видам (*S. fuscum*, *S. divinum*, *S. angustifolium*, *S. papillosum*). Одной из возможных причин выявленных различий могло быть то, что ершики являются подвижными маркерами и предназначены для оценки прироста сфагновой дернины, но не отдельно взятых побегов. Ошибка, возникающая вследствие смещения ершиков, по всей видимости, была случайной, но в некоторых случаях из-за малого количества выборок она могла серьезно повлиять на результат измерения. Кроме того, поскольку побеги в дернине обычно расположены под некоторым наклоном, систематическое влияние метода ершиков будет заключаться в занижении оценки прироста. Поэтому метод ершиков

лучше подходит для измерений видов высоких кочек с малыми приростами.

#### *Различие массовых характеристик, полученных разными методами*

Вопрос о том, как оценка линейного прироста, полученная тем или иным методом, соотносится с оценками массового прироста и продуктивности сфагнового покрова, до сих пор остается слабоизученным. Наше исследование дает интересные и достаточно неожиданные результаты в этом направлении.

Анализ средней массы прироста показал, что у перевязанных побегов мочажинных видов (*S. majus*, *S. balticum*, *S. obtusum*) она была на 3,9–17,0 % больше относительно побегов с геотропическими изгибами. При этом у ковровых и кочковых видов (*S. fuscum*, *S. divinum*, *S. angustifolium*, *S. papillosum*) прирост перевязанных побегов оказался на 3,6–24,3 % меньше относительно побегов с геотропическими изгибами. Оценка различий массы одного сантиметра прироста показала, что у перевязанных побегов всех видов она была больше относительно побегов с геотропическими изгибами. У мочажинных видов один сантиметр прироста перевязанных побегов весил на 26,0–40,9 % больше относительно побегов с геотропическими изгибами. При этом в случае кочковых и ковровых видов аналогичные различия составили 27,2–57,5 %. Эти результаты показывают, что, несмотря на существенно более низкие оценки линейного прироста перевязанных побегов относительно побегов с геотропическими изгибами, разница между ними значительно сокращается (в случае кочковых и ковровых видов) или даже сверхкомпенсируется (в случае мочажинных видов) при накоплении биомассы.

Более интенсивное накопление биомассы (как и аномальное ветвление) перевязанных побегов относительно побегов с геотропическими изгибами, по всей видимости, было одним из следствий ослабления в них апикального доминирования. Перевязанные побеги сфагнов становились более мощными и приобретали более высокую плотность расположения веточек, то есть демонстрировали признаки роста не в длину, а в ширину. Вероятно, это и было основной причиной их более высокой биомассы. Похожие ростовые эффекты вызывает пинцировка (прищипывание) апикальных участков растений, широко используемая в сельском хозяйстве для повышения урожайности, продуктивности и жизнестойкости культур. Аномальное ветвление перевязанных побегов вряд ли внесло существенный вклад

в оценку накопления биомассы, поскольку мы отстригали все дополнительные ответвления побегов, поэтому они не влияли на результат взвешивания. Мы допускаем, что определенная систематическая ошибка могла присутствовать на этапе перевязывания побегов. Здесь предпочтение могло отдаваться несколько более крупным побегам, поскольку они удобнее для крепления перевязок. Поэтому если для перевязывания крупные побеги выбирались чаще, чем они встречаются в сфагновом покрове, это закономерно увеличивало оценку накопления биомассы побегов.

Различия в массе прироста побегов, обусловленные методами перевязок и геотропических изгибов, находят отражение в оценках продуктивности. Так, продуктивность мочажинных видов, оцененная методом перевязок, оказалась на 6,0–17,4 % выше относительно метода геотропических изгибов. В то же время в случае кочковых и ковровых видов использование метода перевязок привело к заниженной на 12,8–40,4 % относительно метода геотропических изгибов оценке продуктивности. Таким образом, мы видим, что в условиях мочажин исходно наблюдаемые более низкие оценки линейного прироста у перевязанных побегов относительно побегов с изгибами сопровождаются более высокими оценками продуктивности. При этом в условиях ковров и кочек исходно большие различия между оценками линейного прироста перевязанных побегов и побегов с изгибами сопровождались явным сокращением разницы в продуктивности. Неполное сокращение этой разницы могло быть связано с тем, что для этих местообитаний типична более сильная нехватка влаги, которая не только негативно влияет на линейный рост побегов, но и затрагивает накопление биомассы в них.

Сравнение средней массы прироста, полученного методами ершиков и геотропических изгибов, показало, что метод ершиков давал оценки на 28,1–232,1 % ниже относительно метода геотропических изгибов. При этом продуктивность сфагнового покрова при использовании метода ершиков оказалась на 40,3–193,2 % ниже относительно метода геотропических изгибов. Таким образом, изначально существующая разница в линейных приростах (51,1–282,3 %) между этими методами фактически сохранялась в оценках продуктивности. На оценку различий между методами потенциально могло повлиять то, что при оценке продуктивности методом ершиков применялась экстраполяция средней массы прироста особи, полученной методом

геотропических изгибов. Этот подход использовался по той причине, что приросты с геотропическими изгибами были наиболее близки к интактным растениям.

## Заключение

Выбор метода исследования прироста серьезно влияет на оценку линейного прироста, а также продуктивности сфагнового покрова. В данном исследовании мы использовали три метода измерения линейного прироста, однако наиболее полное сравнение проведено для методов перевязок и геотропических изгибов, применявшихся во всех местообитаниях. Метод перевязок дал на 12,4–144,6 % более низкие оценки линейного прироста относительно метода геотропических изгибов. Однако перевязанные особи мхов накопили большую биомассу, поэтому разница в оценках продуктивности ценопопуляций, полученных с помощью этих двух методов, разительно отличалась от оценок линейных приростов. Продуктивность кочковых и ковровых видов, полученная методом перевязок, была на 12,8–40,4 % ниже относительно метода геотропических изгибов. Однако в случае мочажинных видов использование метода перевязок привело к более высокой (на 6,0–17,4 %) оценке продуктивности по сравнению с методом изгибов. В целом наши результаты указывают на то, что для исследования роста, как фундаментального биологического процесса у сфагновых мхов, наиболее рационально использование метода геотропических изгибов. Однако для оценки массовых характеристик приростов и продуктивности сфагнового покрова могут использоваться как метод геотропических изгибов, так и метод перевязок. Что касается метода ершиков, он дает заниженные оценки линейного прироста (51,1–282,3 %) и продуктивности (40,3–193,2 %) относительно метода геотропических изгибов. Столь существенные различия указывают на то, что метод ершиков может иметь тенденцию к занижению оценок продуктивности сфагнового покрова. В заключение мы допускаем, что на результаты исследования могли накладываться отпечаток погодноклиматические условия, которые были благоприятны для роста сфагновых мхов в текущем сезоне вегетации. В более засушливых условиях может быть другое соотношение между линейными приростами, а также продуктивностью, полученными с помощью этих методов. Однако точный ответ на этот вопрос невозможен без дальнейших исследований, которые авторами будут продолжены.

## Литература

Бегак Д. А. О приросте торфяников // Торфяное дело. 1927. № 11. С. 300–306.

Грабовик С. И. Динамика продуктивности ценопопуляций сфагновых мхов южной Карелии // Ботанический журнал. 2003. Т. 88, № 4. С. 41–48.

Грабовик С. И., Антипин В. К. Линейный прирост и величина живой части некоторых видов сфагновых мхов и их связь с гидрометеорологическими показателями // Эколого-биологические особенности и продуктивность растений болот. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1982. С. 195–203.

Грабовик С. И., Кузнецов О. Л. Рост и продуктивность ценопопуляций сфагновых мхов на естественных и трансформированных болотах Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 59–69. doi: 10.17076/есо290

Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия / Ред. Э. В. Ивантер, А. В. Коросов. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. 104 с.

Илометс М. Продуктивность сфагнового покрова на примере Гусиного болота // Труды Печоро-Ильчского заповедника. 1976. № 13. С. 40–57.

Корчагин А. А. Определение возраста и длительности жизни мхов и печеночников // Полевая геоботаника. М.; Л.: АН СССР, 1960. Т. 2. С. 279–315.

Мульдьяров Е. Я., Лапшина Е. Д. Датировка верхних слоев торфяной залежи, используемой для изучения космических аэрозолей // Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука, 1983. С. 75–84.

Смоляницкий Л. Я. Некоторые закономерности формирования дернины сфагновых мхов // Ботанический журнал. 1977. Т. 61, № 9. С. 1266–1272.

Солоневич Н. Г. К биологии сфагновых мхов // Ботанический журнал. 1966. Т. 51, № 9. С. 1297–1302.

Bismarck R. Überdengeotropismus der Sphagnen // Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung. 1959. Vol. 148, n. 1. S. 23–83.

Clymo R. S. The growth of Sphagnum: methods of measurement // J. Ecol. 1970. Vol. 58, no. 1. P. 13–49. doi: 10.2307/2258168

Grabovik S. I., Nazarova L. E. Linear increment of Sphagnum mosses on Karelian mires (Russia) // Arctoa. 2013. Vol. 22, no. 1. P. 23–26. doi: 10.15298/arctoa.22.04.

Joosten H., Clarke D. Wise use of mires and peatlands // International mire conservation group and international peat society. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy, 2002. 304 p.

Kosykh N. P., Koronatova N. G., Naumova N. B., Titlyanova A. A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia // Wetl. Ecol. Manag. 2008. Vol. 16, no. 2. P. 139–153. doi: 10.1007/s11273-007-9061-7

Kosykh N. P., Koronatova N. G., Granath G. Effect of temperature and precipitation on linear increment of *Sphagnum fuscum* and *S. magellanicum* in Western Siberia // Russian Journal of Ecology. 2017. Vol. 48, no. 3. P. 203–211. doi: 10.1134/S1067413617030080

Limpens J., Berendse F., Blodau C., Canadell J., Freeman C., Holden J., Roulet N., Rydin H., Schaep-

man-Strub G. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis // Biogeosci. 2008. Vol. 5, no. 5. P. 1475–1491. doi:10.5194/bg-5-1475-2008

Mironov V. L. Cloud cover disrupts the influence of the lunar cycle on the growth of peat moss *Sphagnum riparium* // Environ. Exp. Bot. 2022. Vol. 194. Art. 104727. doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104727

Mironov V. L., Grabovik S. I., Ignashov P. A., Kantserova L. V. Geotropic curvatures of Sphagnum: environmental features of their genesis and trial application for estimation shoot length increment // Arctoa. 2016. Vol. 25, no. 1. P. 353–363. doi: 10.15298/arctoa.25.27

Mironov V. L., Kondratev A. Y., Mironova A. V. Growth of Sphagnum is strongly rhythmic: contribution of the seasonal, circalunar and third components // Physiol. Plant. 2020. Vol. 168, no. 4. P. 765–776. doi: 10.1111/ppl.13037

Pouliot R., Marchand-Roy M., Rochefort L., Gauthier G. Estimating moss growth in arctic conditions: a comparison of three methods // The Bryologist. 2010. Vol. 113, no. 2. P. 322–332. doi: 10.1639/0007-2745-113.2.322

Rydin H., Gunnarsson U., Sundberg S. The role of Sphagnum in peatland development and persistence // Boreal Peatland Ecosystems. 2006. Vol. 188. P. 47–65. doi: 10.1007/978-3-540-31913-9\_4

Rydin H., Jeglum J. K. The biology of peatlands. 2<sup>nd</sup> ed. 2013. New York: Oxford Univ. Press, 432 p.

Siegenthaler A., Buttler A., Gobat J.-M., Mitchell E. Discrepancies in growth measurement methods of mosses: An example from two keystone species grown under increased CO<sub>2</sub> and N supply in a restored peatland // Am. J. Plant Sci. 2014. Vol. 5. P. 2354–2371. doi: 10.4236/ajps.2014.515249

Vitt D. H. Functional characteristics and indicators of boreal peatlands // Boreal peatland ecosystems. Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. P. 9–24.

Vitt D. H. Estimating moss and lichen ground layer net primary production in tundra, peatlands, and forests // Principles and standards for measuring primary production. New York: Oxford Univ. Press, 2007. P. 82–105. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195168662.003.0006

Yu Z., Loisel J., Brosseau D., Beilman D., Hunt S. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum // Geophys. Res. Lett. 2010. Vol. 37, no. 13. Art. 13402. doi: 10.1029/2010GL043584

## References

Begak D. A. On the growth of peat bogs. *Torfyanoe delo = Peat Business*. 1927;11:300–306. (In Russ.)

Bismarck R. Überden geotropismus der Sphagnen. *Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung*. 1959; 148(1):23–83.

Clymo R. S. The growth of Sphagnum: methods of measurement. *J. Ecol.* 1970;58(1):13–49. doi: 10.2307/2258168

Grabovik S. I. Dynamics of productivity of sphagnum mosses cenopopulations in southern Karelia. *Bot. Zhurn.* 2003;88(4):41–48. (In Russ.)

Grabovik S. I., Antipin V. K. Linear growth and size of the living part of some species of sphagnum mosses and their dependence on hydrometeorological parameters.

*Ekologo-biologicheskie osobennosti i produktivnost' rastenii bolot = Ecological and biological features and productivity of mires plants.* Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1982. P. 195–203. (In Russ.)

Grabovik S. I., Kuznetsov O. L. Growth and productivity of cenopopulations of Sphagnum mosses in natural and transformed mires of Karelia. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre of RAS.* 2016;4:59–69. doi: 10.17076/eco290 (In Russ.)

Grabovik S. I., Nazarova L. E. Linear increment of Sphagnum mosses on Karelian mires (Russia). *Arctoa.* 2013;22(1):23–26. doi: 10.15298/arctoa.22.04

Joosten H., Clarke D. Wise use of mires and peatlands. *International mire conservation group and international peat society.* Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy; 2002. 304 p.

Ilomets M. Productivity of sphagnum cover on the example of the Gusinoye mire. *Trudy Pechoro-Ilychskogo zapovednika = Proceedings of the Pechora-Ilych Nature Reserve.* 1976;13:40–57. (In Russ.)

Ivanter E. V., Korosov A. V. Elementary biometrics. Petrozavodsk: PetrGU; 2010. 104 p. (In Russ.)

Korchagin A. A. Determination of age and lifespan of mosses and liverworts. *Polevaya geobotanika = Field Geobotany.* Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1960. Vol. 2. P. 279–315. (In Russ.)

Kosykh N. P., Koronatova N. G., Naumova N. B., Titlyanova A. A. Above- and below-ground phytomass and net primary production in boreal mire ecosystems of Western Siberia. *Wetl. Ecol. Manag.* 2008;16(2): 139–153. doi: 10.1007/s11273-007-9061-7

Kosykh N. P., Koronatova N. G., Granath G. Effect of temperature and precipitation on linear increment of *Sphagnum fuscum* and *S. magellanicum* in Western Siberia. *Russian Journal of Ecology.* 2017;48(3):203–211. doi: 10.1134/S1067413617030080

Limpens J., Berendse F., Blodau C., Canadell J., Freeman C., Holden J., Roulet N., Rydin H., Schaepman-Strub G. Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis. *Biogeosci.* 2008;5(5):1475–1491. doi:10.5194/bg-5-1475-2008

Mironov V. L. Cloud cover disrupts the influence of the lunar cycle on the growth of peat moss *Sphagnum riparium*. *Environ. Exp. Bot.* 2022;194:104727. doi: 10.1016/j.envexpbot.2021.104727

Mironov V. L., Grabovik S. I., Ignashov P. A., Kantserova L. V. Geotropic curvatures of Sphagnum: environmental features of their genesis and trial application for estimation shoot length increment. *Arctoa.* 2016;25(1):353–363. doi: 10.15298/arctoa.25.27

Mironov V. L., Kondratev A. Y., Mironova A. V. Growth of Sphagnum is strongly rhythmic: contribution of the seasonal, circalunar and third components. *Physiol. Plant.* 2020;168(4):765–776. doi: 10.1111/ppl.13037

Mul'diyarov E. Ya., Lapshina E. D. Dating of the upper layers of a peat deposit used to study cosmic aerosols. *Meteoritnye i meteornye issledovaniya = Meteorite and meteor research.* Novosibirsk: Nauka; 1983. P. 75–84. (In Russ.)

Pouliot R., Marchand-Roy M., Rochefort L., Gauthier G. Estimating moss growth in arctic conditions: a comparison of three methods. *The Bryologist.* 2010; 113(2):322–332. doi: 10.1639/0007-2745-113.2.322

Rydin H., Gunnarsson U., Sundberg S. The role of Sphagnum in peatland development and persistence. *Boreal Peatland Ecosystems.* 2006;188:47–65. doi: 10.1007/978-3-540-31913-9\_4

Rydin H., Jeglum J. K. The biology of peatlands. 2<sup>nd</sup> ed. 2013. New York: Oxford Univ. Press; 432 p.

Siegenthaler A., Buttler A., Gobat J.-M., Mitchell E. Discrepancies in growth measurement methods of mosses: An example from two keystone species grown under increased CO<sub>2</sub> and N supply in a restored peatland. *Am. J. Plant Sci.* 2014;5:2354–2371. doi: 10.4236/ajps.2014.515249

Smolyanitskii L. Ya. Some patterns of formation of sphagnum moss turf. *Bot. Zhurn.* 1977;61(9):1266–1272. (In Russ.)

Solonevich N. G. K On the biology of sphagnum mosses. *Bot. Zhurn.* 1966;51(9):1297–1302. (In Russ.)

Vitt D. H. Functional characteristics and indicators of boreal peatlands. *Borealpeatland ecosystems.* Berlin-Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006. P. 9–24.

Vitt D. H. Estimating moss and lichen ground layer net primary production in tundra, peatlands, and forests. *Principles and standards for measuring primary production.* New York: Oxford Univ. Press; 2007. P. 82–105. doi: 10.1093/acprof:oso/9780195168662.003.0006

Yu Z., Loisel J., Brosseau D., Beilman D., Hunt S. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.* 2010;37(13):13402. doi: 10.1029/2010GL043584

Поступила в редакцию / received: 06.11.2023; принята к публикации / accepted: 04.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

**Миронов Виктор Леонидович**

научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

e-mail: vict.mironoff@yandex.ru

**Кузнецов Олег Леонидович**

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

**Mironov, Viktor**

Researcher

**Kuznetsov, Oleg**

Dr. Sci (Biol.), Chief Researcher

**Канцерова Любовь Викторовна**

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: Kancerova.L@mail.ru*

**Кутенков Станислав Анатольевич**

канд. биол. наук, руководитель лаборатории болотных экосистем

*e-mail: effort@krc.karelia.ru*

**Игнашов Павел Алексеевич**

младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: paul.ignashov@gmail.com*

**Талбонен Елена Людвиговна**

главный биолог лаборатории болотных экосистем

*e-mail: taelena3011@gmail.com*

**Васюта Вероника Сергеевна**

биолог лаборатории болотных экосистем

*e-mail: nikusha.2001@yandex.ru*

**Свирида Анастасия Николаевна**

биолог лаборатории болотных экосистем

*e-mail: anastasia.svirida@yandex.ru*

**Kantserova, Lyubov'**

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

**Kutenkov, Stanislav**

Cand. Sci. (Biol.), Head of the Laboratory for Mire Ecosystems

**Ignashov, Pavel**

Junior Researcher

**Talbonen, Elena**

Chief Biologist

**Vasyuta, Veronika**

Biologist

**Svirida, Anastasiya**

Biologist

УДК 581.9(470.11)

## РАЗНООБРАЗИЕ ТИПОВ БОЛОТ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛ.)

**О. В. Галанина**

*Санкт-Петербургский государственный университет (Университетская наб., 7-9,  
Санкт-Петербург, Россия, 199034)*

*Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН (ул. Профессора Попова, 2, лит. В,  
Санкт-Петербург, Россия, 197022)*

Статья содержит сведения о типах болотных массивов, изученных в среднем течении р. Северная Двина (Архангельская обл.). Приводятся данные о растительном покрове болот, его пространственной структуре, а также сведения о стратиграфии торфяной залежи. Обсуждается связь болотообразовательного процесса с современными проявлениями карста.

Ключевые слова: болотные массивы; типология; растительность; торфяная залежь; Архангельская область; карст

Для цитирования: Галанина О. В. Разнообразие типов болот в среднем течении реки Северная Двина (Архангельская обл.) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 65–70. doi: 10.17076/eco1842

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания БИН РАН (121032500047-1) и гранта РФФИ (13-05-00837).

## **O. V. Galanina. DIVERSITY OF MIRE TYPES IN THE MIDDLE COURSE OF THE NORTHERN DVINA RIVER (ARKHANGELSK REGION)**

*St. Petersburg State University (7-9 Universitetskaya Emb., 199034 St. Petersburg, Russia)  
Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences (2B Professor Popov St., 197022  
St. Petersburg, Russia)*

The article describes the mire types studied in the middle course of the Northern Dvina River (Arkhangelsk Region). Data on the vegetation structure and botanical composition of the peat deposits are given. Correlation between the mire-forming and modern karst processes is discussed.

Keywords: mire massifs; typology; vegetation; peat deposit; Arkhangelsk Region; karst

For citation: Galanina O. V. Diversity of mire types in the middle course of the Northern Dvina River (Arkhangelsk Region). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* =

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to BIN RAS (121032500047-1) and by RFBR (13-05-00837).

## Введение

Район исследований охватил ключевой участок с центром в д. Никола (Бызовы) Холмогорского р-на Архангельской обл. (рис. 1). Близлежащая территория известна распространением поверхностного карста, это так называемый Звонский карстовый район.

Болота, обследованные нами, ранее не изучались. В задачи исследования входило установление типологии болот и выявление особенностей пространственной структуры их растительного покрова.

Вопросы генезиса и районирования болотных систем, сформированных в районах развития карста, разрабатывались В. Н. Кирышкиным [1980].

Г. А. Елина и Т. К. Юрковская [1980] исследовали болота, расположенные по левобережью Северной Двины от устья р. Пинега до р. Вага. Ими было изучено строение торфяной залежи и получена спорово-пыльцевая диаграмма

болота у оз. Белое. Авторы отмечали кратковременность эвтрофной и мезотрофной фаз развития болота, сменившихся олиготрофной фазой почти в самом начале его формирования.

Л. А. Соколова [1935] писала, что «крупное пространство между дд. Заболотье и Звон на Северной Двине занято борovým массивом, сложенным хорошо отсортированным, то тонким пылеватым, то средней крупности, песком, возможно флювиогляциального происхождения. Поверхность слабо всхолмленная и на повышенных участках занята лишайниковым бором, в понижениях резко переходящим в сфагново-сосновые болотца».

## Объекты исследования

Болота ключевого участка располагаются в окраинных частях моренной равнины и надпойменной террасы (левобережье) и на озерно-ледниковой равнине (правобережье), в непосредственной близости от бортов долины

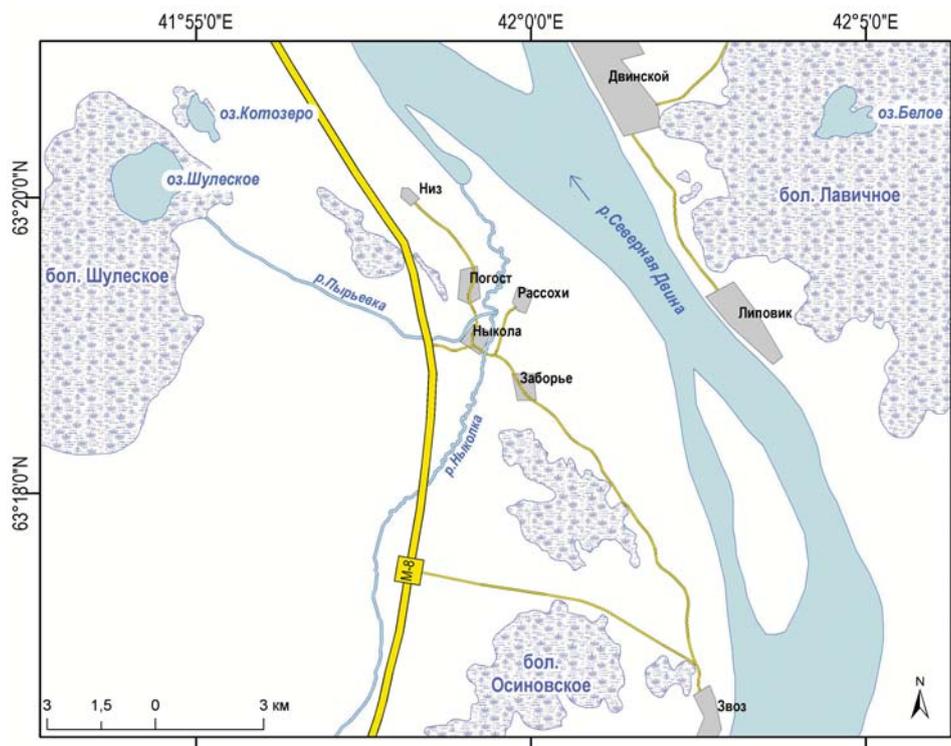


Рис. 1. Карта-схема изученной территории

Fig 1. Schematic map of the studied area

р. Северная Двина. На левом берегу развита речная пойма, где формируются пойменные болота. Подстилающими породами служат четвертичные отложения, залегающие на карстующихся гипсах пермского возраста.

Натурное обследование выполнялось методом профилирования и сопровождалось детальным описанием растительного покрова в точках профиля, дешифрированием данных дистанционной съемки и бурением залежи.

### Результаты и обсуждение

В ходе проведенных изысканий выявлены разные по площади, трофности и типологии болотные массивы. Преобладают крупные олиготрофные болотные массивы; встречаются и малые сосновые мелкозалежные болота. Кроме того, нами описаны небольшие мезотрофные травяно-сфагновые болота, облесенные березой; микстротрофные болота карстового происхождения, карстовые воронки с эвтрофной растительностью, ключевые лесные и пойменные болота.

Отметим, что карстовые процессы наблюдаются не повсеместно. Самый крупный из исследованных болотных объектов – болото Шулеское (площадь 825 га, максимальная глубина 4,2 м, средняя 2,9 м) [Торфяной..., 1958],

располагается на моренной равнине левого берега и не несет в своем облике черт, связанных с карстом. Он представляет собой болотную систему, состоящую из трех отдельных массивов, примыкающих к Шулескому озеру. Грядово-мочажинно-озерковые и грядово-мочажинные комплексы занимают на них значительные площади [Галанина и др., 2014].

Однако в окрестностях оз. Котозеро, расположенного вблизи упомянутой болотной системы, с северо-восточной стороны встречены одиночные карстовые воронки. Между оз. Котозеро и оз. Мурги находится участок полукрытого гипсового карста, перекрытого моренными суглинками. Здесь можно встретить системы карстовых воронок, занятых болотами.

В воронках на разных динамических стадиях описаны осоковые (*Carex vesicaria*), травяно (*Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*)-осоково-сфагновые (*Sphagnum riparium*, *S. squarrosum*), осоково (*Carex rostrata*, *C. limosa*)-сфагновые (*Sphagnum fallax*) и кустарничково (*Chamaedaphne calyculata*)-сфагновые (*Sphagnum angustifolium*) сообщества.

Так, в одной из воронок образовалось болото сплавинного типа с травяно-сфагновой растительностью и древесным ярусом из березы. Болото было пробурено, мощность торфяных отложений составила 3,5 м (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма ботанического состава торфа карстового болота вблизи оз. Котозеро

Fig 2. Peat diagram of a karst mire near Lake Kotozero

На начальной стадии развития болота (I) преобладали лесные болотнотравяные и болотнотравяно-гипновые сообщества. Далее (стадия II) появился тростник и осока вздутая, уменьшилось обилие зеленых мхов. Затем, возможно, в результате повторной просадки гипсов произошло затопление котловины водой на 1,0–1,5 м (стадия III). Вероятнее всего, в дальнейшем верхний горизонт торфяной залежи (из стадии II) «всплыл», и болото продолжило свое развитие (этап IV). На современном этапе (стадия V) исчезли хвойные деревья, усилилась роль сфагновых мхов (в особенности *Sphagnum riparium* и *S. obtusum*). В настоящий момент растительный покров сложен вейниково-вахтосфагновыми с березой ценозами.

Севернее оз. Котозеро обследованы микстротрофные болота карстового происхождения с пестрым растительным покровом. Олиготрофные кустарничково-сфагновые и мезозвтрофные травяно-сфагновые сообщества, занимающие ограниченные площади, соседствуют в одном контуре. Бурение залежи показало наличие уже довольно мощных (более 5 м) торфяных отложений с водной прослойкой.

Лесное ключевое болото напорного грунтового питания, случайно найденное при движении по лесной («Мишиной») дороге в сторону Шулеского болота, представляет собой еще один тип болот данной территории. Отметим исключительное богатство флоры, в том числе ряд редких и охраняемых видов, среди которых *Cypripedium calceolus*.

В вытянутых понижениях флювиогляциальных форм рельефа на удалении 1,2 км от бровки надпойменной террасы р. Северная Двина располагаются олиготрофные мелкозалежные болота с мощностью торфа 0,7–1,6 м. Они имеют озерково-коврово-топяные комплексы и окружены сосняками кустарничково-зеленомошно-лишайниковыми на песчаных отложениях. Торфонакопление начинается сразу с верховой стадии, минуя переходную и низинную.

Между д. Заборье и автотрассой Холмогоры – Москва, к северу от торфяного месторождения «Осиновское» нами изучен безымянный верховой болотный массив площадью 141 га. Наиболее широко распространены пушицево (*Eriophorum vaginatum*)-сфагновые (*Sphagnum balticum*) ковры с кустарничками – кассандрой и андромедой. Гряды низкие и безлесные, мочажины заняты шейхцерииво-сфагновыми сообществами. Явных признаков карста не обнаружено, однако косвенным признаком можно считать нахождение грядово-озеркового комплекса на окраине в северной части массива.

Болото Осиновское (площадь 279 га, максимальная глубина 2,8 м, средняя 1,4 м) [Торфяной..., 1958] состоит из нескольких мелкозалежных болот, возникших в результате суходольного заболачивания. Преобладают олиготрофные сообщества, из которых наибольшую площадь занимают открытые пушицево (*Eriophorum vaginatum*)-сфагновые (*Sphagnum angustifolium*) ковры с редкими кочками с кассандрой (*Chamaedaphne calyculata*). Центральная часть болотной системы представляет собой сосново-кустарничково (*Empetrum nigrum*, *Chamaedaphne calyculata*)-пушицево-сфагновое (*Sphagnum fuscum*) болото. В окраинных частях обнаружены карстопроявления. Это единичные озера-просадки, а также многочисленные озера в восточной части массива [Галанина и др., 2023].

Вблизи д. Звон располагается небольшой болотный массив верхового типа (16 га). Грядово-озерковые и грядово-мочажинные комплексы занимают около 80 % площади болота. На грядах произрастают морошково-кассандрово-сфагновые (*Sphagnum fuscum*) сообщества; в мочажинах – шейхцерииво-сфагновые (*Sphagnum lindbergii*) фитоценозы. Озера обрамляют осока топяная (*Carex limosa*) и мочажинные сфагны (*Sphagnum jensenii*, *S. balticum*). Присутствие в составе сообществ *Carex rostrata* и *Sphagnum riparium* наряду с характерной округлой формой свидетельствует о карстовом происхождении озерков.

На левобережье поймы обширна, здесь были описаны пойменные травяно-осоковые болота, сформировавшиеся в речных старицах [Галанина и др., 2014].

На правом берегу р. Северная Двина процессы развития карстовых форм рельефа идут активнее. Если в полосе молодых сосновых насаждений надпойменной террасы левобережья с кустарничково-лишайниково-зеленомошным покровом присутствуют лишь отдельные мелкие замкнутые понижения, заросшие осокой и сфагнами, то на правобережье имеют место современные явления карста, сопровождающиеся спуском воды в карстовых озерах, оползанием и гибелью древостоя при образовании новых просадок и провалов. У пос. Двинской изучен ряд небольших болот карстового генезиса, которые находятся на разных стадиях развития. Описаны как осоково-сфагновые олиготрофные фитоценозы с осокой топяной (*Carex limosa*) в зарастающем озерах, так и микстротрофные участки.

Крупная болотная система правобережья – болото Лавичное (площадь 8844 га, наибольшая глубина 6,0 м, средняя 2,6 м) [Торфяной...,

1958] – располагается на озерно-ледниковой равнине. Распространены грядово-мочажинно-озерковые, грядово-мочажинные комплексы, пушицево-сфагновые ковры. В регрессионных мочажинах описаны редкие пухоносого (*Trichophorum cespitosum*)-очеретниково-печеночниковые сообщества. Карстовые процессы проявляются к востоку от пос. Липовик в контактной полосе с болотной системой.

## Заключение

Преобладающим по площади типом болот обследованной территории являются слабо облесенные и открытые верховые болотные системы с грядово-озерковыми и грядово-мочажинными комплексами. Выявлены мезотрофные березово-травяно-осоково-сфагновые, эвтрофные пойменные и лесные ключевые болота.

Впервые на данной территории обнаружены болота, формирующиеся в просадках рельефа, что обусловлено близким залеганием карстующихся гипсов. Присутствуют как отдельные заболоченные воронки, так и системы воронок – объединившихся просадочных котловин. В них описаны эвтрофные травяно-осоковые и миксотрофные карстовые болота.

Специфическими чертами, характеризующими водораздельные верховые болотные системы, сформировавшиеся в условиях близкого залегания карстующихся пород, могут быть названы следующие: 1) форма и размеры озерков грядово-озерковых комплексов, 2) периферийное положение грядово-озерково-мочажинных и грядово-озерковых комплексов в пространстве болотного массива, 3) процесс увеличения площади болотных массивов за счет присоединения малых карстовых просадок.

Автор признательна **В. П. Денисенкову** за ботанический анализ торфов, **М. Г. Носковой**, **Д. А. Филиппову**, **М. А. Смирновой**, **Г. А. Тюсову**, **Е. А. Короткой**, **П. А. Черненко** за энтузиазм при выполнении полевых исследований, помощь в обработке данных и представлении результатов.

## Литература

Галанина О. В., Короткая Е. А., Смирнова М. А. Крупномасштабное картографирование болотной растительности создаваемой ООПТ «Природный парк Звонский», Архангельская область // Картографирование биоты: традиции и актуальные вопросы развития: Мат-лы Междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения докт. геогр. наук

А. В. Белова и докт. биол. наук В. Ф. Лямкина (Иркутск, 10–12 октября 2023 г.). Иркутск, 2023. С. 32–34.

Галанина О. В., Филиппов Д. А., Носкова М. Г. Изучение болот левобережья реки Северная Двина (Холмогорский район, Архангельская область) // Сохранение и изучение гео- и биоразнообразия на ООПТ Европейского Севера России: Мат-лы науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию заповедника «Пинежский» (п. Пинега, Архангельская область, 2–5 сентября 2014 г.). Ижевск, 2014. С. 65–69.

Елина Г. А., Юрковская Т. К. Верховые болота на левобережье Северной Двины // Бот. журн. 1980. Т. 65, № 7. С. 958–970.

Кирюшкин В. Н. Формирование и развитие болотных систем. Л.: Наука, 1980. 87 с.

Соколова Л. А. Материалы к геоботаническому районированию Онего-Северодвинского водораздела и Онежского полуострова // Труды Ботанического ин-та АН СССР. Сер. III. Геоботаника. Вып. 2. М.; Л., 1935. С. 9–80.

Торфяной фонд РСФСР. Архангельская область. М., 1958. 553 с.

## References

Galanina O. V., Korotkaya E. A., Smirnova M. A. Large scale mapping of mire vegetation in the prospective specially protected area 'Zvozsky Nature Park', Arkhangelsk Region. *Kartografirovaniye bioty: traditsii i aktual'nye voprosy razvitiya: Mat-ly Mezhdunar. nauch. konf., posvyasch. 85-letiyu so dnya rozhdeniya dokt. geogr. nauk A. V. Belova i dokt. biol. nauk V. F. Lyamkina (Irkutsk, 10–12 oktyabrya 2023) = Mapping of biota: traditions and current issues of development: Proceed. Int. scientific conf. dedicated 85<sup>th</sup> Anniversary of Dr. Geogr. Sci. A. V. Belov and Dr. Biol. Sci. V. F. Lyamkin (Irkutsk, Oct. 10–12, 2023)*. Irkutsk; 2023. P. 32–34. (In Russ.)

Galanina O. V., Philippov D. A., Noskova M. G. Study of mires on the left riverbank of the Northern Dvina River (Kholmogory District, Arkhangelsk Region). *Sokhraneniye i izuchenie geo- i bioraznoobraziya na OOPT Evropeiskogo Severa Rossii: Mat-ly nauch.-prakt. konf., posvyashch. 40-letiyu zapovednika «Pinezhsii» (p. Pinega, Arkhangel'skaya oblast', 2–5 sentyabrya 2014 g.) = Preservation and study of geo- and biodiversity in specially protected areas of the European North of Russia: Proceed. scientific and practical conf., dedicated 40<sup>th</sup> Anniversary of the Pinezhsky Nature Reserve (Pinega, Arkhangelsk Region, Sept. 2–5, 2014)*. Izhevsk; 2014. P. 65–69. (In Russ.)

Elina G. A., Yurkovskaya T. K. Raised bogs on the left riverbank of the Northern Dvina. *Bot. Zhurn.* 1980;6(7):958–970. (In Russ.)

Kiryushkin V. N. Formation and development of mire systems. Leningrad: Nauka; 1980. 87 p. (In Russ.)

Peat fund of the RSFSR. Arkhangelsk Region. Moscow; 1958. 553 p. (In Russ.)

Sokolova L. A. Materials to geobotanical zonation of the Onego-Northern Dvina watershed and the Onega Peninsula. *Trudy Botanicheskogo instituta AN SSSR. Ser. III. Geobotanika = Proceed. Botanical Institute of the USSR AS. Ser. III. Geobotany.* 1935;2:9–80. (In Russ.)

*Поступила в редакцию / received: 07.11.2023; принята к публикации / accepted: 11.12.2023.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.*

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

**Галанина Ольга Владимировна**

канд. биол. наук, доцент кафедры биогеографии и охраны природы

*e-mail: o.galanina@spbu.ru*

**CONTRIBUTOR:**

**Galanina, Olga**

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor

УДК 556.56 (470.1/.6)

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОЛОТ В ЛЕСОСТЕПИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

**О. Г. Гришуткин**

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (п. Борок, 109,  
Некоузский район, Ярославская область, Россия, 152742)*

Болота лесостепи в силу природных условий более, чем в таежной зоне, приурочены к отдельным формам рельефа, распространение которых имеет определенные географические закономерности. На основе обширных исследований, равномерно охвативших всю лесостепь европейской части России, выявлено, что наибольшей заболоченностью обладают поймы крупных и средних рек, в то время как на надпойменных равнинах распространено множество небольших болот в долинах малых рек и замкнутых котловинах различного генезиса. Низинные болота имеют повсеместное распространение, переходные и верховые болота приурочены к суффозионным, эоловым и карстовым котловинам на надпойменных террасах, водно-ледниковых и палеогеновых равнинах.

Ключевые слова: низинное; переходное; верховое болото; рельеф; суффозия; карст; долины рек

Для цитирования: Гришуткин О. Г. Геоморфологические закономерности распространения болот в лесостепи европейской части России // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 71–74. doi: 10.17076/eco1839

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 121051100099-5.

### **O. G. Grishutkin. GEOMORPHOLOGICAL PATTERNS IN THE DISTRIBUTION OF MIRES IN THE FOREST-STEPPE OF EUROPEAN RUSSIA**

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences (109 Borok Village, 152742 Nekouzsky District, Yaroslavl Region, Russia)*

Due to the natural conditions, forest-steppe mires, more than those of the taiga zone, are confined to specific landforms, the distribution of which has certain patterns. Extensive research that evenly covered the entire forest-steppe zone of European Russia revealed that the floodplains of large and medium-size rivers had the greatest degree of paludification, while the flatlands above the floodplains have many small mires in the valleys of small rivers and enclosed depressions of varying genesis. Fens and swamps are widespread, transitional mires and raised bogs are confined to suffosion, aeolian and karst basins on terraces above floodplains, aqueoglacial and Paleogene plains.

Keywords: fen; transitional mire; raised bog; relief; suffusion; karst; river valleys

For citation: Grishutkin O. G. Geomorphological patterns in the distribution of mires in the forest-steppe of European Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* =

Funding. This research was supported by the Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation, project No. 121051100099-5.

## Введение

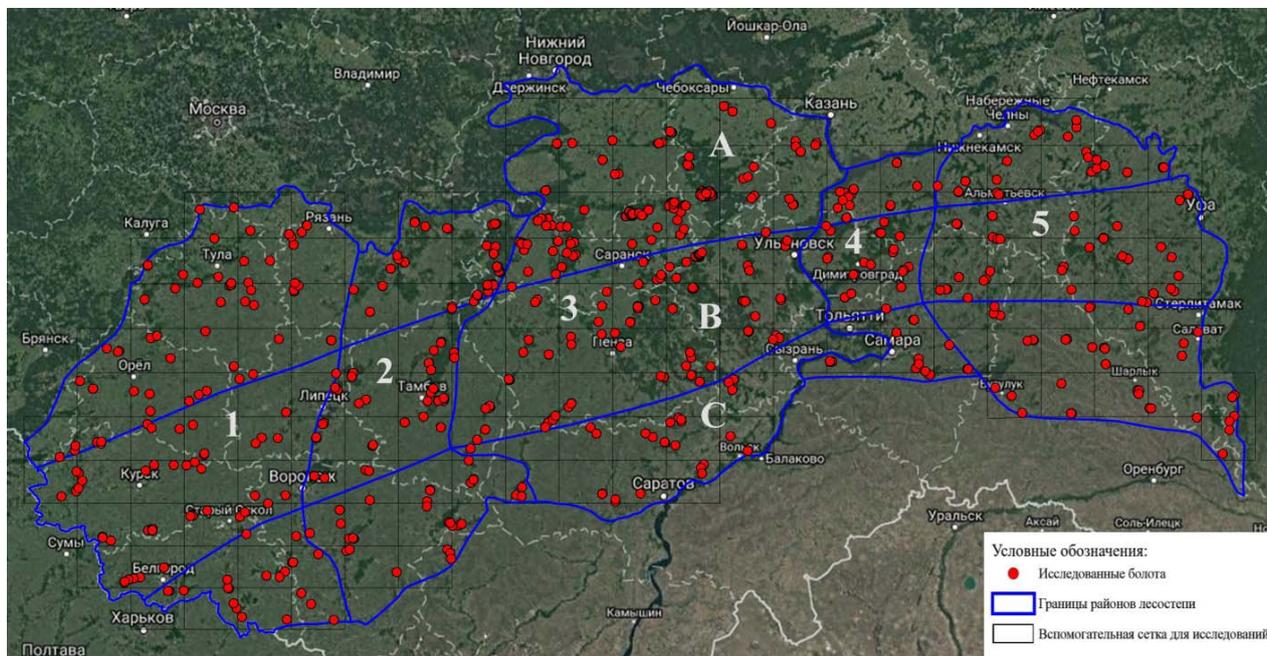
Болота лесостепной зоны европейской части России, находясь в основной полосе размещения населения, тем не менее исследованы не полностью. Болота тесно взаимосвязаны с геоморфологическими условиями [Тюрменов, 1976], и в лесостепи это проявляется особенно явно ввиду недостаточного увлажнения и приуроченности болот к отрицательным формам рельефа. Основным трудом, посвященным географии болот лесостепи, остается монография Н. И. Пьявченко [1958], где изложены лишь основные закономерности. Последующие работы не являлись столь масштабными и охватывали более ограниченные территории [Гришуткин, 2015; Волкова, 2018].

## Материалы и методы

Лесостепная зона европейской части России простирается от границ с Украиной до

Уральских гор и в разной мере входит в состав 20 регионов. Общие природные закономерности, влияющие на развитие болот, – это коэффициент увлажнения около единицы, снижающийся от северной лесостепи к южной, а также постепенное уменьшение количества осадков с северо-запада на юго-восток. Лесостепь в широтном отношении делится на северную, типичную и южную, по долготе районирование связано с основными орографическими единицами. Выделяется пять секторов в направлении с запада на восток: Среднерусская возвышенность (далее – СРВ), Окско-Донская низменность (ОДН), Приволжская возвышенность (ПВ), Мелекесская низменность (МН), Бугульминско-Белебеевская возвышенность (ББВ). Таким образом, можно выделить 15 участков, болота которых значительно различаются (рис.).

Нами исследовано 749 болот всех типов, из них 25 являются верховыми, 180 переходными и 544 низинными (термины приводятся в классическом понимании [Пьявченко, 1985]).



Карта района исследования. Районирование лесостепи: А – северная, В – типичная, С – южная. Долготные секторы: 1 – Среднерусская возвышенность, 2 – Окско-Донская низменность, 3 – Приволжская возвышенность, 4 – Мелекесская низменность, 5 – Бугульминско-Белебеевская возвышенность

Map of the study area. Forest-steppe zoning: A – northern, B – typical, C – southern. Longitudinal sectors: 1 – Central Russian Upland, 2 – Oksko-Donskaya Lowland, 3 – Volga Upland, 4 – Melekesskaya Lowland, 5 – Bugulma-Belebeevskaya Upland

Для равномерного изучения болот по территории была использована сетка 0,5° по широте и 1° по долготе, что соответствовало размерам прямоугольника в северной части – 62,2×55,6 км, в южной части – 70,7×55,6 км (рис.).

## Результаты и обсуждение

На наличие и распространение болот в лесостепи влияют в основном климатические, геоморфологические и антропогенные факторы. Основные закономерности размещения болот (и их типов) по территории лесостепи определяются геоморфологическими и геологическими условиями. Наиболее значимы такие факторы, как высота над уровнем моря, тип осадочных пород, наличие определенных форм рельефа.

Как видно из таблицы, отрицательные мезоформы рельефа, в которых происходит образование и развитие болот, имеют весьма тесную связь с макроформами. Особенно специфичны пойменные ландшафты. Они характеризуются наименьшим возрастом, активным образованием котловин, подходящих для заболачивания в результате меандрирования рек и отложения наносов во время половодий. К песчаным флювиогляциальным, древнеаллювиальным и

палеогеновым отложениям приурочены золовые и суффозионно-золовые котловины, при этом для них совсем не характерны ключевые болота. Суффозионные и карстовые котловины имеют повсеместное распространение. Однако развитие карста связано в первую очередь с геологическим строением территории и отмечается преимущественно в северной лесостепи СРВ, ПВ и ББВ. Суффозия особенно характерна для территорий, сложенных лессовидными (типичная лесостепь СРВ, ОДН), флювиогляциальными и древнезоловыми (северная и типичная лесостепь ОДН, ПВ) отложениями. Для ББВ характерен уникальный для лесостепи подтип низинных ключевых болот с травяно-моховой растительностью, встречающийся преимущественно на склонах к долинам малых рек (моренные глинистые равнины).

Распространение типов болот также имеет весьма тесную связь с геоморфологическими условиями. При этом если низинные болота распространены повсеместно, то переходные и верховые приурочены только к определенным макро- и мезоформам рельефа. Так, они совершенно не встречаются в поймах крупных и средних рек, лишь одно переходное болото было отмечено в долине малой реки, но при

Распределение болот по макро- и мезоформам рельефа

Distribution of mires by macro- and mesoforms of relief

	Поймы Floodplains	Террасы Terraces	ВЛР AGP	ПР PP	ГР MP	ЛР LP	МР CHP	Всего Total
Притеррасные понижения Near-terrace depressions	19	0	0	0	0	0	0	19
Старицы Oxbows	27	5 (2)	0	0	0	0	0	32 (2)
Прочие понижения пойм Other floodplain depressions	79	0	0	0	0	0	0	79
Долины малых рек Valleys of small rivers	0	24 (1)	8	2	34	44	21	133 (1)
Склоны (ключевые болота) Slopes (springs fens)	1	1	0	1	10	4	3	20
Карстовые котловины Karst depressions	0	9 (3)	1 (1)	1 (1)	16 (1)	15 (8)	3 (1)	45 (15)
Суффозионные котловины Suffusion depressions	1	95 (32)	40 (27)	24 (12)	40	44 (1)	9	253 (72)
Суффозионно-золовые котловины Suffosion-aeolian depressions	0	22 (15)	22 (17)	6 (5)	0	0	0	50 (38)
Золовые котловины Aeolian depressions	0	85 (52)	27 (25)	1 (1)	0	0	0	113 (78)
Всего Total	148	241 (105)	98 (70)	35 (19)	101 (1)	110 (9)	36 (1)	749 (205)

*Примечание.* В скобках указано число переходных и верховых болот. ВЛР – водно-ледниковые равнины, ПР – палеогеновые песчано-доломитовые равнины, ГР – моренные глинистые равнины, ЛР – лессовидные равнины, МР – меловые равнины.

*Note.* The number of transitional and raised bogs is given in brackets. AGP – aqueous-glacial plains, PP – Paleogene sandy-dolomite plains, CP – moraine clayey plains, LP – loessial plains, CHP – chalk plains.

этом осложненное суффозией. В целом переходные и верховые болота преимущественно распространены в суффозионных и эоловых котловинах на флювиогляциальных и древнеаллювиальных отложениях (верховые – исключительно в них). Наиболее часто они отмечались в северной и типичной лесостепи ОДН и ПВ. Переходные болота также встречаются в карстовых котловинах, преимущественно в северной лесостепи СРВ и несколько реже – ПВ и ББВ.

## Заключение

Таким образом, ведущим фактором размещения болот по территории является геоморфологический, который проявляется на макро- и мезоуровне. Наибольшей заболоченностью характеризуются поймы крупных и средних рек, где расположены самые значимые низинные болотные массивы. Для надпойменных равнин, как для низменностей, так и для возвышенностей, характерно развитие болот в долинах малых рек и замкнутых котловинах, среди которых наиболее многочисленны суффозионные, распространенные повсеместно, и эоловые, встречающиеся в основном на песчаных флювиогляциальных и древнеаллювиальных отложениях. Низинные болота имеют повсеместное распространение, в то время как переходные и верховые болота, еще довольно часто встречающиеся в северной и типичной лесостепи, характерны в основном для

замкнутых котловин террас, водно-ледниковых и палеогеновых равнин.

## Литература

*Волкова Е. М.* Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: Дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2018. 453 с.

*Гришуткин О. Г.* Болота Мордовии: ландшафтно-экологический анализ, флора, последствия антропогенного воздействия. Саранск; Пушта, 2015. 154 с.

*Пьявченко Н. И.* Торфяники Русской лесостепи. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 190 с.

*Пьявченко Н. И.* Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.: Наука, 1985. 152 с.

*Тюремнов С. Н.* Торфяные месторождения. Изд. 3-е. М.: Недра, 1976. 488 с.

## References

*Grishutkin O. G.* Mires of Moravia: landscape-ecological analysis, flora, consequences of anthropogenic impact. Saransk-Pushta; 2015. 154 p. (In Russ.)

*Pyavchenko N. I.* Peatlands of the Russian forest-steppe. Moscow: AN SSSR; 1958. 190 p. (In Russ.)

*Pyavchenko N. I.* Peatlands, their nature and economic significance. Moscow: Nauka; 1985. 152 p. (In Russ.)

*Tyuremnov S. N.* Peat deposits. 3<sup>rd</sup> edition. Moscow: Nedra; 1976. 488 p. (In Russ.)

*Volkova E. M.* Mires of the Central Russian Upland: genesis, structural and functional features and environmental significance: DSc (Dr. of Biol.) thesis. St. Petersburg; 2018. 453 p. (In Russ.)

*Поступила в редакцию / received: 03.11.2023; принята к публикации / accepted: 30.11.2023.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Гришуткин Олег Геннадьевич**

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии водных растений

*e-mail: grog5445@yandex.ru*

## CONTRIBUTOR:

**Grishutkin, Oleg**

Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher

УДК 582.34

## РАЗНООБРАЗИЕ СФАГНОВЫХ МХОВ РОССИИ

**А. И. Максимов**

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

В настоящее время в России обнаружен 61 вид сфагновых мхов. Приводятся списки видов, встречающихся в европейской и азиатской частях России, составленные на основании наших исследований и литературных данных. Некоторые виды указываются по единичным находкам. Возможны находки *Sphagnum microporum* на юге Дальнего Востока.

Ключевые слова: Россия; сфагновые мхи; список видов; европейская часть России; азиатская часть России

Для цитирования: Максимов А. И. Разнообразие сфагновых мхов России // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 75–80. doi: 10.17076/eco1848

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт биологии КарНЦ РАН).

### **A. I. Maksimov. THE DIVERSITY OF SPHAGNUM MOSSES IN RUSSIA**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

Currently, 61 *Sphagnum* species are known for Russia. Species checklists compiled on the basis of our surveys and data from the literature are provided for the European and the Asian parts of Russia. Some species are indicated on the basis of single records. *Sphagnum microporum* may be found in the south of the Far East.

Keywords: Russia; *Sphagnum* species; species checklist; European and Asian parts of Russia

For citation: Maksimov A. I. The diversity of Sphagnum Mosses in Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 75–80. doi: 10.17076/eco1848

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (Institute of Biology KarRC RAS).

## Введение

Среди мохообразных особое планетарное значение имеют сфагновые мхи. Болота с доминированием в растительном покрове сфагновых мхов накапливают приблизительно 30 % углекислого газа, хотя покрывают всего 10 % поверхности Земли [Gorham, 1991], и выводят его из круговорота, значительно снижая парниковый эффект. В северных регионах сфагновые болота наряду с лесами являются основным источником кислорода.

После выхода в свет монографии Л. И. Савич-Любицкой «Сфагновые (торфяные) мхи» [1952] и определителя сфагновых мхов СССР [Савич-Любицкая, Смирнова, 1968] ревизия сфагновых мхов России продолжительное время не проводилась, несмотря на то, что в XX и начале XXI веков были описаны более 20 новых для науки видов сфагновых мхов из Голарктики. Несколько таксонов восстановлены в ранге самостоятельных видов, что подтверждено молекулярно-генетическими исследованиями. За период с 1952 по 2000 гг. в России обнаружено всего лишь два новых вида: *Sphagnum annulatum* и *S. arcticum*, и один вид, *S. subtile* (Russow) Warnst., сведен в синонимы к *S. capillifolium* [Ignatov, Afonina, 1992], что позднее также подтверждено молекулярно-генетическими исследованиями [Shaw et al., 2005]. Таким образом, в 2000 году в России было известно 43 вида сфагновых мхов.

## Результаты

В течение 2004–2022 гг. автором определены многочисленные коллекции сфагновых мхов, собранные в Восточной Сибири (Таймыр, плато Путорана, Якутия (Чокурдах, р. Индигирка, Новосибирские острова, окрестности Тикси) и на Дальнем Востоке (Хинганский заповедник, Камчатка, острова Беринга и Итуруп).

Выполнено критическое изучение гербарного материала по видам *Sphagnum imbricatum*-комплекса, *S. alaskense* и подроду *Subsecunda* из азиатской части России в гербариях LE, MHA, MW, PTZ. Ревизия видов комплекса *Sphagnum imbricatum* проведена в соответствии с узким пониманием объема видов (*S. affine*, *S. austinii*, *S. imbricatum* s. str. и *S. steerei*). Выполнено описание видов, приводятся рисунки и распространение в России. Составлен и опубликован ключ для определения видов *Sphagnum imbricatum*-комплекса [Maksimov, 2007].

*Sphagnum alaskense*, описанный с Аляски, впервые приводится для Восточной Якутии, Магаданской области, Сахалина и Курильских островов [Maksimov, Ignatova, 2008].

На Таймыре обнаружен вид, новый для флоры мхов России: *Sphagnum beringiense* [Fedosov et al., 2011]. Этот вид встречается также на Ямале, Чукотке, Камчатке, в Приморском крае. Приводятся описание и иллюстрации *Sphagnum beringiense*, основанные на гербарных образцах с Таймырского п-ова, Чукотки и Якутии [Maksimov et al., 2016].

Выявлены еще два новых для флоры мхов России вида из подрода *Subsecunda*: *S. inexpectatum* и *S. miyabeanum* и проиллюстрировано их распространение в азиатской части России на основании изученных образцов [Maksimov, 2016; Lapshina et al., 2023]. По нашим данным, в азиатской части России встречается 8 видов сфагновых мхов из подрода *Subsecunda*, такие как *S. beringiense*, *S. contortum*, *S. inexpectatum*, *S. miyabeanum*, *S. orientale*, *S. perfoliatum*, *S. platyphyllum*, *S. subsecundum* s. str. Составлен и опубликован ключ для определения видов подрода *Subsecunda* азиатской части России [Maksimov, 2016]. Указания *Sphagnum auriculatum* и *S. inundatum* в азиатской части России, вероятно, основаны на ошибочных определениях.

Получены предварительные данные о распространении арктических и субарктических видов подрода *Acutifolia*: *Sphagnum concinnum*, *S. tescorum* [Ellis et al., 2021; Sofronova et al., 2021, 2022] и видов секции *Squarrosa*: *S. tundrae*, *S. mirum* [Lapshina et al., 2023].

В настоящее время в России обнаружен 61 вид сфагновых мхов. Следует отметить, в европейской части России выявлено 45 видов, а в азиатской – 57 (табл.). Некоторые сфагновые мхи указываются по единичным находкам. Списки видов составлены на основании наших исследований и литературных данных [Flatberg, 2005; Ignatov et al., 2006; Maksimov, 2007; Maksimov, Ignatova, 2008; Fedosov et al., 2011, 2012; Чернядьева, 2012; Shaw et al., 2014, 2015; Flatberg et al., 2016; Maksimov, 2016; Cherdantseva et al., 2018; Bakalin et al., 2019; Ellis et al., 2021; Sofronova et al., 2021, 2022; Afonina et al., 2022; Shkurko et al., 2022; Lapshina et al., 2023]. Классификация подродов и секций дана по: [Laine et al., 2018]. Следовательно, в течение 22 лет (2000–2022 гг.) в России выявлено 17 новых видов сфагновых мхов: *Sphagnum affine*, *S. alaskense*, *S. austinii*, *S. beringiense*, *S. concinnum*, *S. cf. henriense*, *S. cf. incundum*, *S. inexpectatum*, *S. × lydiae*, *S. mirum*, *S. miyabeanum*, *S. olafii*, *S. cf. pungifolium*, *S. rubiginosum*, *S. steerei*, *S. tescorum*, *S. tundrae*.

Возможны находки на юге Дальнего Востока *Sphagnum microporum* Warnst. ex Cardot.,

который указывается в двух провинциях Китая, примыкающих к территории российского Дальнего Востока.

Необходимо продолжить критическое изучение коллекций сфагновых мхов в гербариях LE, MW, MHA, PTZ следующих видов

или их комплексов: *Sphagnum subfulvum* – *S. subnitens*, *Sphagnum divinum* – *S. medium*, а также арктических видов секции *Acutifolia*: *S. arcticum*, *S. concinnum*, *S. olafii*, *S. tescorum* и арктических популяций *S. rubellum* и секции *Squarrosa*: *S. tundrae*, *S. mirum*.

Список сфагновых мхов России

List of the Sphagnum mosses of Russia

Список видов Species	Европейская часть России European part of Russia	Азиатская часть России Asian part of Russia
<b>Subgenus <i>Rigida</i></b> (Lindb.) A. Eddy		
<i>Sphagnum compactum</i> Lam. & DC.	+	+
<b>Subgenus <i>Sphagnum</i></b> L.		
<i>S. affine</i> Renauld & Cardot	+	–
<i>S. alaskense</i> R. E. Andrus & Janssens	–	+
<i>S. austinii</i> Sull.	+	–
<i>S. centrale</i> C. E. O. Jensen	+	+
<i>S. divinum</i> Flatberg & Hassel	+	+
<i>S. cf. henryense</i> Warnst.	–	+
<i>S. imbricatum</i> Hornsch. ex Russow	–	+
<i>S. medium</i> Limpr.	+	–
<i>S. palustre</i> L.	+	+
<i>S. papillosum</i> Lindb.	+	+
<i>S. steerei</i> R. E. Andrus	–	+
<b>Subgenus <i>Acutifolia</i></b> (Russow) A. J. Shaw		
<b>Section 1 <i>Squarrosa</i></b> (Russow) Schimp.		
<i>S. mirum</i> Flatberg & Thingsgaard	+	+
<i>S. squarrosus</i> Crome	+	+
<i>S. teres</i> (Schimp.) Ångstr.	+	+
<i>S. tundrae</i> Flatberg.	–	+
<b>Section 2 <i>Polyclada</i></b> (C.E.O. Jensen) Horrell		
<i>S. wulfianum</i> Girg.	+	+
<b>Section 3 <i>Insulosa</i></b> Isov.		
<i>S. aongstroemii</i> C. Hartm.	+	+
<b>Section 4 <i>Acutifolia</i></b> Wilson		
<i>S. arcticum</i> Flatberg & Frisvoll	–	+
<i>S. capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.	+	+
<i>S. concinnum</i> (Berggr.) Flatberg	+	+
<i>S. fimbriatum</i> Wilson	+	+
<i>S. fuscum</i> (Schimp.) H. Klinggr.	+	+
<i>S. girgensohnii</i> Russow	+	+
<i>S. cf. incundum</i> Flatberg & Hassel	–	+
<i>S. molle</i> Sull.	+	–
<i>S. olafii</i> Flatberg	–	+
<i>S. quinquefarium</i> (Braithw.) Warnst.	+	+
<i>S. rubellum</i> Wilson	+	+
<i>S. rubiginosum</i> Flatberg	–	+
<i>S. russowii</i> Warnst.	+	+
<i>S. subfulvum</i> Sjörs	+	+
<i>S. subnitens</i> Russow & Warnst.	+	+
<i>S. tescorum</i> Flatberg	+	+
<i>S. warnstorffii</i> Russow	+	+
<b>Subgenus <i>Subsecunda</i></b> (Lindb.) A. J. Shaw		
<i>S. auriculatum</i> Schimp.	+	+
<i>S. beringiense</i> A. J. Shaw, R. E. Andrus & B. Shaw	–	+
<i>S. contortum</i> Schultz	+	+

Окончание табл.  
Table (continued)

<i>S. inexpectatum</i> Flatberg	–	+
<i>S. inundatum</i> Russow	+	+
<i>S. × lydiae</i> Flatberg & Hassel	–	+
<i>S. miyabeum</i> Warnst.	–	+
<i>S. orientale</i> L. I. Savicz	–	+
<i>S. perfoliatum</i> L. I. Savicz	–	+
<i>S. platyphyllum</i> (Lindb. ex Braithw.) Warnst.	+	+
<i>S. subsecundum</i> Nees	+	+
<b>Subgenus <i>Cuspidata</i> Lindb.</b>		
<i>S. angustifolium</i> (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen	+	+
<i>S. annulatum</i> H. Lindb. ex Warnst.	+	+
<i>S. balticum</i> (Russow) C. E. O. Jensen	+	+
<i>S. cuspidatum</i> Ehrh. ex Hoffm.	+	+
<i>S. fallax</i> (H. Klinggr.) H. Klinggr.	+	+
<i>S. flexuosum</i> Dozy & Molk.	+	+
<i>S. jensenii</i> H. Lindb.	+	+
<i>S. lenense</i> H. Lindb. ex L. I. Savicz	+	+
<i>S. lindbergii</i> Schimp.	+	+
<i>S. majus</i> (Russow) C. E. O. Jensen	+	+
<i>S. obtusum</i> Warnst.	+	+
<i>S. pulchrum</i> (Lindb. ex Braithw.) Warnst.	+	+
<i>S. cf. pungifolium</i> X. J. Li	–	+
<i>S. riparium</i> Ångstr.	+	+
<i>S. tenellum</i> (Brid.) Pers. ex Brid.	+	+
<b>Итого Sum</b>	<b>45</b>	<b>57</b>
<b>Всего Total</b>	<b>61</b>	

## Литература

Игнатов М. С., Афонина О. М., Игнатова Е. А., Аболиня А. А., Акатова Т. В., Баишева Э. З., Бардунов Л. В., Барякина Е. А., Белкина О. А., Безгоднов А. Г., Бойчук М. А., Черданцева В. Я., Чернядьева И. В., Дорошина Г. Я., Дьяченко А. П., Федосов В. Э., Гольдберг И. Л., Иванова Е. И., Юкониене И., Каннукене Л., Казановский С. Г., Харзинов З. Х., Курбатова Л. Е., Максимов А. И., Маматкулов У. К., Манакян В. А., Масловский О. М., Напреенко М. Г., Отнюкова Т. Н., Партыка Л. Я., Писаренко О. Ю., Попова Н. Н., Рыковский Г. Ф., Тубанова Д. Я., Железнова Г. В., Золотов В. И. Список мхов Восточной Европы и Северной Азии // *Arctoa*. 2006. Vol. 15. P. 1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Савич-Любичкая Л. И. Сфагновые (торфяные) мхи // *Флора споровых растений СССР*. Т. 1. Листостебельные мхи / Ред. В. П. Савич. М.: Л.: АН СССР, 1952. 254 с.

Савич-Любичкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л.: Наука, 1968. 112 с.

Софронова Е. В. (ред.), Афонина О. М., Беляков Е. А., Безгоднов А. Г., Бирюкова О. В., Бойчук М. А., Чернядьева И. В., Дорошина Г. Я., Дулин М. В., Федосов В. Э., Фрейдин Г. Л., Гузиев Х. Ю., Игнатов М. С., Ищенко Ю. С., Иванова К. А., Капитонова О. А., Кукурин Г. М., Кузьмина Е. Ю., Лаврентьев М. В., Максимов А. И., Филиппов Д. А., Попова Н. Н., Шестако-

ва А. А., Шильников Д. С., Теплов К. Ю., Тюрин В. Н., Вильк Е. Ф., Железная Е. Л. Новые бриологические находки. 16 // *Arctoa*. 2021. Vol. 30(1). P. 93–110. doi: 10.15298/arctoa.30.11

Софронова Е. В. (ред.), Афонина О. М., Безгоднов А. Г., Бойчук М. А., Чернядьева И. В., Дорошина Г. Я., Эржапова Р. С., Федосов В. Э., Гришуткин О. Г., Кучеров И. Б., Курбатова Л. Е., Кутенков С. А., Кузьмина Е. Ю., Ликсакова Н. С., Максимов А. И., Мамонтов Ю. С., Нешатаева В. Ю., Печенкина К. О., Попова Н. Н., Потемкин А. Д., Щуряков Д. С., Щукина К. В., Шкурко А. В., Скворцов К. И., Ямбушев А. Р. Новые бриологические находки. 18 // *Arctoa*. 2022. Vol. 31(1). P. 62–75. doi: 10.15298/arctoa.31.09

Чернядьева И. В. Мхи полуострова Камчатка. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 449 с.

Afonina O. M., Czernyadjeva I. V., Pisarenko O. Yu., Fedosov V. E. Mosses of the northern Russian Far East, an annotated check-list // *Botanica Pacifica*. 2022. Vol. 11(2). P. 1–28. doi: 10.17581/bp.2022.11206

Bakalin V., Fedosov V., Pisarenko O., Borovichev E. The bryophyte flora of the northern Iturup (north-west Pacific): between the circumboreal and East Asian Floristic regions // *J. Bryol.* 2019. Vol. 41(3). P. 249–262. doi: 10.1080/03736687.2019.1621070

Cherdantseva V. Ya., Pisarenko O. Yu., Ignatov M. S., Ignatova E. A., Fedosov V. E., Dudov S. V., Bakalin V. A. Mosses of the southern Russian Far East, an annotated

check-list // *Botanica Pacifica*. 2018. Vol. 7(2). P. 53–81. doi: 10.17581/bp.2018.07206

Ellis L. T., Alataş M., Álvaro Alba W. R., Charry Giraldo A. M., Amatov V., Batan N., Becerra Infante D. A., Burghardt M., Czernyadjeva I. V., Kuzmina E. Yu., Doroshina G. Ya., Erata H., Garilleti R., Gradstein S. R., Jukonienė I., Karaman Erkul S., Keskin A., Ezer T., Lara F., Draper I., Maksimov A. I., Mammadova A. V., Natcheva R., Németh Cs., Pantović J., Sabovljević M. S., Papp B., Poponessi S., Cogoni A., Porley R. D., Reiner-Drehwald M. E., Schäfer-Verwimp A., Schmotzer A., Šegota V., Alegro A., Rimac A., Ștefănuț S., Szurdoki E., Viik E. F., Virchenko V. M., Bijlsma R. J., Callaghan D. A. New national and regional bryophyte records, 67 // *J. Bryol.* 2021. Vol. 43(3). P. 301–311. doi: 10.1080/03736687.2021.1977517

Fedosov V. E., Ignatova E. A., Ignatov M. S., Maksimov A. I. Rare species and preliminary list of mosses of the Anabar plateau (Subarctic Siberia) // *Arctoa*. 2011. Vol. 20. P. 153–174. doi: 10.15298/arctoa.20.11

Fedosov V. E., Ignatova E. A., Ignatov M. S., Maksimov A. I., Zolotov V. I. Moss flora of Bering Island (Commander Islands, North Pacific) // *Arctoa*. 2012. Vol. 21. P. 113–164. doi: 10.15298/arctoa.21.12

Flatberg K. I. Taxonomy, geography and possible origin of *Sphagnum inexpectatum* (sect. *Subsecunda*) sp. nov. // *Lindbergia*. 2005. Vol. 30. P. 59–78.

Flatberg K. I., Afonina O. M., Mamontov Yu. S., Fedosov V. E., Ignatova E. A. On *Sphagnum mirum* (Subgen. *Squarrosa*) and *S. olafii* (Subgen. *Acutifolia*) (Sphagnaceae, Bryophyta) in Russia // *Arctoa*. 2016. Vol. 25(1). P. 96–101. doi: 10.15298/arctoa.25.06

Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming // *Ecol. Appl.* 1991. Vol. 1(2). P. 182–185. doi: 10.2307/1941811

Ignatov M. S., Afonina O. M. Check-list of mosses of the former USSR // *Arctoa*. 1992. Vol. 1. P. 1–85. doi: 10.15298/arctoa.01.01

Laine J., Flatberg K. I., Harju P., Timonen T., Minkinen K., Laine A., Tuittila E. S., Vasander H. *Sphagnum* mosses – the stars of European mires. Helsinki, 2018. 326 p.

Lapshina E. D., Maksimov A. I., Lamkowski P. Notes on distribution and habitat preferences of *Sphagnum inexpectatum* and *S. mirum* in Western Siberia // *Botanica Pacifica*. 2023. Vol. 12(1). P. 89–100. doi: 10.17581/bp.2023.12114

Maksimov A. I. *Sphagnum imbricatum* complex (Sphagnaceae, Bryophyta) in Russia // *Arctoa*. 2007. Vol. 16. P. 27–34. doi: 10.15298/arctoa.16.04

Maksimov A. I., Ignatova E. A. *Sphagnum alaskense* (Sphagnaceae, Bryophyta), a new species for Russia // *Arctoa*. 2008. Vol. 17. P. 109–112. doi: 10.15298/arctoa.17.09

Maksimov A. I. Review of *Sphagnum* species (Sphagnaceae, Bryophyta) from Asian Russia. I. Subgenus *Subsecunda* // Proceedings of the International Meeting on the Biology of *Sphagnum* (St. Petersburg, Khanty-Mansiysk, July 28 – August 11, 2016). Tomsk, 2016. P. 41–44.

Maksimov A. I., Fedosov V. E., Ignatova E. A. *Sphagnum beringiense* (Sphagnaceae, Bryophyta) in Russia

// *Arctoa*. 2016. Vol. 25(1). P. 102–106. doi: 10.15298/arctoa.25.07

Shaw A. J., Cox C. J., Boles S. B. Phylogeny, species delimitation, and recombination in *Sphagnum* section *Acutifolia* // *Syst. Bot.* 2005. Vol. 30(1). P. 16–33. doi: 10.1600/0363644053661823

Shaw A. J., Golinski G. K., Clark E. G., Shaw B., Stenøien H. K., Flatberg K. I. Intercontinental genetic structure in the amphi-Pacific peatmoss *Sphagnum miyabeum* (Bryophyta: Sphagnaceae) // *Biol. J. Linn. Soc.* 2014. Vol. 111. P. 17–37. doi: 10.1111/bij.12200

Shaw A. J., Shaw B., Stenøien H. K., Golinski G. K., Hassel K., Flatberg K. I. Pleistocene survival, regional genetic structure and interspecific gen flow among three northern peat-mosses: *Sphagnum inexpectatum*, *S. orientale* and *S. miyabeum* // *J. Biogeogr.* 2015. Vol. 42. P. 364–376. doi: 10.1111/jbi.12399

Shkurko A. V., Mamontov Yu. S., Fedosov V. E. On the morphological delimitation of *Sphagnum henryense* // *Arctoa*. 2022. Vol. 31. P. 137–144. doi: 10.15298/arctoa.31.15

## References

Afonina O. M., Czernyadjeva I. V., Pisarenko O. Yu., Fedosov V. E. Mosses of the northern Russian Far East, an annotated check-list. *Botanica Pacifica*. 2022;11(2):1–28. doi: 10.17581/bp.2022.11206

Bakalin V., Fedosov V., Pisarenko O., Borovichev E. The bryophyte flora of the northern Iturup (north-west Pacific): between the circumboreal and East Asian Floristic regions. *J. Bryol.* 2019;41(3):249–262. doi: 10.1080/03736687.2019.1621070

Cherdantseva V. Ya., Pisarenko O. Yu., Ignatov M. S., Ignatova E. A., Fedosov V. E., Dudov S. V., Bakalin V. A. Mosses of the southern Russian Far East, an annotated check-list. *Botanica Pacifica*. 2018;7(2):53–81. doi: 10.17581/bp.2018.07206

Czernyadjeva I. V. Mosses of the Kamchatka Peninsula. St. Petersburg: SPbGETU «LETI»; 2012. 449 p. (In Russ.)

Ellis L. T., Alataş M., Álvaro Alba W. R., Charry Giraldo A. M., Amatov V., Batan N., Becerra Infante D. A., Burghardt M., Czernyadjeva I. V., Kuzmina E. Yu., Doroshina G. Ya., Erata H., Garilleti R., Gradstein S. R., Jukonienė I., Karaman Erkul S., Keskin A., Ezer T., Lara F., Draper I., Maksimov A. I., Mammadova A. V., Natcheva R., Németh Cs., Pantović J., Sabovljević M. S., Papp B., Poponessi S., Cogoni A., Porley R. D., Reiner-Drehwald M. E., Schäfer-Verwimp A., Schmotzer A., Šegota V., Alegro A., Rimac A., Ștefănuț S., Szurdoki E., Viik E. F., Virchenko V. M., Bijlsma R. J., Callaghan D. A. New national and regional bryophyte records, 67. *J. Bryol.* 2021;43(3):301–311. doi: 10.1080/03736687.2021.1977517

Fedosov V. E., Ignatova E. A., Ignatov M. S., Maksimov A. I. Rare species and preliminary list of mosses of the Anabar plateau (Subarctic Siberia). *Arctoa*. 2011;20:153–174. doi: 10.15298/arctoa.20.11

Fedosov V. E., Ignatova E. A., Ignatov M. S., Maksimov A. I., Zolotov V. I. Moss flora of Bering Island (Commander Islands, North Pacific). *Arctoa*. 2012;21:113–164. doi: 10.15298/arctoa.21.12

Flatberg K. I. Taxonomy, geography and possible origin of *Sphagnum inexpectatum* (sect. *Subsecunda*) sp. nov. *Lindbergia*. 2005;30:59–78.

Flatberg K. I., Afonina O. M., Mamontov Yu. S., Fedosov V. E., Ignatova E. A. On *Sphagnum mirum* (Subgen. *Squarrosa*) and *S. olafii* (Subgen. *Acutifolia*) (Sphagnaceae, Bryophyta) in Russia. *Arctoa*. 2016;25(1):96–101. doi: 10.15298/arctoa.25.06

Gorham E. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.* 1991;1(2):182–185. doi: 10.2307/1941811

Ignatov M. S., Afonina O. M. Check-list of mosses of the former USSR. *Arctoa*. 1992;1:1–85. doi: 10.15298/arctoa.01.01

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A., Abolina A. A., Akatova T. V., Baisheva E. Z., Bardunov L. V., Baryakina E. A., Belkina O. A., Bezgodov A. G., Boichuk M. A., Cherdantseva V. Ya., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dyachenko A. P., Fedosov V. E., Goldberg I. L., Ivanova E. I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S. G., Kharzinov Z. Kh., Kurbatova L. E., Maksimov A. I., Mamatkulov U. K., Manakyan V. A., Maslovsky O. M., Napreenko M. G., Otnyukova T. N., Partyka L. Ya., Pisarenko O. Yu., Popova N. N., Rykovsky G. F., Tubanova D. Ya., Zheleznova G. V., Zolotov V. I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 2006;15:1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Laine J., Flatberg K. I., Harju P., Timonen T., Minkinen K., Laine A., Tuittila E. S., Vasander H. Sphagnum mosses – the stars of European mires. Helsinki; 2018. 326 p.

Lapshina E. D., Maksimov A. I., Lamkowski P. Notes on distribution and habitat preferences of *Sphagnum inexpectatum* and *S. mirum* in Western Siberia. *Botanica Pacifica*. 2023;12(1):89–100. doi: 10.17581/bp.2023.12114

Maksimov A. I. *Sphagnum imbricatum* complex (Sphagnaceae, Bryophyta) in Russia. *Arctoa*. 2007;16:27–34. doi: 10.15298/arctoa.16.04

Maksimov A. I., Ignatova E. A. *Sphagnum alaskense* (Sphagnaceae, Bryophyta), a new species for Russia. *Arctoa*. 2008;17:109–112. doi: 10.15298/arctoa.17.09

Maksimov A. I. Review of *Sphagnum* species (Sphagnaceae, Bryophyta) from Asian Russia. I. Subgenus *Subsecunda*. *Proceedings of the International Meeting on the Biology of Sphagnum (St. Petersburg, Khanty-Mansiysk, July 28 – August 11, 2016)*. Tomsk; 2016. P. 41–44.

Maksimov A. I., Fedosov V. E., Ignatova E. A. *Sphagnum beringiense* (Sphagnaceae, Bryophyta) in Rus-

sia. *Arctoa*. 2016;25(1):102–106. doi: 10.15298/arctoa.25.07

Savich-Lyubitskaya L. I. Sphagnum (peat) mosses. *Flora sporovyykh rastenii SSSR. T. 1. Listostebel'nye mkhi = Flora of spore plants of the USSR. Vol. 1. Leafy mosses*. Moscow; Leningrad: AN SSSR; 1952. 254 p. (In Russ.)

Savich-Lyubitskaya L. I., Smirnova Z. N. An identification guide of Sphagnum (peat) mosses in the Soviet Union. Leningrad: Nauka; 1968. 112 p. (In Russ.)

Shaw A. J., Cox C. J., Boles S. B. Phylogeny, species delimitation, and recombination in *Sphagnum* section *Acutifolia*. *Syst. Bot.* 2005;30(1):16–33. doi: 10.1600/0363644053661823

Shaw A. J., Golinski G. K., Clark E. G., Shaw B., Stenøien H. K., Flatberg K. I. Intercontinental genetic structure in the amphipacific peatmoss *Sphagnum miyabeanaum* (Bryophyta: Sphagnaceae). *Biol. J. Linn. Soc.* 2014;111:17–37. doi: 10.1111/bj.12200

Shaw A. J., Shaw B., Stenøien H. K., Golinski G. K., Hassel K., Flatberg K. I. Pleistocene survival, regional genetic structure and interspecific gen flow among three northern peat-mosses: *Sphagnum inexpectatum*, *S. orientale* and *S. miyabeanaum*. *J. Biogeogr.* 2015;42:364–376. doi: 10.1111/jbi.12399

Shkurko A. V., Mamontov Yu. S., Fedosov V. E. On the morphological delimitation of *Sphagnum henryense*. *Arctoa*. 2022;31:137–144. doi: 10.15298/arctoa.31.15

Sofronova E. V., Afonina O. M., Belyakov E. A., Bezgodov A. G., Birykova O. V., Boychuk M. A., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dulin M. V., Fedosov V. E., Freydin G. L., Guziev Kh. Yu., Ignatov M. S., Ishchenko Yu. S., Ivanova K. A., Kapitonova O. A., Kukurichkin G. M., Kuzmina E. Yu., Lavrentiev M. V., Maksimov A. I., Philippov D. A., Popova N. N., Shestakova A. A., Shilnikov D. S., Teplov K. Yu., Tyurin V. N., Vilks E. F., Zheleznaya E. L. New bryophyte records. 16. *Arctoa*. 2021;30(1):93–110. doi: 10.15298/arctoa.30.11 (In Russ.)

Sofronova E. V. (ed.), Afonina O. M., Bezgodov A. G., Boychuk M. A., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Erzhapova R. S., Fedosov V. E., Grishutkin O. G., Kucherov I. B., Kurbatova L. E., Kutenkov S. A., Kuzmina E. Yu., Liksakova N. S., Maksimov A. I., Mamontov Yu. S., Neshataeva V. Yu., Pechenkina K. O., Popova N. N., Potemkin A. D., Schuryakov D. S., Shchukina K. V., Shkurko A. V., Skvortsov K. I., Yambushev A. R. New bryophyte records. 18. *Arctoa*. 2022;31(1): 62–75. doi: 10.15298/arctoa.31.09 (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 24. 11.2023; принята к публикации / accepted: 05. 12.2023.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Максимов Анатолий Иванович**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: maksimov\_tolya@mail.ru

## CONTRIBUTOR:

**Maksimov, Anatoly**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

УДК 582.29 : 504.5 (285.3)

## ЭПИГЕЙНЫЕ ЛИШАЙНИКИ ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е. А. Шишконокова<sup>1\*</sup>, Т. Ю. Толпышева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (Пыжевский переулоч, 7, стр. 2, Москва, Россия, 119017), \* shishkonakova\_ea@esoil.ru

<sup>2</sup> МГУ им. М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991)

Изменения в составе и обилии эпигейных лишайников на участках нарушенных олиготрофных болот, расположенных в границах нефтяных месторождений, зависят от вида и степени воздействия на них. По уровню сохранности, скорости и особенностям восстановления лишайникового покрова нарушенные участки болот делятся на две группы. К первой относятся ландшафты, в которых проявления негативных процессов (гидроморфизации, сильного засоления почв, бедлендизации) привели к резкому уменьшению присутствия лишайников или к их полному уничтожению. Здесь восстановление эпигейных лишайников не наблюдается или находится в начальной стадии. В то же время последствия осушения, вызванные перераспределением стока, и эвтрофикации олиготрофных торфяных почв, а также создание новых дренированных местообитаний из торфа и торфо-минеральной смеси (обваловок, насыпей) образуют условия для расширения присутствия лишайников. На участках, подвергшихся техногенному воздействию, остаются и первыми восстанавливаются только виды р. *Cladonia*. Виды р. *Cetraria*, которые наряду с видами р. *Cladonia* также представлены на нативных олиготрофных болотах, на техногенно трансформированных болотах практически не встречаются, что объясняется их чувствительностью к загрязнению.

Ключевые слова: техногенное нарушение олиготрофных торфяных почв; лишайники; индикация; Западная Сибирь; ХМАО-Югра

Для цитирования: Шишконокова Е. А., Толпышева Т. Ю. Эпигейные лишайники олиготрофных болот в условиях техногенного воздействия // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 81–84. doi: 10.17076/eco1832

### Е. А. Shishkonakova<sup>1\*</sup>, T. Yu. Tolpysheva<sup>2</sup>. EPIGEIC LICHENS OF OLIGOTROPIC BOGS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

<sup>1</sup> Federal Research Centre "V. V. Dokuchaev Soil Science Institute" (7-2 Pyzhevskiy Per., 119017 Moscow, Russia), \* shishkonakova\_ea@esoil.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University (1 Leninskie Gory, 119234 Moscow, Russia)

Changes in the composition of epigeic lichens and their abundance in areas of disturbed oligotrophic bogs located within the boundaries of oil fields depend on the type and degree of the impact. According to the degree of preservation, rate and characteristics

of regeneration of the lichen cover, disturbed bog areas can be divided into two groups. The first one includes landscapes in which manifestations of negative processes (hydromorphization, severe soil salinization, badlandization) have led to a sharp decrease in the presence of lichens or their complete destruction. The regeneration of epigeic lichens is not happening in such areas or it is in an initial stage. At the same time, the consequences of drainage related to the redistribution of runoff, eutrophication of oligotrophic peat soils, as well as the creation of new drained habitats from peat and peat-mineral mixture (embankments) generate the conditions for a greater presence of lichens. In areas disturbed by technogenic impact, only species of genus *Cladonia* persist and are the first to recover. Species of genus *Cetraria*, which together with species of genus *Cladonia* are found in native oligotrophic bogs, are almost absent in industrially transformed bogs, which is explained by their sensitivity to pollution.

**Keywords:** technogenic disturbance of oligotrophic peat soils; lichens; indication; Western Siberia; Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra

For citation: Shishkonakova E. A., Tolpysheva T. Yu. Epigeic lichens of oligotrophic bogs under anthropogenic impact. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 81–84. doi: 10.17076/eco1832

## Введение

Растительность олиготрофных болот чутко реагирует на антропогенные нарушения, возникающие в процессе освоения и эксплуатации месторождений нефти. При этом изменения, происходящие как в составе, так и в экологии эпигейных лишайников вторичных ландшафтов, образующихся на месте нативных олиготрофных торфяников, во многом еще не изучены. Исследование этих изменений способствует выявлению устойчивости отдельных видов лишайников к различного рода воздействиям и имеет индикационное значение, в частности, для определения характера и степени нарушения ландшафта, а наблюдения за динамикой лишайникового покрова на нарушенных участках позволяют прогнозировать направленность процесса восстановления олиготрофных болот и его темпы.

## Материалы и методы

В течение 20 лет на некоторых нефтяных месторождениях Западной Сибири (ХМАО-Югра) нами проводились исследования на естественных олиготрофных болотах и возникших на их месте техногенно преобразованных ландшафтах, имеющих покрытие напочвенного яруса, сформированное с участием эпигейных лишайников. Участки работ расположены в подзонах северной и средней тайги, в климатической зоне избыточного увлажнения и болотной зоне выпуклых олиготрофных болот. Они представляют основные типы олиготрофных болот района исследований – грядово-мочажинные (ГМК), грядово-мочажинно-озерковые (ГМОК) комплексные болота,

пушицево-осоково-сфагновые топи и сосново-кустарничково-сфагновые болота (рямы). Трансформированные биоценозы отражают многообразие вторичных сообществ, возникших под влиянием техногенных нарушений – механических, нефтезагрязнения, техногенного засоления, рекультивации, эвтрофикации, изменения гидрологического режима, создания насыпных сооружений (обваловок трубопроводов, нефтешламных амбаров, кустовых оснований, канав, насыпей).

Исследования проводились как маршрутным методом, так и методом заложения площадок мониторинга. Размеры площадок составляли для естественных сообществ 10×10 м, в ряде случаев они корректировались в зависимости от рельефа, для техногенных объектов – 1×4 м (на склонах канав, обваловках трубопроводов, амбаров и пр.), 2×2 м (на насыпях и рекультивированных участках). Всего было заложено более 300 площадок. По стандартным методикам выполнялись геоботанические описания, определялись видовой состав и проективное покрытие лишайников, выявлена приуроченность лишайников к элементам естественного и техногенного микрорельефа, отобраны образцы почв для оценки pH, содержания нефтепродуктов, хлоридов.

## Результаты и обсуждение

По итогам наблюдений нарушенные участки болот по степени сохранности, скорости и особенностям восстановления лишайникового покрова можно разделить на две группы. К первой относятся антропогенно преобразованные ландшафты, в которых проявления негативных процессов привели к резкому снижению

присутствия лишайников или к их полному уничтожению. Вторая группа отличается увеличением участия лишайников по сравнению с нативными аналогами ландшафтов.

Появление эпигейных лишайников не отмечено на подтопленных, а также сохраняющих значительное засоление хлоридами участках. При сильном загрязнении нефтью (свыше 130 г/кг), сопровождающемся образованием сплошных битумных корок-кир, восстановление лишайников даже спустя 15–20 лет после воздействия обычно отсутствует. Значительно реже восстановление происходит, но находится на начальной стадии, представляющей собой появление единичных особей лишайников, приуроченных к отдельным микроповышениям из сохранившихся остатков кочек *Eriophorum vaginatum* или фрагментам древесины.

К пионерным видам, поселяющимся на нефтяных разливах, относятся виды, которые на болотах могут расти на оголенном торфе, например *Cladonia coccifera*, *C. cornuta*, *C. crispata*, *C. gracilis*, *C. sulphurina*, а также *C. botrytes* – вид, в условиях нативных олиготрофных болот предпочитающий селиться на древесном опаде. Примерно тот же состав лишайников сохраняется на рекультивированных участках битуминизированных разливов, однако после рекультивации количество видов лишайников постепенно увеличивается, хотя проективное покрытие, образованное ими, остается низким, редко достигая 3–5 %.

При интенсивных разливах поллютанты загрязняют всю поверхность болота, при умеренных – обычно концентрируются только в пониженных формах рельефа. Ареалы с наиболее загрязненными почвами чаще всего приурочены к мочажинам, межкочечным понижениям, где в естественных условиях в пятнах вымокания нередко встречается *Cetrariella delisei*. Даже умеренные степени нарушений вызывают гибель этого вида, поэтому его наличие является достоверным индикатором хорошего состояния биогеоценоза. Вместе с тем даже при сильных и средних степенях загрязнения на вершинах наиболее высоких кочек и гряд олиготрофных болот во многих случаях сохраняются остатки нативной растительности. Однако если кустарнички и большинство мхов в таких «мини-рефугиумах» постепенно выпадают, то лишайники демонстрируют определенную устойчивость [Лапшина, Блойтен, 1999; Толпышева, Шишконокова, 2023].

Сохранение и последующее разрастание лишайников во многом зависит от экологических предпочтений отдельных видов. Так, на ненарушенных олиготрофных торфяниках

вершины кочек обычно заняты *Cladonia stellaris*, в дальнейшем именно этот вид сохраняется и разрастается в наибольшем количестве в нарушенных местообитаниях. Более мезофильные виды – *C. rangiferina* или *C. stygia* приурочены к склонам высоких кочек и к низким кочкам, поэтому при загрязнении сохраняются хуже и, соответственно, их роль в восстановлении напочвенного покрова снижается. Разрастание *C. stellaris* особенно заметно на старых разливах солевых вод, где данный вид на вершинах даже небольших микроповышений образует пышные подушки. На ранее засоленных почвах рямов в формировании яруса лишайников участвуют также *C. gracilis*, *C. rangiferina*, *C. crispata*, *C. coccifera*, *C. cornuta*.

При высоких концентрациях поллютантов в почвах повреждения лишайников становятся визуально заметными – происходят изменения в окраске талломов, апотециев и подециев (например, почернение), разрушается коровой слой подециев, что характерно для отмирающих особей. Подушки *C. stellaris*, оказавшиеся в зоне загрязнения солевыми растворами, становятся более рыхлыми.

Приуроченность лишайников к элементам болотного микрорельефа определяет и их сохранение при подтоплении. Как и при загрязнении поллютантами, лишайники, растущие на высоких кочках, выживают чаще, в то время как в понижениях они вымокают полностью. Особи *C. stellaris*, оказавшиеся в зоне колебания зеркал болотных вод, часто имеют измененный цвет, а особи, находящиеся непосредственно в зоне подтопления, вымокают и постепенно отмирают. Изредка по бокам самых высоких кочек сохраняются *C. rangiferina* или *C. stygia*, особи которых вблизи воды реагируют так же, как *C. stellaris*. При сильном подтоплении лишайники погибают полностью и не восстанавливаются даже спустя 15 лет.

На участках, подвергшихся техногенному воздействию, остаются и первыми восстанавливаются только виды р. *Cladonia*. Виды р. *Cetraria*, которые наряду с видами р. *Cladonia* также представлены на нативных олиготрофных торфяниках, на техногенно трансформированных болотах практически не встречаются, что объясняется их чувствительностью к загрязнению. Например, *C. islandica* входит в группу индикаторных к антропогенному воздействию видов [Телятников, Пристяжнюк, 2006].

Последствия осушения, вызванные перераспределением стока, и эвтрофикации олиготрофных торфяных почв, а также создание

новых дренированных местообитаний из торфа и торфо-минеральной смеси (обваловок, насыпей) образуют условия для расширения присутствия лишайников, увеличения их проективного покрытия (до 20 % и более). Осушение и эвтрофикация, в большинстве случаев обусловленная сдвигом pH почв в субнейтральную сторону (более 4,5), создают условия для угнетения сфагновых мхов – основных конкурентов эпигейных лишайников, что вызывает заметный рост присутствия последних. На таких участках виды р. *Cladonia* нередко становятся содоминантами. Например, *C. amaurocraea*, *C. coniocraea*, *C. fimbriata* встречаются на слабо эвтрофицированных почвах, а с увеличением степени эвтрофикации они постепенно заменяются другими видами р. *Cladonia*. На уплотненном торфе обваловок и насыпей обычно формируются пионерные группировки из *C. deformis*, *C. crispata*, *C. macilenta* и др., произрастающих на оголенном торфе ненарушенных олиготрофных болот. В целом видовой состав лишайников на периферии коридоров коммуникаций и зон разливов богаче, так как там к вновь поселяющимся видам добавляются виды, сохранившиеся от нативных болот.

Поступила в редакцию / received: 30.10.2023; принята к публикации / accepted: 18.12.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

##### Шишконокова Екатерина Анатольевна

канд. геогр. наук, старший научный сотрудник отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв

e-mail: shishkonakova\_ea@esoil.ru

##### Толпышева Татьяна Юрьевна

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник кафедры микологии и альгологии

e-mail: tolpyшева@mail.ru

#### Литература

Лапшина Е. Д., Блойтен В. Типы нарушений и естественное восстановление растительности олиготрофных болот на нефтяных месторождениях Томской области // *Krylovia*. 1999. Т. 1, № 1. С. 129–140.

Телятников М. Ю., Пристяжнюк С. А. Негативное воздействие воздушных выбросов предприятий г. Норильска на растительность тундры и лесотундры // *Turczaninowia*. 2006. Vol. 9, no. 4. P. 93–111.

Толпышева Т. Ю., Шишконокова Е. А. Лишайники естественных и нарушенных олиготрофных болот Самотлорского нефтяного месторождения // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2023. Т. 128, вып. 4. Ботаника. С. 59–75. doi: 10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-4-59-75

#### References

Lapshina E. D., Bloeten V. Types of disturbances and natural restoration of vegetation of oligotrophic bogs in oil fields in the Tomsk Region. *Krylovia*. 1999;1:129–140. (In Russ.)

Telyatnikov M. Yu., Pristyazhnyuk S. A. Negative impact of air emissions from Norilsk enterprises on the vegetation of the tundra and forest-tundra. *Turczaninowia*. 2006;9(4):93–111. (In Russ.)

Tolpysheva T. Yu., Shishkonakova E. A. Lichens of pristine and disturbed oligotrophic bogs of the Samotlor oil field. *Bul. Moscow Soc. Natural Scientists. Biology*. 2023;128(4):59–75. doi: 10.55959/MSU0027-1403-BB-2023-128-4-59-75 (In Russ.)

#### CONTRIBUTORS:

##### Shishkonakova, Ekaterina

Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher

##### Tolpysheva, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

УДК 581.9

## ПОЗДНЕЛЕДНИКОВАЯ И ГОЛОЦЕНОВАЯ ИСТОРИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, КЛИМАТА И ПОЖАРОВ В ПРЕДГОРЬЯХ АЛТАЯ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТА МОХОВОЕ

Т. А. Бляхарчук<sup>1,2\*</sup>, М. А. Пупышева<sup>1</sup>, П. А. Бляхарчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (пр. Академический 10/3, Томск, Россия, 634055), \*blyakharchuk@mail.ru

<sup>2</sup> Томский государственный университет (просп. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050)

Сопряженный анализ палеоэкологических данных (спорово-пыльцевых и ботанического анализа торфа) с угольковыми данными (микроугольковых и макроугольковых) на основе единой временной шкалы, построенной по 5 радиоуглеродным (УМС) датировкам из разреза отложений торфяного болота Моховое, расположенного в предгорьях Алтая, выявил комплексную картину изменений растительного покрова, климата и пожарной активности за последние 16 285 лет. Оценка ландшафтных изменений проведена с использованием метода биомизации Прентиса. Сопоставление палеопожарных реконструкций с результатами спорово-пыльцевого и макрофоссильного анализов выявили периодичность крупных пожарных событий, происходивших на фоне изменений климата, растительного покрова и эволюции болотного массива. Интенсивные и частые пожары ускоряли смены в растительном покрове как болота, так и окружающих суходольных ландшафтов. После очередной смены фитоценозов интенсивность горения ландшафта обычно снижалась. Болотные стадии: древесно-осоковая – 8,5–5,5 тыс. календарных лет назад (кал. л. н.); кочкарно-осоковая – 5,5–3 тыс. кал. л. н. и топяно-осоковая – 3–1 тыс. кал. л. н. начинались после периодов мощной интенсификации пожаров. Наиболее интенсивные и длительные пожарные эпизоды приводили к смене господствующих биомов в регионе. Так, пожары 11,5–10,5 тыс. кал. л. н. привели к смене степных биомов на лесостепные. Мощные пожары среднеголоценового оптимума 5,5–5,1 тыс. кал. л. н. привели к увеличению в лесах роли пирогенно устойчивой сосны. Корреляция максимумов пожаров с реконструированными биомами показала, что в раннем и позднем голоцене интенсификация пожаров происходила в периоды аридизации климата (расширение степного биома), а в среднем голоцене, напротив, в более влажные периоды (расширение биома тайги) за счет усиления грозовой активности.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ; голоцен; позднеледниковье; Алтай; растительность; климат; пожары; болото

Для цитирования: Бляхарчук Т. А., Пупышева М. А., Бляхарчук П. А. Позднеледниковая и голоценовая история растительности, климата и пожаров в предгорьях Алтая по данным комплексных палеоэкологических исследований болота Моховое // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 85–89. doi: 10.17076/eco1837

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось за счет средств гранта РНФ № 23-27-00217.

**T. A. Blyakharchuk<sup>1,2\*</sup>, M. A. Pupysheva<sup>1</sup>, P. A. Blyakharchuk<sup>1</sup>. LATE GLACIAL AND HOLOCENE HISTORY OF VEGETATION, CLIMATE AND FIRES IN ALTAI MOUNTAIN PIEDMONTS ACCORDING TO MULTI PROXY PALAEOECOLOGICAL INVESTIGATION OF MOKHOVOE MIRE**

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (10/3 Akademicheskoy Ave., 634055 Tomsk, Russia), \*blyakharchuk@mail.ru

<sup>2</sup> Tomsk State University (36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia)

Conjugate analysis of paleoecological data (spore-pollen and macrofossil analysis of peat) with charcoal data (microcharcoal and macrocharcoal) based on a single time scale constructed using 5 radiocarbon (AMC) dates from a section of the deposit of Mokhovoe peat bog, located in the foothills of Altai Mts., produced a comprehensive image of the changes in the vegetation cover, climate and fire activity over the past 16 285 years. Landscape changes were assessed using the Prentice biomization method. A comparison of charcoal analysis data with spore-pollen and macrofossil analysis data revealed the periodicity of large fire events that occurred against the backdrop of changes in climate, vegetation cover, and the evolution of the mire. Intensive and frequent fires accelerated changes in the vegetation cover of both the mire and the surrounding upland landscapes. After each change in vegetation, the intensity of landscape burning usually decreased. Paludal stages: woody-sedge (8.5–5.5 ka BP), hummock-sedge (5.5–3 ka BP) and flark-sedge (3–1 ka BP), began after periods of high fire intensity. The most intensive and prolonged fire episodes led to a change in the dominant biomes in the region. Thus, fires at 11.5–10.5 ka BP triggered a change from steppe biomes to forest-steppe ones. The strong fires of the mid-Holocene optimum at 5.5–5.1 ka BP led to an increase in the share of the fire-resilient pine in the forests. The correlation of fire periods with the reconstructed biomes showed that in the early and late Holocene, intensification of fires occurred during periods of climate aridization (steppe biome expansion), while in the mid-Holocene, on the contrary, it happened in wetter periods (taiga biome expansion) due to higher thunderstorm activity.

**Keywords:** spore-pollen and macrofossil analyses; Holocene; Late Glacial; Altai; vegetation; climate; fire; mire

For citation: Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A., Blyakharchuk P. A. Late Glacial and Holocene history of vegetation, climate and fires in Altai Mountain piedmonts according to multi proxy palaeoecological investigation of Mokhovoe mire. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 85–89. doi: 10.17076/eco1837

**Funding.** The study was funded under Russian Scientific Foundation grant #23-27-00217.

## **Введение**

Данные комплексных палеоэкологических исследований торфяных отложений болот несут уникальную информацию о развитии болота и об истории окружающего ландшафта, охватывающей многие тысячелетия. Интересным регионом для таких исследований являются западные предгорья Алтая, поскольку географически эта территория находится на границе между степной зоной и горными лесами. Это природный экотон, гиперчувствительный к любым изменениям климата. Кроме того, Предалтайская равнина и Алтайские горы в течение всего позднего голоцена были ареной развития различных археологических культур. Все это подчеркивает важность проведения здесь

детальных палеоэкологических исследований. До настоящего времени для предгорий Алтая нет достаточно репрезентативных палеопалинологических разрезов, охватывающих без перерыва все послеледниковое время и включающих также параллельное исследование эволюции болотного массива и пожарных событий в регионе. Появившиеся в последние годы публикации подобного рода охватывают лишь вторую половину голоцена [Бляхарчук и др., 2015; Rudaya et al., 2016; Blyakharchuk, Pupyshcheva, 2022]. Нами были исследованы спорово-пыльцевым, радиоуглеродным, макрофосфильным и угольковым методами отложения мощностью 640 см из торфяного болота Моховое, расположенного около поселка Ая на границе между Алтайским краем и Республикой Алтай.

## Материалы и методы

Из торфяных отложений болота Моховое, расположенного в предгорьях Алтая у поселка Ая (51,907160 с.ш. 85,846734 в.д.), с помощью торфяного бура был отобран керн озерно-болотных отложений мощностью 640 см. Спорово-пыльцевым, микроугольковым и макроугольковым методами изучено 130 образцов из отобранного керна. Подробное описание результатов спорово-пыльцевого и макроугольного анализов опубликовано [Бляхарчук, 2022; Пупышева, Бляхарчук, 2023]. Получено пять радиоуглеродных дат методом УМС в радиоуглеродной лаборатории Национального Университета Тайваня. Проведен ботанический анализ торфа с реконструкцией стадий развития болота. По данным пыльцевого анализа проведена реконструкция биомов методом Прентиса [Prentice et al., 1996]. Полученные результаты сопоставлялись графически на основе равномерной временной шкалы, основанной на имеющихся радиоуглеродных датировках. С помощью программы Bacon [Blaauw, Chisten, 2011], в которую вводились некалиброванные датировки, рассчитан календарный возраст каждого образца. Полученная серия расчетных датировок использовалась в программах Exel, Char Analysis и Tilia для построения графиков и сопоставления микроугольковых и макроугольковых данных с реконструкциями биомов (по пыльцевым данным) на единой временной шкале.

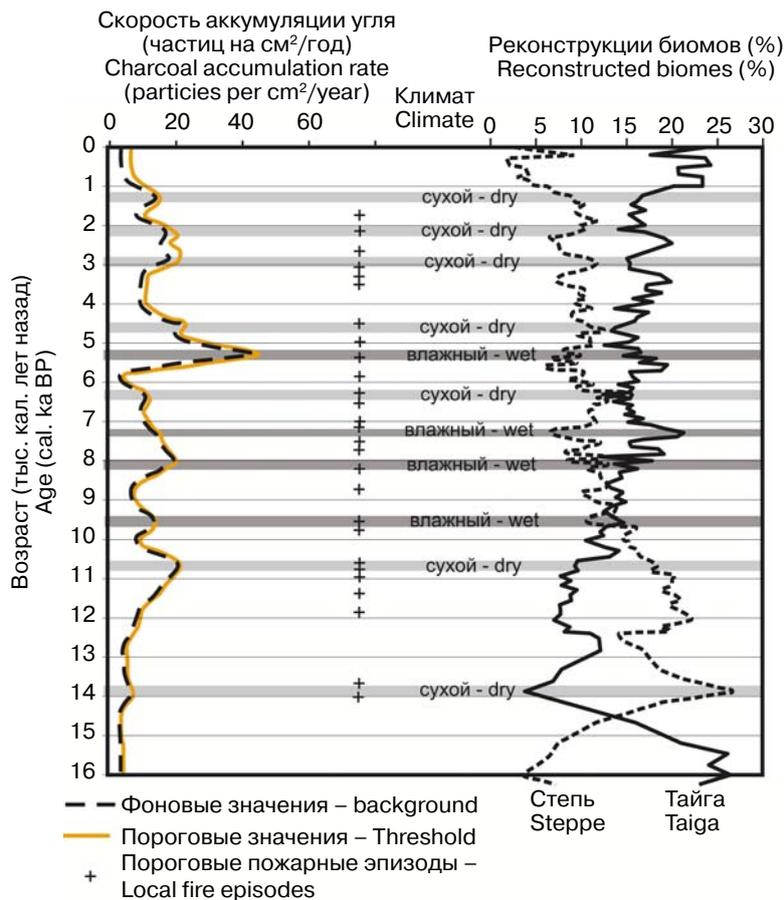
## Результаты и обсуждение

Радиоуглеродные датировки, полученные по маленьким (1 см<sup>3</sup>) образцам методом УМС, оказались в правильной последовательности, без инверсий: 2112 ± 68 (90–95 см), 4193 ± 71 (190–195 см), 7153 ± 92 (385–390 см), 10028 ± 83 (567–570 см), 13448 ± 84 (634–640 см). Исследования показали, что осадконакопление в месте исследования началось 16,185 тыс. календарных лет назад (кал. л. н.). Временное разрешение между образцами в среднем составило 25 лет (минимальное – 17,5 года, максимальное – 62 года). Полученные высокоразрешающие палеопалинологические данные раскрывают динамику растительного покрова западных предгорий Алтая с позднеледникового времени до современности без перерывов седиментации [Бляхарчук, 2022]. На основе палеопалинологических данных и выделенных пыльцевых зон (ПЗ) выявлено шесть фаз в развитии растительности, климата и ландшафтов в предгорьях Алтая, четыре из которых, вероятно, связаны с глобальными изменениями климата.

Литологический и ботанический анализы торфа в отложениях показали, что осадки возрастом 16–14,5 тыс. кал. л. н. представлены глинами; 14,5–10,9 тыс. кал. л. н. – озерным сапропелем; а с 10,9 до 1 тыс. кал. л. н. – торфами различного состава (в основном эвтрофными: гипновым, осоковым, древесно-осоковым). Лишь верхний слой торфяника возрастом 1 тыс. лет представлен мезотрофным осоково-сфагновым торфом. Корреляция данных биомизации с результатами палеопожарных исследований выявила возможные факторы, стимулировавшие возникновение пожаров в тот или иной период (рис.). Выявлена периодичность максимальной пирогенной активности на фоне изменений климата, растительного покрова и эволюции болотного массива. Длительность таких периодов составляет от 2 до 3,5 тыс. лет. Сопряженный анализ палинологических и макрофоссильных данных с угольковыми данными показал, что, хотя главным фактором, контролировавшим смену растительного покрова в послеледниковое время на исследуемой территории, являлось изменение климата (потепление/похолодание, увлажнение/аридизация), интенсивные и частые пожары способствовали ускорению смен растительности.

После очередной смены фитоценозов интенсивность горения ландшафта обычно снижалась, но практически каждый последующий период интенсификации пожарной активности приводил к смене господствующих фитоценозов либо на самом болоте, либо в окружающем ландшафте. Меньше было пожаров в период существования гипновой болотной фации в начале торфонакопления (10–8,5 тыс. кал. л. н.) и в заключительной стадии мезотрофного осоково-сфагнового болота (1 тыс. кал. л. н. – современность). Болотные стадии: древесно-осоковая (8,5–5,5 тыс. кал. л. н.), кочкарно-осоковая (5,5–3 тыс. кал. л. н.) и топяно-осоковая (3–1 тыс. кал. л. н.) начинались после периодов мощной интенсификации пожаров.

Наиболее интенсивные и длительные пожарные эпизоды приводили к смене господствующих биомов на региональном уровне. Так, пожары 11,5–10,5 тыс. кал. л. н. привели к смене степных биомов на лесостепные с березой. Наиболее интенсивные пожары голоценового оптимума (5,5–5 тыс. кал. л. н.) привели к увеличению в лесах исследуемого региона роли пирогенно устойчивой сосны и к снижению роли березы. По приуроченности пожарных максимумов к максимумам степного или лесного биомов сделан вывод о том, какие факторы могли стимулировать возгорания. В лесостепной зоне предгорий Алтая в раннем и позднем голоцене



Корреляция макроугольковых данных (обработанных программой Char Analysis) с реконструкциями биомов по пыльцевым данным болота Моховое методом биомизации. Максимумы пирогенной активности выделены серым цветом

Correlation of macrocharcoal data (developed in the Char Analysis program) with the reconstructed biomes by pollen data from the Mokhovoe mire by the biomization method. Periods of maximum pyrogenic activity are highlighted in gray

(14; 10,6; 6,3; 4,6; 2,9; 2,1; 1,3 тыс. кал. л. н.) наиболее вероятным фактором усиления пожарной активности была аридизация климата, а в среднем голоцене (9,5; 8; 7,3 и 5,3 тыс. кал. л. н.) при более влажном климате таким фактором, вероятно, являлось усиление грозовой активности.

## Заключение

Проведенные комплексные палеоэкологические исследования отложений болота Моховое в предгорьях Алтая показали, что пожары в этом регионе играли и играют важную роль в естественных природных экосистемах. Пожары возникали как при аридизации климата, так и при его увлажнении. Каждый период интенсивных пожаров выступал триггером в трансформациях растительного покрова, как на болоте, так и на окружающих суходольных ландшафтах.

Авторы благодарят А. В. Гренадерову за проведение ботанического анализа торфа болота Моховое.

## Литература

Бляхарчук Т. А., Митрофанова Е. Ю., Эйрих А. Н. Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 81–99. doi: 10.17076/lim166

Бляхарчук Т. А. Динамика растительного покрова западных предгорий Алтая в позднеледниковье и голоцене по данным спорово-пыльцевому анализу торфяных отложений болота Моховое // Материалы XV Всерос. палинологической конф., посв. памяти докт. геол.-минер. наук В. С. Волковой и докт. геол.-минер. наук М. В. Ошурковой (Москва, 1–3 июня 2022 г.). М., 2022. С. 53–56.

Пупышева М. А., Бляхарчук Т. А. Реконструкция локальных пожаров на примере торфяных отложений болота Моховое (Северный Алтай) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С.... doi: 10.17076/eco1835

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Anal.* 2011. Vol. 6. P. 457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A. Dynamics of vegetation and fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene according to palynological and charcoal research in the Maly Labysh Mire // *Contemporary Problems of Ecology.* 2022. Vol. 15, no. 2. P. 109–117. doi: 10.1134/S1995425522020020

Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Clim. Dyn.* 1996. No. 12. P. 185–194. doi: 10.1007/BF00211617

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Babich V., Li H.-Ch., Shilov P. Quantitative reconstructions of Mid- to Late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai mountain recorded in Lake Teletskoye // *Glob. Planet. Change.* 2016. No. 141. P. 12–24. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.04.002

## References

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 2011;6:457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T. A. Dynamics of vegetation on the western piedmonts of the Altai Mountains in Late Glacial and Holocene according to spore-pollen analysis of peat

deposits of the Mokhovoe Mire. *Materialy XV Vseros. konf., posv. pamyati dokt. geol.-miner. nauk V. S. Volkovoi i dokt. geol.-miner. nauk M. V. Oshurkovoii (Moskva, 1–3 iyunya 2022 g.) = Proceedings XV All-Russ. palynological conf. in memory of Dr. Sci. (Geol.-Miner.) V. S. Volkova and Dr. Sci. (Geol.-Miner.) M. V. Oshurkova (Moscow, June 1–3, 2022).* Moscow, 2022. P. 53–56. (In Russ.)

Blyakharchuk T. A., Mitrofanova E. Yu., Eirikh A. N. Integrated palaeoecological investigation of bottom sediments from Lake Manzherokskoye in the piedmont Altai region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2015;9:81–99. doi: 10.17076/lim166 (In Russ.)

Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A. Dynamics of vegetation and fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene according to palynological and charcoal research in the Maly Labysh Mire. *Contemporary Problems of Ecology.* 2022;15(2): 109–117. doi: 10.1134/S1995425522020020

Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Clim. Dyn.* 1996;12:185–194. doi: 10.1007/BF00211617

Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. Local history of paleofire on the example of peat sediments of the Mokhovoe Mire (Northern Altai). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2023;8:..... doi: 10.17076/eco1835 (In Russ.)

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Babich V., Li H.-Ch., Shilov P. Quantitative reconstructions of Mid- to Late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai mountain recorded in Lake Teletskoye. *Glob. Planet. Change.* 2016;141:12–24. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.04.002

Поступила в редакцию / received: 02.11.2023; принята к публикации / accepted: 22.11.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Бляхарчук Татьяна Артемьевна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник  
ИМКЭС СО РАН; профессор кафедры географии ТГУ

e-mail: blyakharchuk@mail.ru

### Пупышева Мария Александровна

младший научный сотрудник

e-mail: 455207@mail.ru

### Бляхарчук Павел Анатольевич

инженер

e-mail: blakar@rambler.ru

## CONTRIBUTORS:

### Blyakharchuk, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Professor of Geography Department, Tomsk State University

### Pupysheva, Maria

Junior Researcher

### Blyakharchuk, Pavel

Engineer

УДК 56.074.6

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОЖАРОВ НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БОЛОТА МОХОВОЕ (СЕВЕРНЫЙ АЛТАЙ)

М. А. Пупышева<sup>1\*</sup>, Т. А. Бляхарчук<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
(просп. Академический, 10/3, Томск, Россия, 634055), \*455207@mail.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет  
(просп. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050)

Представлены результаты реконструкции динамики пожаров в предгорьях Северного Алтая за последние 16 185 календарных лет на основе радиоуглеродного датирования и макроуголькового анализа отложений болота Моховое (Алтайский край). С помощью статистической обработки полученных данных в программном пакете Char Analysis в языковой среде R восстановлена локальная история пожаров, выявлен фоновый уровень аккумуляции частиц макроугольков, а также конкретные локальные пожарные эпизоды, время их возникновения и интенсивность. Установлено, что за всю историю развития болота произошло 27 локальных пожаров с 7 периодами максимальной пирогенной активности (14 200–13 600, 11 500–10 500, 9800–9200, 8400–6300, 5500–4300, 2900–1900, 1600–1000 кал. л. н.). Больше всего пожаров зафиксировано в атлантическом периоде (АТ) голоцена – 9 пожарных эпизодов с максимумом возгораний на границе этого и суббореального периода (SB) – 5500–5000 кал. л. н. Потепление голоценового оптимума, по всей видимости, способствовало возникновению серии мощных разрушительных локальных пожаров. Наименьшая пирогенная интенсивность зафиксирована в среднем дриасе (DR<sub>2</sub>), аллереде (AL), позднем дриасе (DR<sub>3</sub>) и в конце субатлантического периода (SA).

Ключевые слова: динамика пожаров; голоцен; Северный Алтай; макроугольковый анализ; болотные отложения

Для цитирования: Пупышева М. А., Бляхарчук Т. А. Реконструкция локальных пожаров на примере торфяных отложений болота Моховое (Северный Алтай) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 90–93. doi: 10.17076/esc1835

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при поддержке гранта РФФИ № 23-27-00217.

# M. A. Pupysheva<sup>1\*</sup>, T. A. Blyakharchuk<sup>1,2</sup>. RECONSTRUCTION OF LOCAL FIRE HISTORY, EXAMPLE OF PEAT DEPOSITS OF THE MOKHOVOE MIRE (NORTHERN ALTAI)

<sup>1</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (10/3 Akademicheskoy Ave., 634055 Tomsk, Russia), \*455207@mail.ru

<sup>2</sup> Tomsk State University (36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia)

The paper presents the results of a reconstruction of the dynamics of fires in the piedmont of Northern Altai over the last 16 185 calendar years based on macro-charcoal analysis and radiocarbon dating of deposits in Mokhovoe mire (Altai Krai). The local history of fires was reconstructed, the background level of accumulation of macro-charcoal particles was determined, and specific local fire episodes, the time of their occurrence and intensity were identified using statistical processing of the data in Char Analysis package in the R environment. It was revealed that through the entire history of the mire evolution there occurred 27 local fires with 7 periods of maximum pyrogenic activity (14 200–13 600, 11 500–10 500, 9800–9200, 8400–6300, 5500–4300, 2900–1900, 1600–1000 ka BP). The greatest number of fires occurred in the Atlantic period (AT) of the Holocene – 9 fire episodes with a maximum activity at the transition from the Atlantic (AT) to the Subboreal period (SB) – 5500–5000 ka BP. It is likely that the warming of the Holocene Climatic Optimum induced a series of strong destructive local fires. The lowest pyrogenic intensity was observed in the Middle Dryas (DR<sub>2</sub>), Allerød (AL), Younger Dryas (DR<sub>3</sub>), and at the end of the Subatlantic period (SA).

**Keywords:** dynamic of wildfires; Holocene; Northern Altai; macro-charcoal analysis; mire deposits

**For citation:** Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. Reconstruction of local fire history, example of peat deposits of the Mokhovoe mire (Northern Altai). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 90–93. doi: 10.17076/eco1835

**Funding.** The study was funded under Russian Science Foundation grant # 23-27-00217.

## Введение

С конца XX века на территории Алтае-Саянской горной страны наблюдается значительное увеличение частоты пожаров. Это происходит на фоне потепления климата, о чем свидетельствует рост средней температуры воздуха и количества температурных аномалий. Продолжающееся потепление климата может способствовать появлению новых очагов пожара, что приведет к перестройке природных экосистем и создаст угрозу для населения и экономики. Современный спутниковый мониторинг позволяет рассмотреть пирогенную обстановку в регионе, однако для разработки прогнозов вероятности пожаров и планов мероприятий, направленных на сохранение природных ландшафтов Алтае-Саянской горной страны, этих сведений недостаточно. Для выявления общего тренда пирогенной активности требуются данные за более длительный интервал времени, охватывающий весь голоцен, а не только за современный период. Наиболее достоверным источником информации являются озерно-болотные отложения, представляющие собой надежный «архив» палеоэкологических данных.

Так, обнаруживаемые в отложениях частицы макроугольков размером > 125 мкм свидетельствуют о пожарах прошлого, происходивших непосредственно вблизи болота (в радиусе 1–3 км от очага возгорания). Применение метода макроуголькового анализа с использованием средств программной обработки в Char Analysis [Higuera, 2009] позволяет восстановить непрерывную пирогенную историю прошлого. Цель нашей работы заключалась в получении реконструкции локальной истории пожаров на одном из участков Алтае-Саянской горной страны с использованием указанных современных методов получения и обработки материала.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбрано болото Моховое, расположенное в 4 км к юго-востоку от пос. Ая (Алтайский край). Во время полевых работ был отобран керн торфяных отложений мощностью 640 см. Для изучаемого разреза получено пять радиоуглеродных датировок [Пупышева, Бляхарчук, 2023] в Национальном университете Тайваня методом AMS.

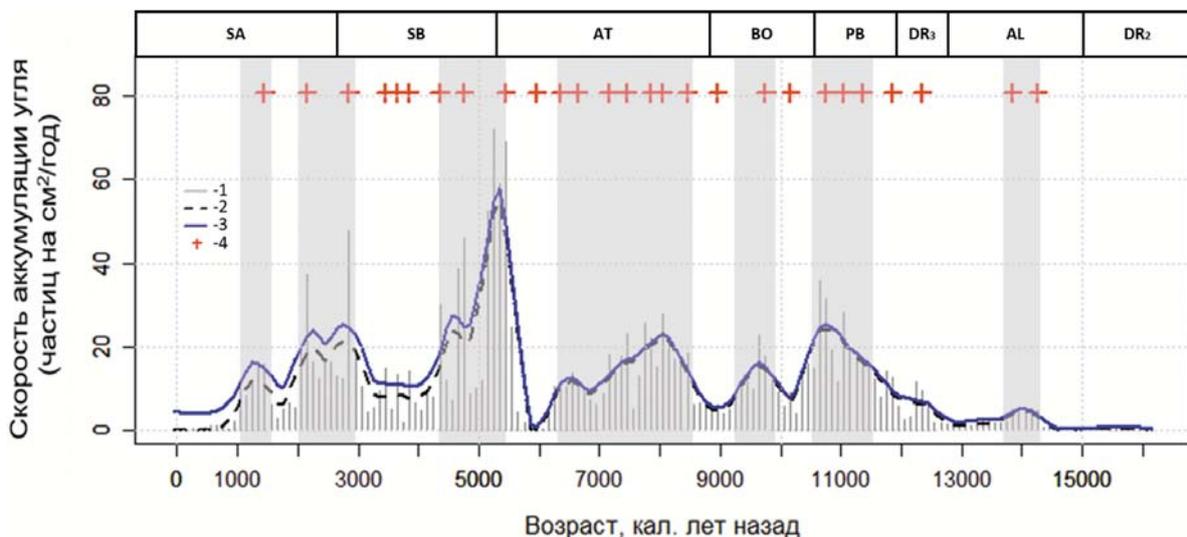
На основе радиоуглеродных дат, откалиброванных в программе Bacon [Blaauw, Christen, 2011] в R [R Core Team..., 2020] в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.), рассчитан календарный возраст каждого образца. На основе метода макроуголькового анализа реконструирована локальная история пожаров. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась в программном пакете Char Analysis [Higuera, 2009] в R [R Core Team..., 2020].

## Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным, в предгорьях Северного Алтая за 16 185 кал. лет произошло 27 локальных палеопожаров с 7 периодами максимальной пирогенной активности: 14 200 – 13 600, 11 500–10 500, 9800–9200, 8400–6300, 5500–4300, 2900–1900, 1600–1000 кал. л. н. (рис.). В DR<sub>2</sub> локальных пожаров на территории исследования не зафиксировано. Начало AL также ознаменовалось беспожарным периодом (0–1 частица/см<sup>2</sup>/год). В середине AL произошло два локальных пожара (14 250, 13 800 кал. л. н. при скорости аккумуляции угольков до 4 частиц/см<sup>2</sup>/год). Затем до конца AL пожары не отмечены. В DR<sub>3</sub> началось постепен-

ное увеличение скорости аккумуляции частиц угля до значений 10–15 частиц/см<sup>2</sup>/год (12 350, 12 290 кал. л. н.). В пребореале (PB) количество пожаров увеличилось до четырех (11 800, 11 400, 11 100, 10 800 кал. л. н.), а скорость аккумуляции угольков возросла с 15 до 32 частиц на см<sup>2</sup>/год. Пик пожаров пришелся на середину PB (11 100 кал. л. н. – 27 частиц/см<sup>2</sup>/год) и его конец (11 800 кал. л. н. – 31 частица/см<sup>2</sup>/год). В бореале (BO), благодаря увеличению влажности климата, пожарная активность снизилась до трех локальных пожаров (10 200, 9750 и 9000 кал. л. н. со скоростью аккумуляции угольков от 6 до 19 частиц/см<sup>2</sup>/год).

Пик пожарной активности отмечен в AT-периоде – девять локальных пожарных эпизодов (8400, 8100, 7800, 7450, 7200, 6600, 6350, 5950, 5450 кал. л. н.). С начала этого периода начался постепенный рост интенсивности пожаров, достигнув максимума 5450–5200 кал. л. н. (70–73 частицы/см<sup>2</sup>/год). По-видимому, это было обусловлено значительным увеличением температур в климатическом оптимуме голоцена. В SB количество пожаров снизилось до шести (4800, 4400, 3800, 3600, 3400, 2900 кал. л. н.), скорость аккумуляции угольков – с 73 до 10 частиц на см<sup>2</sup>/год к концу периода. В начале SA-периода отмечены два локальных палеопожара (2200 и 1490 кал. л. н. – 37 и 14 частиц



Изменение скорости аккумуляции макроугольков в отложениях болота Моховое, рассчитанное с помощью программы Char Analysis:

1 – интерполированные значения; 2 – фоновый уровень; 3 – пороговые значения; 4 – локальные пожарные эпизоды. Серым цветом выделены периоды максимальной пирогенной активности.

Changes in the accumulation rate of macro-charcoal in the sediments of the Mokhovoe mire, calculated using the Char Analysis program:

1 – CHAR-interpolated; 2 – CHAR-background; 3 – threshold; 4 – local fire episodes (peaks). Periods of maximum pyrogenic activity are highlighted in gray

на см<sup>2</sup>/год соответственно). Начиная с 1000 кал. лет и по настоящее время, согласно данным программы Char Analysis, пожарная активность снизилась до 0–5 частиц/см<sup>2</sup>/год, не выявив ни одного локального палеопожара.

## Заключение

Предгорья Северного Алтая за последние 16 185 кал. л. неоднократно подвергались воздействию пожаров. С пребореала началось постепенное увеличение их интенсивности, достигнув максимума в АТ-периоде, что было обусловлено глобальным потеплением климата. Далее пожарная активность несколько уменьшилась. Повышения ее отмечены в периоды 2900–1900 и 1600–1000 кал. л. н., а затем фоновый уровень пожаров в пределах болота Моховое снизился до минимальных значений. В целом же в предгорьях Северного Алтая отмечен линейный тренд на увеличение локальной интенсивности пожаров с позднеледниковья до современности.

## Литература

Пупышева М. А., Бляхарчук Т. А. Пожарная активность и динамика ландшафтов в предгорьях Северного Алтая с позднеледниковья до современности // XV Сибирское совещание и школа молодых ученых по климатологическому мониторингу: тез. докл. XV Всерос. конф. с междунар. участием (Томск, 17–20 октября 2023 г.). Томск, 2023. С. 177–180.

Поступила в редакцию / received: 01.11.2023; принята к публикации / accepted: 23.11.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Пупышева Мария Александровна

младший научный сотрудник

e-mail: 455207@mail.ru

### Бляхарчук Татьяна Артемьевна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник ИМКЭС СО РАН; профессор кафедры географии ТГУ

e-mail: blyakharchuk@mail.ru

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. Vol. 6. P. 457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Higuera P. Char Analysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Bozeman: MT, Montana State University, 2009. 27 p.

R Core Team: a language and environment for statistical computing // *R foundation for statistical computing* [Электронный ресурс]. 2020. URL: [www.r-project.org/index.html](http://www.r-project.org/index.html) (дата обращения: 20.04.2023).

## References

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*. 2011;6:457–474. doi:10.1214/ba/1339616472

Higuera P. Char Analysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Bozeman: MT, Montana State University; 2009. 27 p.

Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. Fire activity and landscape dynamics in the piedmont of the Northern Altai from the Late Glacial to the present. *XV Sibirskoe soveshchanie i shkola molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomu monitoringu: Tez. dokl. XV Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (Tomsk, 17–20 oktyabrya 2023 g.) = XV Siberian meeting and school of young scientists on climatic and ecological monitoring: Abstracts XV All-Russ. conf. with int. part. (Tomsk, Oct. 17–20, 2023)*. Tomsk; 2023. P. 177–180. (In Russ.)

R Core Team: a language and environment for statistical computing. *R foundation for statistical computing*. 2020. URL: [www.r-project.org/index.html](http://www.r-project.org/index.html) (accessed: 20.04.2023).

## CONTRIBUTORS:

### Pupysheva, Maria

Junior Researcher

### Blyakharchuk, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Professor of Geography Department, Tomsk State University

УДК 551.312.2 : 902.672

## РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗВИТИЯ ОЗЕРНО-БОЛОТНОЙ СИСТЕМЫ СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПУР-ТАЗОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ПО ДАННЫМ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТОРФЯНОГО КЕРНА

**Н. В. Шефер\***, **Т. А. Бляхарчук**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет  
(просп. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050), \*vchifz@mail.ru  
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН  
(просп. Академический, 10/3, Томск, Россия, 634055)*

Выполнена реконструкция развития озерно-болотной системы субарктической части Пур-Тазовского междуречья с использованием результатов палинологического и радиоуглеродного анализа. Установлено, что 11,2 тыс. кал. л. н. существовало озеро, которое 10 тыс. кал. л. н. сменилось эвтрофным болотом, по своей структуре сходным с современными «хасыреями». В период 8–7,3 тыс. кал. л. н. в зоне отбора колонки формируется мезотрофное болото. Около 6,1 тыс. кал. л. н. болото перешло в олиготрофную стадию. Современная трещиновато-полигональная структура болота, вероятно, была сформирована несколько позже, в период 5–4 тыс. кал. л. н. В истории болота выделено 7 периодов, связанных с переходом от влажных к более ксерофитным условиям, способствующим формированию многолетней мерзлоты. Выделенные периоды соотносятся с ранее проведенными климатическими реконструкциями для Арктического и Субарктического регионов России.

Ключевые слова: палинологический анализ; голоцен; динамика растительности; Западная Сибирь; Субарктика

Для цитирования: Шефер Н. В., Бляхарчук Т. А. Реконструкция развития озерно-болотной системы субарктической части Пур-Тазовского междуречья по данным палинологического изучения торфяного керна // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 94–98. doi: 10.17076/eco1830

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке программы развития Томского государственного университета «Приоритет-2030».

# **N. V. Shefer\*, T. A. Blyakharchuk. RECONSTRUCTION OF THE EVOLUTION OF THE LAKE-MIRE COMPLEX IN THE SUBARCTIC PART OF THE PUR-TAZ INTERFLUVE BY SPORE-POLLEN ANALYSIS OF THE PEAT COLUMN**

*Tomsk State University (36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia), \*vchifz@mail.ru  
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (10/3 Akademicheskoy Ave., 634055 Tomsk, Russia)*

We reconstructed the development of a local lake-mire complex using the results of pollen analysis and radiocarbon dating. We found that 11.2 cal ka BP there was a lake, which was then replaced by a eutrophic fen with a structure similar to the modern drained lake basin (khasyrey) by 10 cal ka BP. During the period of 8–7.3 cal ka BP, the sampled area was occupied by a mesotrophic mire. At about 6.1 cal ka BP the mire changed to an oligotrophic stage. The modern polygonal structure of this mire was probably formed somewhat later, in the period of 5–4 cal ka BP. There are seven periods in the mire history associated with transitions from wet to drier conditions, which contribute to the development of permafrost. These periods correlate with the previous climatic reconstructions proposed for the Arctic and Subarctic regions of Russia.

**Keywords:** pollen analysis; Holocene; vegetation dynamics; Western Siberia; Subarctic

**For citation:** Shefer N. V., Blyakharchuk T. A. Reconstruction of the evolution of the lake-mire complex in the subarctic part of the Pur-Taz interfluvium by spore-pollen analysis of the peat column. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 94–98. doi: 10.17076/eco1830

**Funding.** The study was carried out with financial support from the Tomsk State University Development Programme “Priority-2030”.

## **Введение**

На протяжении всего голоцена на территории Субарктики распространены болотные системы, играющие важную роль в цикле углерода. В настоящее время в этом регионе распространена многолетняя мерзлота и ею сковано большинство торфяных болот. Уязвимость Арктики и Субарктики к современному потеплению климата и произошедшая в последние десятилетия деградация мерзлых торфяников подчеркивают необходимость их детального изучения и мониторинга, чтобы лучше прогнозировать изменения этих экосистем [Nichens-Bergström, Sannel, 2023].

При проведении палинологических исследований и ботанического анализа торфа до сих пор не выделены специфические таксоны – индикаторы возникновения многолетней мерзлоты. Однако использование ботанического анализа торфа позволяет реконструировать формирование многолетней мерзлоты по резкому переходу от влажных к более ксерофитным условиям на болоте [Nichens-Bergström, Sannel, 2023]. По аналогии с этой методикой мы предположили, что результаты палинологического анализа также могут быть использованы для реконструкции периодов появления более холодных и ксерофитных условий, связанных с образованием многолетней мерзлоты.

Для исследования на полигональном болоте в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа были отобраны торфяные и подстилающие их озерные отложения. Цель работы состоит в реконструкции развития озерно-болотной системы в меняющемся климате голоцена Субарктики в Пур-Тазовском междуречье на основе палинологического анализа.

## **Материалы и методы**

Район исследований расположен в подзоне южной тундры, характеризующейся доминированием кустарниковых тундр: ерниковых, ивняковых, ольховниковых. Типичны ерниковые и ивняково-ерниковые сообщества с лишайниково-моховым покровом. В местах распространения песчаных почв развиваются кустарничково-мохово-лишайниковые полигональные и пятнисто-полигональные тундры. Для подзоны характерно развитие кустарничково-осоково-моховых валиково-полигональных и кустарничково-мохово-лишайниковых трещиновато-полигональных комплексных болот [Ильина и др., 1985].

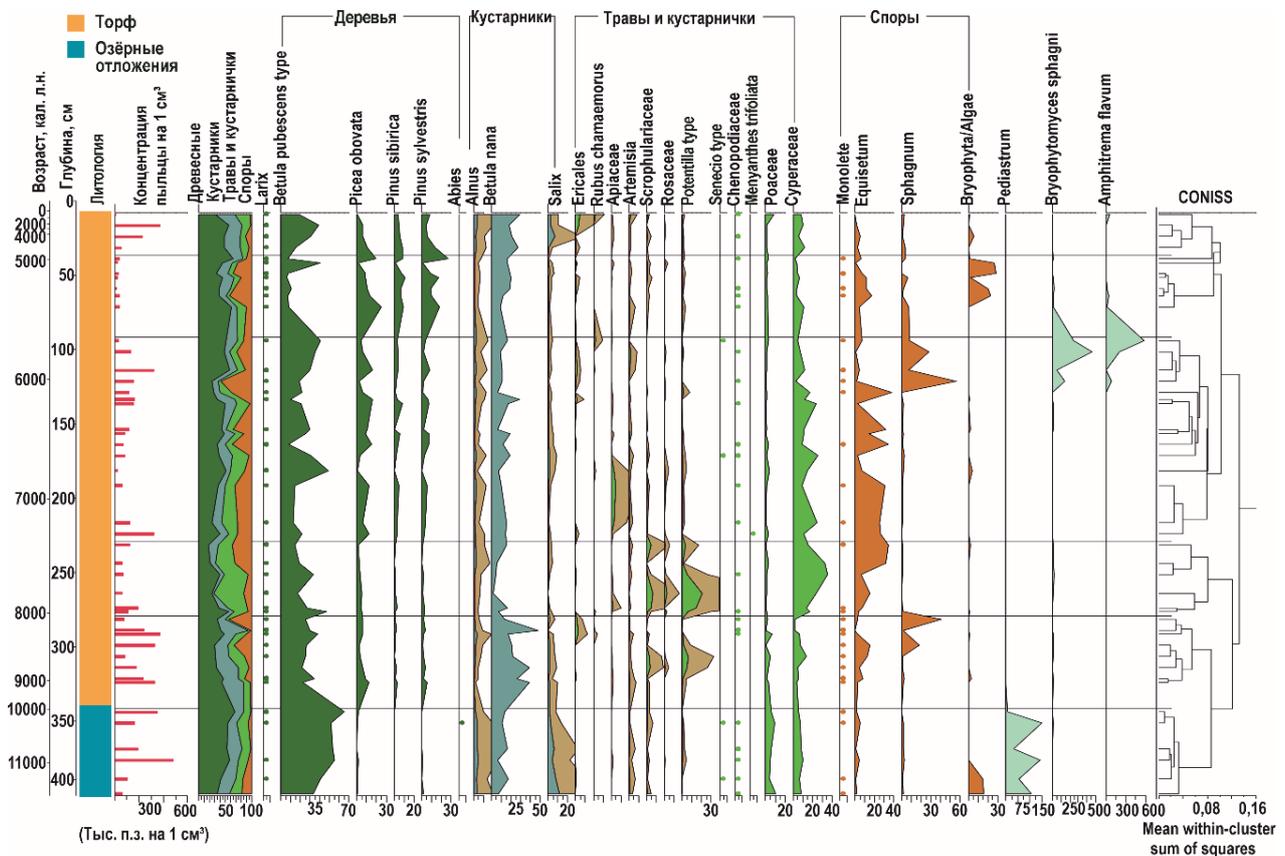
Место отбора колонки СКТ-15-3Д расположено на полигональном болоте (67°21'25" с. ш. 78°42'11" в. д., 9 м над ур. моря). Отложения мощностью 4 метра отобраны в 2015 году

колонковым геологическим бурением (бур УКБ-12/25-01), и керн был поделен на слои толщиной по 2,5 см. Для спорово-пыльцевого анализа отбирались образцы по 1 см<sup>3</sup>, обработка которых проведена по методу Эрдмана. Отложения глубже 320 см дополнительно обрабатывались плавиковой кислотой. Для определения концентрации пыльцы в образцы добавляли таблетки, содержащие известное количество спор *Lycopodium*. Подсчет палиноморф в образце производился до 500 пыльцевых зерен. Радиоуглеродное датирование материала проведено в киевской лаборатории радиоуглеродного анализа (Украина) – 7,5–10 см (соврем.); 37,5–40 см (4510 ± 50); 132,5–135 см (5410 ± 90), 152,5–155 см (5580 ± 90), 290–292,5 см (7310 ± 80) и в познаньской радиоуглеродной лаборатории (Польша) – 342,5–345 см (9100 ± 50). Глубинно-возрастная модель построена на основе 6 радиоуглеродных дат в R с применением пакета rbasop и охватывает 11,2 тыс. лет озерно-болотного осадконакопления. Спорово-пыльцевая диаграмма построена в программе Tillia по 46 спорово-пыльцевым спектрам, дан-

ные по пыльце и спорам растений рассчитаны в процентах от суммы всех пыльцевых зерен и спор растений, для НПП даны абсолютные значения.

## Результаты и обсуждение

11,2–10 тыс. лет н. э. на месте отбора колонки существовало озеро, о чем свидетельствуют значительное количество водорослей *Algae* и *Pediastrum* sp. и минеральная природа отложений. Участие пыльцы злаков и осоковых, *Rosaceae* (*Potentilla* type, вероятно, *Comarum palustre* L.) и спор хвощей свидетельствует о заболачивании по периферии палеоводоёма. В период 10–8 тыс. лет н. э. озеро сменяется эвтрофным болотом, по своей структуре сходным с современными «хасыряями», что также подтверждает переход от озерных отложений к торфу на глубине 340 см. Увеличивается участие спор зеленых и сфагновых мхов и хвощей, а также пыльцы *Rosaceae* (*Potentilla* type) и осоковых. В отложениях этого времени присутствуют фрагменты водоросли *Pediastrum* sp., уровень воды в формирующемся болоте



Спорово-пыльцевая диаграмма колонки СКТ-15-3D  
Spore-pollen diagram for column CKT-15-3D

периодически повышался. Приблизительно 7,3 тыс. кал. л. н. в зоне отбора колонки существовало мезотрофное болото, что подтверждается значительным участием спор хвощей, пыльцы осоковых, зонтичных, Rosaceae (*Potentilla* type) и появлением пыльцы вахты. Около 6,1 тыс. кал. л. н. болото перешло в олиготрофную стадию, о чем свидетельствует уменьшение обилия пыльцы осок и Rosaceae (*Potentilla* type), но увеличение содержания пыльцы эрикоидных, морошки и спор сфагновых мхов. Вероятно, современная трещиновато-полигональная структура болота была сформирована несколько позже, в период 5–4 тыс. кал. л. н. Около 4 тыс. кал. л. н. скорость накопления торфа значительно снизилась, при этом увеличилась концентрация пыльцы, что позволяет предположить мерзлотное пучение. Повышение концентрации пыльцы в отложениях может быть следствием увеличения продуктивности растительного сообщества либо периода экспозиции поверхности. Мерзлотное пучение вызывает иссушение поверхности бугра, отмирание мхов-торфообразователей и увеличивает период экспозиции [Шефер и др., 2023].

Проанализировав палинологические спектры торфяных отложений, мы выделили семь периодов, для которых характерно уменьшение участия пыльцы ели, осоковых и спор хвощей и одновременно с этим увеличение участия спор мхов и пыльцы эрикоидных кустарничков. Мы интерпретируем их как наступление более холодных ксерофитных условий, способствующих формированию мерзлоты. Выделенные периоды соотносятся с ранее проведенными климатическими реконструкциями [Andreev, Klimanov, 2000]. Из семи выделенных нами периодов три соответствуют 5, 4 и 3 событиям Бонда [Bond et al., 1997].

## Заключение

Анализ пыльцевых спектров колонки СКТ-15-3D из субарктической зоны Западной Сибири выявил поэтапную эволюцию озерно-болотного комплекса от озерной стадии до полигонального болота. В ходе исследования выявлено семь периодов похолодания, вероятно, способствовавших промерзанию торфяника: ~8,5; 8,2–8,0; ~6,7; ~6,0; 5,8–5,6; 5,3–5,1 и ~4 тыс. кал. л. н.

## Литература

- Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. И., Мельцер Л. И., Романова Е. А., Богоявленский Б. А., Махно В. Д. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
- Шефер Н. В., Бляхарчук Т. А., Лойко С. В., Шумиловских Л. С., Гуреева И. И. История растительности и пожаров арктической части Пур-Тазовского междуречья в голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Вып. 69, № 2. С. 244–263. doi: 10.30758/0555-2648-2023-69-2-244-263
- Andreev A. A., Klimanov V. A. Quantitative Holocene climatic reconstruction from Arctic Russia // *J. Paleolimnol.* 2000. Vol. 24, no. 1. P. 81–91. doi: 10.1023/A:1008121917521
- Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., Demenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates // *Science.* 1997. Vol. 278, no. 5341. P. 1257–1266. doi: 10.1126/science.278.5341.1257
- Hichens-Bergström M., Sannel A. B. K. Permafrost development in northern Fennoscandian peatlands since the mid-Holocene // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* 2023. Vol. 55, no. 1. P2250035. doi: 10.1080/15230430.2023.2250035

## References

- Andreev A. A., Klimanov V. A. Quantitative Holocene climatic reconstruction from Arctic Russia. *J. Paleolimnol.* 2000;24(1):81–91. doi: 10.1023/A:1008121917521
- Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., Demenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science.* 1997;278(5341):1257–1266. doi: 10.1126/science.278.5341.1257
- Hichens-Bergström M., Sannel A. B. K. Permafrost development in northern Fennoscandian peatlands since the mid-Holocene. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* 2023;55(1):P2250035. doi: 10.1080/15230430.2023.2250035
- Ильина И. С., Лапшина Е. И., Лавренко Н. И., Мельцер Л. И., Романова Е. А., Богоявленский Б. А., Махно В. Д. Vegetation cover of the West Siberian Plain. *Novosibirsk: Nauka;* 1985. 251 p. (In Russ.)
- Шефер Н. В., Бляхарчук Т. А., Лойко С. В., Шумиловских Л. С., Гуреева И. И. History of vegetation and fires in the Arctic part of the Pur-Taz interfluvium in the Holocene. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic Research.* 2023;69(2): 244–263. doi: 10.30758/0555-2648-2023-69-2-244-263 (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 27.10.2023; принята к публикации / accepted: 29.11.2023.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Шефер Никита Витальевич**

лаборант лаборатории структурного и молекулярного анализа растений, младший научный сотрудник лаборатории биогеохимических и дистанционных методов мониторинга окружающей среды ТГУ; инженер лаборатории мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН

*e-mail: vchifz@mail.ru*

### **Бляхарчук Татьяна Артемьевна**

д-р биол. наук, главный научный сотрудник ИМКЭС СО РАН; профессор кафедры географии ТГУ

*e-mail: blyakharchuk@mail.ru*

## **CONTRIBUTORS:**

### **Shefer, Nikita**

Laboratory Assistant at Laboratory for Structural and Molecular Analysis of Plants, Junior Researcher at Laboratory of Biogeochemical and Remote Sensing Methods in Environmental Monitoring, Tomsk State University; Engineer at Laboratory of Forest Ecosystem Monitoring, IMCES SB RAS

### **Blyakharchuk, Tatyana**

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Professor of Geography Department, Tomsk State University

УДК 581.526 : 551.794 (09) (1-751.1)

## ИСТОРИЯ СУХОДОЛЬНОЙ И ВОДНО-БОЛОТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РОССИЙСКО-ФИНЛЯНДСКОМ ПАРКЕ «ДРУЖБА» В ПОСЛЕЛЕДНИКОВЬЕ

**Л. В. Филимонова**

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)*

Приведены обобщенные данные по динамике суходольной и водно-болотной растительности на территории российско-финляндского парка «Дружба» со времени ее дегляциации в пребореале (11 160 кал. л. н.) до современности, полученные с использованием стратиграфического, радиоуглеродного и палеоботанических методов. Установлено, что перигляциальные, тундровые и березовые лесотундровые сообщества в бореале сменились березовыми и сосново-березовыми редкостойными лесами. Преобладание сосновых лесов отмечено со времени 9750 ± 120 кал. л. н., максимальное распространение – после 9220 ± 100 кал. л. н. и в атлантикуме. Экспансия ели зафиксирована с 6500 кал. л. н., наибольшее участие в растительном покрове – в конце суббореала (после 3520 ± 80 кал. л. н.), уменьшение – в субатлантике. Господствующими опять становятся сосновые северотаежные леса. Согласно данным, заболачивание некоторых обводненных депрессий началось в пребореале (10 830 ± 160 кал. л. н.). В бореальное и атлантическое время улучшение прогрева обмелевших палеоводоемов способствовало сапротелеобразованию, зарастанию их водно-болотной растительностью и переходу на тельматический путь развития.

Ключевые слова: озерно-болотные отложения; радиоуглеродное датирование; спорово-пыльцевой и макрофоссильный анализы; динамика растительности; голоцен; Карелия; Финляндия

Для цитирования: Филимонова Л. В. История суходольной и водно-болотной растительности в российско-финляндском парке «Дружба» в послеледниковье // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 99–103. doi: 10.17076/esc1851

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт биологии КарНЦ РАН, тема FMEN-2022-008).

## L. V. Filimonova. THE HISTORY OF DRYLAND AND WETLAND VEGETATION IN THE RUSSIAN-FINNISH FRIENDSHIP NATURE RESERVE IN THE POST-GLACIAL PERIOD

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

The paper presents generalized data on the dynamics of dryland and wetland vegetation in the Russian-Finnish Friendship Nature Reserve area from the time of its deglaciation in the Preboreal era (11 160 cal BP) to the present, obtained using stratigraphic, radiocarbon and palaeobotanical methods. It was found that the periglacial, tundra and birch forest-tundra communities were replaced in the Boreal period by sparse birch and pine-birch forests. Pine forests prevailed since  $9750 \pm 120$  cal BP, with a maximum distribution after  $9220 \pm 100$  cal BP and in the Atlanticum. An expansion of spruce was recorded from 6500 cal BP, with its greatest share in the vegetation cover at the end of the Subboreal, after  $3520 \pm 80$  cal BP, and a decrease in Subatlantic time. North-taiga pine forests then re-emerge as dominants. Data indicate that the formation of mires in some water-logged depressions began in Preboreal time ( $10\,830 \pm 160$  cal BP). In the Boreal and Atlantic times, better warming of the now shallow palaeolakes promoted sapropel formation, overgrowing with wetland vegetation, and transition to the thelmatic evolutionary path.

**Keywords:** lake-mire sediments; radiocarbon dating; spore-pollen and macrofossil analyses; vegetation dynamics; Holocene; Karelia; Finland

For citation: Filimonova L. V. The history of dryland and wetland vegetation in the Russian-Finnish Friendship Nature Reserve in the Post-Glacial period. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 99–103. doi: 10.17076/eco1851

**Funding.** The study was financed from the Russian federal budget through state assignment to the Karelian Research Centre RAS (Institute of Biology KarRC RAS, FMEN-2022-008).

### Введение

В связи с современной климатической нестабильностью и необходимостью оценки влияния человека на окружающую среду актуально изучение естественных трендов развития растительности на фоне глобальных изменений климата. Особый интерес представляют территории, которые были перекрыты последним Валдайским ледником, а также в дальнейшем не подверглись значительной антропогенной трансформации. Со всех этих позиций территория российско-финляндского парка «Дружба», который входит в состав Зеленого пояса Фенноскандии и имеет хорошо сохранившиеся коренные северотаежные сосновые леса, представляла значительный интерес. Отсутствовавшие ранее для нее палеоэкологические и радиоуглеродные данные получены в ходе проведенных комплексных исследований. В качестве наиболее надежных и перспективных для изучения были выбраны озерно-болотные отложения, поскольку они содержат информацию о природно-климатических изменениях регионального и глобального характера, истории формирования ландшафтов, сукцессиях суходольной и водно-болотной растительности, а также развитии палеоводоемов,

их зарастании и заторфовывании. Цель работы заключалась в реконструкции истории развития суходольной и водно-болотной растительности на территории российско-финляндского парка «Дружба» со времени ее дегляциации до современности.

### Материалы и методы

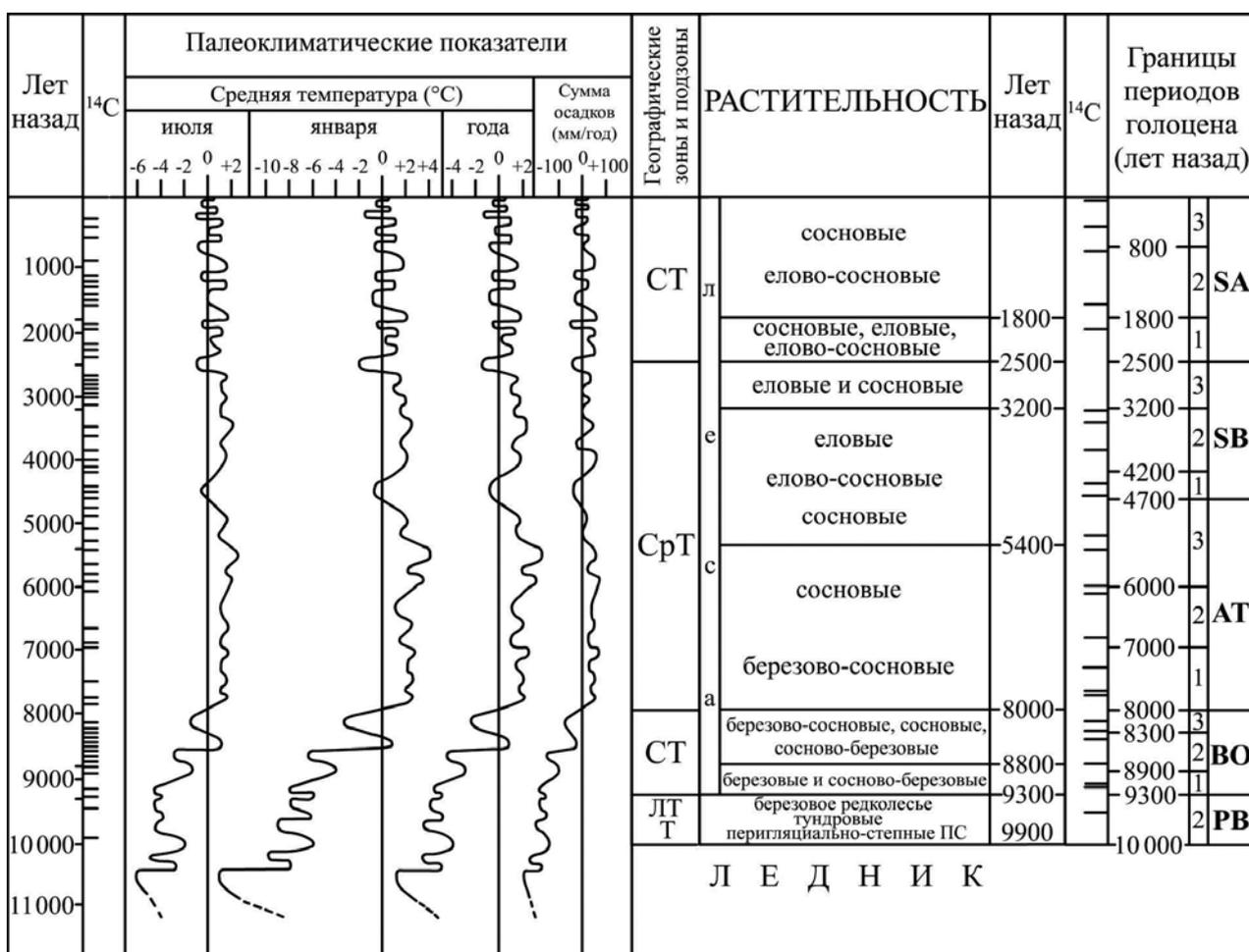
Исследования проведены на болотах Isosuo (64.566667N, 29.85E) и Härkösuo (64.2N, 30.433333E) в финской части парка «Дружба» [Kuznetsov et al., 2012], а также на болоте Межсельговое (64.578611N, 30.369444E) в Костомукшском заповеднике, который расположен на северо-западе Карелии [Филимонова, 2021]. Данные стратиграфического, радиоуглеродного и палеоботанического (определение пыльцы, спор, водорослей *Pediastrum* и макроостатков растений) изучения озерно-болотных отложений опубликованы в указанных работах. Выполненные реконструкции изменений природной среды опираются на 20 датировок по  $^{14}\text{C}$ . Калиброванный возраст рассчитан с использованием программы OxCal (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>) на основе калибровочной кривой IntCal20 [Reimer et al., 2010].

## Результаты и обсуждение

Установлено, что дегляциация территории российско-финляндского парка «Дружба» началась примерно 9700 л. н. / 11 160 кал. л. н. и закончилась не позднее 9500 ± 70 л. н. / 10 830 ± 160 кал. л. н. Она была обусловлена глобальным потеплением климата в пребореале (PB) с максимумом ~ 10 000 л. н. / 11 600 кал. л. н. (рис.). По мере отступления ледника здесь распространились перигляциально-степные поlynно-марево-разнотравные, тундровые (ерниково- и кустарничково-зеленомошные, ивовые и осоково-злаковые), а также лесотундровые березовые сообщества. К концу периода последние становятся преобладающими.

Начавшееся заторфовывание обводненных депрессий подтверждает датировка 9500 ± 70 л. н. / 10 830 ± 160 кал. л. н. базального слоя торфа с примесью песка из разреза болота Isosuo. Мелководья палеоводоемов также начали зарастать водно-болотной растительностью, но этот процесс сдерживался их глубоководностью, поступлением холодных талых вод и еще довольно суровыми климатическими условиями.

В бореале (BO) березовые редколесья сменились березовыми и сосново-березовыми редкостойными лесами. Потепление климата, дефицит влажности и снижение уровня грунтовых вод в результате гляциоизостатического подъема Балтийского щита способствовали



Динамика растительности на фоне изменения климата в голоцене.

Палеоклиматические показатели даны относительно современных их значений:  $t_{\text{VII}} = +15^\circ$ ,  $t_1 = -12^\circ$ ,  $t_{\text{года}} = 0,5^\circ$ , количество осадков = 535 мм/год [по: Elina et al., 1995]. ПС – палеосообщества, Т – тундра, ЛТ – лесотундра, СТ – северная тайга, CpT – средняя тайга

Vegetation dynamics against climate change in the Holocene.

Paleoclimatic indicators are given relatively to their current values:  $t_{\text{VII}} = +15^\circ$ ,  $t_1 = -12^\circ$ ,  $t_{\text{year}} = 0,5^\circ$ , precipitation = 535 mm/year [reconstruction after Elina et al., 1995]. ПС – paleocommunities, Т – tundra, ЛТ – forest-tundra, СТ – northern tundra, CpT – middle taiga

распространению сосновых лесов до максимума в конце БО ( $8240 \pm 60$  л. н. /  $9220 \pm 100$  кал. л. н.,  $8090 \pm 200$  л. н. /  $9000 \pm 260$  кал. л. н.) и болотообразованию. Сразу с отложения переходного торфа  $9110 \pm 80$  л. н. /  $10300 \pm 100$  кал. л. н. началось развитие в тектонической депрессии болота Härkösuo. Для обмелевшего палеоводоема Межсельговое характерно сапропелеобразование.

На протяжении атлантического (АТ) периода преобладали сосновые и березово-сосновые среднетаежные леса. Потепление и увеличение влажности климата создали условия для расселения ольхи клейкой и, возможно, вяза. Экспансия ели отмечена с  $5700$  л. н. /  $6500$  кал. л. н., ее существенный вклад в растительный покров – с  $5440 \pm 40$  л. н. /  $6240 \pm 50$  кал. л. н. Характерно активное зарастание обмелевших водоемов эвтрофными травяными, травяно-сфагновыми и травяно-гипновыми сообществами и переход их, в том числе Межсельгового, на тельматическую стадию развития. На болотах Isosuo и Härkösuo широкое распространение имели эвтрофные и мезотрофные фитоценозы, в состав которых входили вахта, хвощ, различные осоки и мхи. В конце АТ на первом из них отмечено появление мезотрофно-олиготрофных осоково-шейхцериево-сфагновых сообществ, на втором – формирование кочковато-топяных комплексов со *Sphagnum fuscum* на кочках.

В суббореале (SB) еловые леса достигли наибольшего распространения, особенно в его конце (после  $3290 \pm 70$  л. н. /  $3520 \pm 80$  кал. л. н.), когда они, вероятно, содоминировали с сосновыми лесами. Для болот Isosuo и Härkösuo были характерны те же сообщества, что и в конце АТ, для болота Межсельговое – грядово-мочажинные комплексы.

Глобальное похолодание в начале субатлантического (SA) периода вызвало выпадение из растительного покрова района исследований и южнее расположенных территорий неморальных видов, изреживание сосновых и еловых лесов, в результате чего они приобрели северотаежный облик. Участие ели в составе лесов снизилось, особенно в последние 800 (700) лет. В настоящее время здесь господствуют сосновые леса. В SA на болоте Härkösuo отмечено увеличение трофности из-за большего поступления богатых грунтовых вод и формирование мезотрофно-эвтрофных осоково-сфагновых сообществ. На болоте Isosuo подъем уровня болотно-грунтовых вод способствовал распространению гипергидрофильных сфагнов, характерных для обводненных мочажин. В месте отбора отложений из центральной части болота Межсельговое

зафиксировано «наступление» мочажины на гряды в SA-1. Однако последующая экспансия мезоолиготрофных и олиготрофных мхов, доминирование последних со времени 800 л. н. / 700 кал. л. н. свидетельствуют об обеднении болотно-грунтовых вод, снижении их уровня и переходе центральной части болота на атмосферный тип питания.

Наряду с доминирующей растительностью начиная с бореала встречались березовые и ольхово-березовые постпирогенные сообщества, с атлантического времени – ольшаники. К настоящему времени лесные массивы, пострадавшие от природных пожаров (молний), практически восстановились. Леса в основном девственные, поскольку не испытали существенного антропогенного воздействия.

## Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что дегляциация северо-запада Карелии и появление здесь ели произошли несколько раньше, чем считалось. Смены растительных сообществ на первых этапах формирования растительного покрова происходили значительно быстрее, чем в среднетаежной подзоне. Выявлены региональные и локальные особенности развития суходольной и водно-болотной растительности. Полученные климато-хронологическая схема динамики суходольной растительности с пребореала до настоящего времени для района исследований, а также комплекс датированных спорово-пыльцевых диаграмм ( $20^{14}\text{C}$ ) для современной территории распространения северотаежных сосновых лесов могут быть использованы при сопоставлении с данными других регионов с целью реконструкции пространственно-временной динамики растительности.

## Литература

- Филимонова Л. В. Динамика растительности в заповеднике «Костомукшский» (Россия) и на окружающей территории на фоне изменения природной среды в голоцене // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021. Vol. 6(Suppl. 1). P. 98–115. doi: 10.24189/ncr.2021.019
- Kuznetsov O., Heikkilä R., Mäkilä M., Filimonova L. Holocene vegetation dynamics and carbon accumulation of two mires in Friendship Park, eastern Finland // The Finnish Environment. 2012. Vol. 38. P. 91–112.
- Elina G. A., Filimonova L. V., Klimanov V. A. Late Glacial and Holocene paleogeography of East Fennoscandia // Climate and environment changes of East

Europe during the Holocene and Late-Middle Pleistocene. M.: IG RAS, 1995. P. 20–27.

Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62(4). P. 725–757. doi: 10.1017/RDC.2020.41

## References

Elina G. A., Filimonova L. V., Klimanov V. A. Late Glacial and Holocene paleogeography of East Fennoscandia. *Climate and environment changes of East Europe during the Holocene and Late-Middle Pleistocene*. Moscow: IG RAS; 1995. P. 20–27.

Filimonova L. V. Vegetation dynamics in the Kostomuksha State Nature Reserve (Russia) and surroundings against changes in the natural environment during the Holocene. *Nature Conservation Research*. 2021;6(1):98–115. doi: 10.24189/ncr.2021.019 (In Russ.)

Kuznetsov O., Heikkilä R., Mäkilä M., Filimonova L. Holocene vegetation dynamics and carbon accumulation of two mires in Friendship Park, eastern Finland. *The Finnish Environment*. 2012;38:91–112.

Reimer P. J., Austin W. E. N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020;62(4):725–757. doi: 10.1017/RDC.2020.41

Поступила в редакцию / received: 04.12.2023; принята к публикации / accepted: 11.12.2023.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Филимонова Людмила Владимировна**

канд. биол. наук, старший научный сотрудник

e-mail: [filimonovaluda@mail.ru](mailto:filimonovaluda@mail.ru)

## CONTRIBUTOR:

**Filimonova, Lyudmila**

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

## ОЛЬГА ПАВЛОВНА СТЕРЛИГОВА (к 80-летию со дня рождения)

29 ноября 2023 г. исполнилось 80 лет доктору биологических наук, главному научному сотруднику лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии КарНЦ РАН Ольге Павловне Стерлиговой.

Ольга Павловна родилась в 1943 году в г. Волхове. Ее профессиональный путь исследователя связан с Институтом биологии КарНЦ РАН, в котором она начала работать сразу после окончания Карельского государственного педагогического института в 1966 году. В 1980 г. она защитила кандидатскую диссертацию по теме «Роль планктофагов в экосистеме Сямозера», в 2009 г. – докторскую диссертацию по теме «Динамика рыбного населения водоемов Восточной Фенноскандии». В 1998 г. ей присвоено ученое звание старшего научного сотрудника по специальности «ихтиология». За долгий период работы в лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Ольга Павловна прошла все научные должности, вплоть до заведующей лабораторией.

О. П. Стерлигова является высококвалифицированным исследователем в области экологии и ихтиологии. Основные направления ее научной деятельности связаны с изучением фундаментальных проблем функционирования водных экосистем региона, оценкой биологических ресурсов и рационального их использования, а также экологической оценкой последствий антропогенной нагрузки на водоемы: форелеводческих комплексов, стоков промышленных предприятий и урбанизации озерных экосистем. Рекомендации по результатам этих исследований многие годы используются при подготовке экологических обоснований при организации форелевых хозяйств в Республике Карелия. Большое внимание Ольга Павловна уделяет также исследованиям биологических инвазий, включающим оценку воздействия чужеродных видов на пресноводные водоемы Республики Карелия.



Под руководством О. П. Стерлиговой выполнены комплексные исследования по гидрологии, гидрохимии, гидробиологии и рыбному населению 94 водоемов в 14 районах Республики Карелия, которые позволили оценить запасы водных биологических ресурсов и определить рыбопродуктивность озер. Созданы три базы данных, позволяющие планировать работы по развитию рыбной отрасли и рыболовного туризма в Республике Карелия, рассчитывать объемы выращивания товарной форели в водоемах, составлять тематические карты рыбопромысловых и рыбоводных участков, разрабатывать рекомендации по охране окружающей среды.

Проводимые О. П. Стерлиговой и под ее руководством исследования в разные годы поддерживались РФФИ, РГНФ, ФЦП (2010–2013 гг.), ведомственными программами фундаментальных научных исследований Президиума РАН и Отделения биологических наук РАН

(2013–2021 гг.), региональными программами Министерства сельского и рыбного хозяйства Республики Карелия и Министерства экономического развития Республики Карелия, а также Ассоциацией форелеводов Республики Карелия.

По результатам этих исследований опубликовано более 260 научных работ, в том числе в научных высокорейтинговых журналах. Ольга Павловна принимает активное участие в научных мероприятиях международного и российского уровня. Помимо этого она ведет активную просветительскую деятельность – постоянно проводит семинары для студентов по направлению исследований, издает учебные пособия, выступает с научной информацией в СМИ.

Кроме того, О. П. Стерлигова осуществляет экспертную работу: зарегистрирована в Федеральном реестре научно-технической сферы (с 2003 г.), является экспертом при Министерстве сельского и рыбного хозяйства Республики Карелия; в разные годы была Председателем государственной аттестационной комиссии студентов КГПУ (2009–2014 гг.) и ПетрГУ (2014–2023 гг.), длительное время являлась членом специализированного диссертационного совета при ПетрГУ по защите докторских и кандидатских диссертаций, член Ученого совета ИБ КарНЦ РАН; активно участвует в экспертизе статей, диссертаций, программ и проектов.

За активную научную, научно-организационную и педагогическую деятельность Ольге Павловне Стерлиговой присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Карелия» (2012 г.), а ранее – почетное звание «Заслуженный работник рыбного хозяйства РК» (1996 г.). Она награждена почетными грамотами РАН и профсоюза работников РАН (1978, 2003, 2013 гг.), РАН (1974, 2016 гг.), Президиума КарНЦ РАН (1996, 1998, 2003, 2008, 2013 гг.). В 2023 году за большой личный вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований в области экологии и ихтиологии, подготовку кадров высшей квалификации О. П. Стерлигова награждена Почетным знаком Главы Республики Карелия «За вклад в развитие Республики Карелия».

Коллеги и ученики сердечно поздравляют Ольгу Павловну с юбилеем, желают ей крепкого здоровья, счастья, воплощения в жизнь всех намеченных планов, дальнейших успехов в научной и педагогической деятельности.

Н. В. Ильмаст, Е. Н. Распутина

## СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ О. П. СТЕРЛИГОВОЙ

**1972.** О кильце *Coregonus albula* Онежского озера // Сб. Лососевые (Salmonidae) Карелии. Вып. 1. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 70–73.

**1976.** О биологии зимненерестующей ряпушки (*Coregonus albula*) Риндозера (бассейн реки Суны) // Сб. Лососевые (Salmonidae) Карелии. Петрозаводск: КФ АН СССР. С. 70–75. (Совместно с Л. В. Егоровой.)

**1979.** Корюшка (*Osmerus eperlanus*) и ее роль в ихтиоценозе Сямозера // Вопр. ихтиологии. Т. 19, №. 5. С. 792–800.

**1982.** Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука. 248 с. (Совместно с Ю. С. Решетниковым, О. А. Поповой, Е. П. Иешко.)

**1984.** Экспериментальное изучение выедания икры сига ершом и беспозвоночными // Вопр. ихтиологии. Т. 24, вып. 6. С. 1036–1039. (Совместно с С. А. Павловским.)

**1992.** Особенности биологии сига Сямозера в связи с эвтрофированием водоема // Биологические исследования растительных и животных систем. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 79–87. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**1995.** The structure and biodiversity of water Ecosystems in Lake Tolvojarvi // Karelian Biosphere Reserve. Studies. North Karelian Biosphere Reserve. Joensuu. P. 235–242. (Совместно с А. V. Ryabinin, A. V. Freindling, P. A. Lozovik, V. Ya. Pervozvansky, A. J. Kalugin, A. L. Chupukov, N. V. Ilmast.)

**1997.** Биомониторинг озерно-речной системы р. Лижма (южная Карелия) // Мониторинг биоразнообразия. М. С. 307–313. (Совместно с С. Ф. Комулайненом, Я. А. Кучко, С. А. Павловским, Н. В. Ильмастом, А. К. Морозовым.)

**1998.** Биология сига оз. Пулманкиярви (Северная Финляндия) // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 171–179. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**1999.** Сиги озера Мантоярви // Вопросы ихтиологии. Т. 39, № 1. С. 120–124. (Совместно с Н. В. Ильмастом, В. В. Хренниковым, Э. Ниемеля, М. Каукоранта.)

**2000.** Динамика рыбного населения водоемов Восточной Фенноскандии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: ИПЭЭ им. А. Н. Северцова РАН. 48 с.

**2001.** Effect of the trout farm on the lake-river ecosystem // Ecohydrology and Hydrobiology. Vol. 1, no. 1-2. P. 219–228. (Совместно с S. F. Komulainen, S. A. Pavlovsky, N. V. Ilmast, Y. A. Kuchko.)

**2002.** Biological characteristics of European whitefish in Lake Pulmankijarvi, northern Finland

// Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. 57. P. 359–366. (Совместно с N. V. Ilmast.)

Coregonid fishes of Lake Tulos // Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. 57. P. 479–485. (Совместно с N. V. Ilmast, V. Ya. Pervozvansky, S. F. Kitaev.)

Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 119 с. (Совместно с В. Н. Павловым, Н. В. Ильмастом, С. А. Павловским, С. Ф. Комулайненом, Я. А. Кучко.)

**2003.** Изменение структуры рыбного населения малых и средних водоемов Фенноскандии // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 213–220. (Совместно с Н. В. Ильмастом, В. Я. Первозванским, С. П. Китаевым.)

Сиги (*Coregonus lavaretus*) малых водоемов северной Лапландии (Финляндия) // Вопросы ихтиологии. Т. 43, № 3. С. 338–344. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**2004.** The results of the introduction of coregonid fishes into Vashozero, a lake in southern Karelia // Annales Zoologici Fennici. 41. P. 191–194. (Совместно с N. Ilmast.)

Многолетняя динамика структурных и системных характеристик рыбного населения эвтрофируемого Сямозера // Биология внутренних вод. № 3. С. 93–102. (Совместно с В. Г. Терещенко, В. Н. Павловым, Н. В. Ильмастом.)

**2005.** Оценка состояния и динамика популяции ряпушки Сямозера // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Т-во науч. изд. КМК. С. 285–290. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Балансовая модель биотического сообщества Сямозера. Опер.-информ. материалы. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 54 с. (Совместно с Е. А. Криксуновым, А. Е. Бобыревым, В. А. Бурменским, В. Н. Павловым, Н. В. Ильмастом.)

Состояние экосистемы Вашозера при вселении сиговых рыб // Труды Карельского научного центра РАН. Биогеография Карелии. Вып. 7. С. 64–71. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Т. А. Иешко, С. А. Павловским, Я. А. Кучко.)

**2006.** Итоги вселения сиговых рыб в Вашозеро // Вопросы ихтиологии. Т. 46, № 2. С. 219–223. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 39 с. (Совместно с С. П. Китаевым, Н. В. Ильмастом.)

**2007.** Охрана окружающей среды при выращивании форели в Карелии // Рыбоводство

и рыбное хозяйство. № 2. С. 9–16. (Совместно с С. П. Китаевым, Н. В. Ильмастом.)

Изучение влияния форелевого комплекса на экосистему Сямозера (южная Карелия) // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л. А. Кудерского). Сб. научных трудов. Вып. 337. СПб.; М.: Т-во науч. изд. КМК. С. 532–543. (Совместно с С. П. Китаевым, Н. В. Ильмастом, С. А. Павловским, Я. А. Кучко, С. Ф. Комулайненом.)

**2009.** Виды-вселенцы в водных экосистемах Карелии // Вопросы ихтиологии. Т. 49, № 3. С. 372–379. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Результаты рыбоводных работ по расселению судака *Sander lucioperca* в водоемы Карелии // Вопросы ихтиологии. Т. 49, № 4. С. 558–560. (Совместно с А. А. Рюкшиевым, Н. В. Ильмастом.)

**2010.** Сравнительная характеристика многокочечниковых сегов *Coregonus lavaretus* (Coregonidae) Сямозера и Тумасозера // Вопросы ихтиологии. Т. 50, № 3. С. 427–432. (Совместно с Д. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом.)

Ресурсные виды // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 85–91. (Совместно с Н. В. Ильмастом, В. Я. Первозванским.)

**2011.** Сравнительная биологическая характеристика судака *Sander lucioperca* озер Сямозеро и Суоярви в связи с акклиматизацией // Вопросы рыболовства. Т. 12, № 3(47). С. 447–456. (Совместно с Н. В. Ильмастом, А. А. Рюкшиевым.)

Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 386–393. (Совместно с С. П. Китаевым, Н. В. Ильмастом, С. Ф. Комулайненом, Я. А. Кучко, С. А. Павловским, Е. С. Савосиным.)

**2012.** Состояние популяций корюшки *Osmerus eperlanus* Выгозера и Сямозера, сформировавшихся в результате саморасселения // Вопросы ихтиологии. Т. 52, № 3. С. 358–364. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Сиг *Coregonus lavaretus* (L.) Костомукшского хвостохранилища в условиях техногенного загрязнения // Экология. № 4. С. 298–303. (Совместно с Н. Н. Немовой, Е. П. Иешко, О. В. Мещеряковой, Н. В. Ильмастом, Л. В. Аникиевой, Д. И. Лебедевой, М. В. Чуровой, Я. А. Кучко.)

Сравнительная биологическая характеристика судака *Sander lucioperca* Онежского озера и Выгозера // Биология внутренних вод. № 2. С. 55–60. (Совместно с А. А. Рюкшиевым, Н. В. Ильмастом.)

Состояние некоторых водоемов Северной Карелии и их использование для товарного выращивания радужной форели // Труды Кольского научного центра РАН. № 3. Прикладная экология Севера. Вып. 2. С. 39–45. (Совместно с С. П. Китаевым, Н. В. Ильмастом.)

Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 230 с. (Совместно с Н. Н. Немовой, Н. В. Ильмастом, Е. П. Иешко, О. В. Мещеряковой.)

**2013.** Гидробиоценозы Костомукшского водохранилища (бассейн Белого моря) в условиях техногенного загрязнения // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 15, № 3(3). С. 916–920. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, С. А. Павловским.)

**2014.** Рыбное население особо охраняемых территорий Республики Карелия // Вопросы ихтиологии. Т. 54, № 6, С. 717–725. (Совместно с Н. В. Ильмастом, В. Я. Первозванским.)

Состояние биоты озера Каменное (Северная Карелия) // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 16, № 1(4). С. 972–977. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, С. А. Павловским.)

Разнообразие водных экосистем Зеленого пояса Фенноскандии (Республика Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 6. С. 115–121. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**2015.** Состояние пресноводной экосистемы при товарном выращивании радужной форели в озере Верхнее Пулонгское (Северная Карелия) // Вопросы рыболовства. Т. 16, № 1. С. 126–132. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, Е. С. Савосиным.)

**2016.** Окунь *Perca fluviatilis* (Percidae) разнотипных водоемов Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. № 2(155). С. 57–62. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Д. С. Савосиным.)

Динамика популяции европейской ряпушки *Coregonus albula* Сямозера (Республика Карелия) // Сибирский экологический журнал. № 2. С. 177–183. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Распространение и условия обитания многотычинкового сига *Coregonus lavaretus* (L.) водоемов Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. № 4. С. 48–58. (Совместно с Д. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом.)

Результаты вселения новых видов рыб в озеро Мунозеро (южная Карелия) // Российский журнал биологических инвазий. № 3. С. 39–46. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 224 с. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Д. С. Савосиным.)

Популяционные показатели сиговых рыб озера Гимольского (Карелия) // Вестник рыбо-

хозяйственной науки. Т. 3, № 4(12). С. 35–44. (Совместно с Д. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, Н. П. Милянчуком, Д. С. Беляевым.)

**2017.** Динамика популяции инвазийного вида корюшки *Osmerus eperlanus* в Сямозере (южная Карелия) // Вопросы ихтиологии. Т. 57, № 5. С. 576–584. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**2018.** Современное состояние популяции ряпушки *Coregonus albula* Гимольского озера (западная Карелия) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. № 3(172). С. 52–57. (Совместно с Д. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом, Е. С. Савосиным, Н. П. Милянчуком.)

Рыбное население малых водоемов бассейна Онежского озера и перспективы их использования // Труды Карельского научного центра РАН. № 10. С. 96–104. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Н. П. Милянчуком.)

Экосистема Урозера и результаты вселения в водоем новых видов рыб // Российский журнал биологических инвазий. № 3. С. 62–69. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко.)

Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 127 с. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, С. Ф. Комулайненем, Е. С. Савосиным, И. А. Барышевым.)

Биологические показатели сиговых видов рыб озера Тулос (западная Карелия) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. № 8(177). С. 27–32. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Н. П. Милянчуком.)

**2019.** Перспективы выращивания объектов аквакультуры в озерах Карелии // Вопросы рыболовства. Т. 20, № 2. С. 216–224. (Совместно с Я. А. Кучко, Е. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом.)

Плотва *Rutilus rutilus* (L.) озерно-речной системы реки Кенти (бассейн Белого моря) // Труды Карельского научного центра РАН. № 5. С. 73–82. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Д. С. Савосиным.)

Рыбное население Сямозера в районе форелевого хозяйства // Труды Карельского научного центра РАН. № 11. С. 42–49. (Совместно с Н. П. Милянчуком, Н. В. Ильмастом, Е. Н. Распутиной, И. В. Филатовым.)

**2020.** Проявление необычных свойств у рыб в новой ситуации на примере ряпушки *Coregonus albula* и корюшки *Osmerus eperlanus* // Вопросы ихтиологии. Т. 60, № 3. С. 352–363. (Совместно с Ю. С. Решетниковым, Л. В. Аникиевой, И. М. Королевой.)

Influence of fish pond culture on the fish fauna of Ladoga Lake // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 941. Art. 012014. (Совместно с N. P. Milyanchuk, N. V. Ilmast.)

Первые данные о рыбном населении озера Толпанъярви (западная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 12. С. 93–104. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Н. П. Милянчуком, Д. С. Савосиным, Е. С. Савосиным.)

Рыбное население водоемов системы р. Кенти в условиях длительного промышленного загрязнения (западная Карелия) // Успехи современной биологии. Т. 140, № 4. С. 404–414. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**2021.** Экосистема слабоизученного оз. Тикшозера (западная Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. № 5. С. 45–56. (Совместно с Я. А. Кучко, Е. С. Савосиным, Н. В. Ильмастом.)

Экосистема Маслозера и результаты вселения в водоем корюшки *Osmerus eperlanus* // Российский журнал биологических инвазий. № 2. С. 40–51. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, А. Н. Шаровым, Е. С. Савосиным, Д. С. Савосиным.)

Результаты интродукции европейской ряпушки *Coregonus albula* в водоемы Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. № 12. С. 19–25. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

Микроспоридиоз европейской корюшки *Osmerus eperlanus* в оз. Сямозеро // Российский журнал биологических инвазий. № 4. С. 2–13. (Совместно с Л. В. Аникиевой, Е. П. Иешко, О. П. Стерлиговой, Ю. С. Решетниковым.)

**2022.** Мониторинговые исследования состояния Кондопожской губы Онежского озера в условиях ведения рыболовной деятельности // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. № 2. С. 72–76. (Совместно с В. О. Артамоновым, Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, Е. С. Савосиным, Н. П. Милянчуком, Д. С. Савосиным.)

**2023.** Fish fauna of North European Russia's water ecosystems affected by artificially-induced pollution // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1154. Art. 012020. doi: 10.1088/1755-1315/1154/1/012020 (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

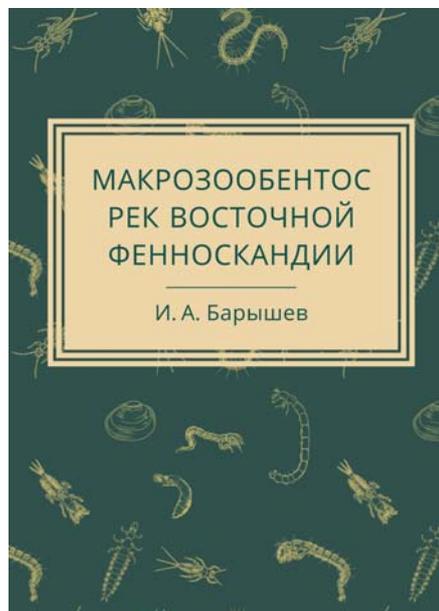
Сохранившаяся в естественном состоянии экосистема оз. Толпанъярви, западная Карелия // Успехи современной биологии. Т. 143, № 5. С. 512–520. (Совместно с Н. В. Ильмастом, Я. А. Кучко, Е. С. Савосиным, Д. С. Савосиным.)

Состояние экосистемы озера Хедо (западная Карелия) в условиях рыболовной деятельности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 2. С. 15–23. (Совместно с Е. С. Савосиным, Я. А. Кучко, Д. С. Савосиным, Н. П. Милянчуком.)

Ихтиологические и гидробиологические исследования в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. № 3. С. 113–124. (Совместно с Н. В. Ильмастом.)

**Барышев И. А. Макрозообентос рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 334 с.: табл., ил.**

В монографии обобщены результаты многолетних исследований макрозообентоса водотоков Восточной Фенноскандии, относящихся к водосборным бассейнам Балтийского, Белого и Баренцева морей. Рассмотрено влияние природных и антропогенных факторов на таксономический состав, обилие и трофическую структуру сообществ донных беспозвоночных. Представлены результаты изучения пространственной и сезонной динамики макрозообентоса и дрефты. Показано, что северное расположение, порожистый характер русла и наличие множества проточных озер в реках Восточной Фенноскандии обуславливают особую структуру макрозообентоса, для которой характерны преобладание литореофильной фауны, качественная обедненность, многократное варьирование количественных показателей по участкам и фрагментированная продольная организация. Значительное влияние оказывают также низкая минерализация и олиготрофный характер речных вод региона, которые определяют чувствительность структуры сообществ донных беспозвоночных к поступлению биогенных



и органических веществ природного и антропогенного происхождения.

Предназначена для гидробиологов, ихтиологов, зоологов, экологов и других специалистов, занимающихся вопросами охраны и рационального использования природных ресурсов, а также преподавателей вузов, студентов и аспирантов.

**Ефремов Д. А., Ручьёв М. А. Большая Имандровская экспедиция. Река Куна, 2020–2021. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2022. 112 с.**

В книге собраны современные данные о местах нагула, нереста, сроках миграции лососевых видов рыб в р. Куна (бассейн Белого моря, р. Нива, Имандровское водохранилище). В ходе экспедиций 2020–2021 гг. была обследована р. Куна с притоками, отчетные материалы легли в основу представленной монографии. Были открыты и изучены уникальные нерестилища пресноводной формы атлантического лосося (*Salmo salar* L.), кумжи (*Salmo trutta* L.) и арктического гольца (*Salvelinus alpinus* L.). Подсчитаны площади нерестово-выростных участков (НВУ), гидрологические характеристики нерестилищ. Определены границы распространения видов, фактический и потенциальный запас молоди и производителей рыб.



Подготовлены карты нерестилищ и озер, разработаны рекомендации по сохранению и управлению запасами лососевых видов рыб в р. Куна. Также возможно проведение мероприятий на р. Куна по расселению гидробионта европейская жемчужница (*Margaritifera margaritifera* L.).

Представленные сведения позволят оптимизировать работу сотрудников государственной инспекции по охране ВБР, общественных инспекторов, рейнджеров и волонтеров, начать эффективную работу по сохранению и приумножению запасов лосося, кумжи и гольца в р. Куна.

**Геникова Н. В., Дубровина И. А., Карпечко А. Ю., Кулакова Л. М., Мамай А. В., Медведева М. В., Мошкина Е. В., Сидорова В. А., Туюнен А. В., Толстогузов О. В. Карбоновый вектор онтологической модели экономики землеустройства / Науч. ред. О. В. Толстогузов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 276 с.**

В монографии рассмотрена системная парадигма карбонового земледелия и предложены альтернативные подходы к монетизации экосистемного сервиса. В результате научного исследования разработана модель экономической оценки изменения режима землепользования на основе баланса углерода в экосистемах и оптимальной стратегии деятельности экономического агента. Для верификации модели изучен углеродный след в биогеоценозах при разных режимах землепользования, изучены трансформация цикла углерода и структура его экосистемных запасов. Авторский коллектив научной монографии всесторонне, от философского до информационного смыслов, представил и раскрыл сущность феномена «карбоновый вектор онтологической модели экономики землеустройства».



В процессе научного поиска авторы пришли к утверждению, что оптимальный с точки зрения экономики и справедливый с точки зрения общества метод монетизации природного капитала и услуг земли опирается исключительно на монетизацию институционального капитала.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации  
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, утраты науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегия серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляет за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил её оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются электронная версия статьи, которую авторы вычитывают и заверяют.

Журнал имеет систему электронной редакции на базе Open Journal System (OJS), позволяющую вести представление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронном формате и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Содержание выпусков Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные версии статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

### ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word в систему электронной редакции на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо высылаются на e-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru), или же представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

Для публикации в выпусках серии «Математическое моделирование и информационные технологии» рукописи принимаются в формате .tex (LaTeX 2ε) с использованием стилевого файла, который находится по адресу <http://transactions.krc.karelia.ru/section.php?id=755>.

### **Обязательные элементы рукописи располагаются в следующем порядке:**

УДК курсивом в левом верхнем углу первой страницы; заглавие статьи на русском языке полужирным шрифтом; инициалы и фамилии авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название и полный почтовый адрес организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов аффилированным организациям; следует отметить звездочкой автора, ответственного за переписку, и указать в аффилиации его электронный адрес); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; указание источников финансирования выполненных исследований на русском языке.

Далее располагаются все вышеуказанные элементы на английском языке.

Текст статьи (статьи экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности; списки литературы на языке оригинала (**Литература**) и на английском языке (**References**); таблицы на русском и английском языках (на отдельных листах); рисунки (на отдельных листах); подписи к рисункам на русском и английском языках (на отдельном листе).

На отдельном листе дополнительные сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; можно указать телефон для контакта редакции с авторами статьи.

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать ее содержание и состоять из 8–10 значащих слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (как правило, не менее пяти). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце точка не ставится.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. На табличный и иллюстративный материал следует ссылаться так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т.д.), фотографии, помещаемые на клейках (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо первым словом описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации.

РИСУНКИ представляются отдельными файлами с расширением TIFF (\*.TIF) или JPG. При первичной подаче материала в редакцию рисунки вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в вышеуказанном формате. Графические материалы могут быть снабжены указанием желательного размера рисунка, пожеланиями и требованиями к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, электронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с картой более мелкого масштаба, где обозначен представленный на основной карте участок.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточную информацию для того, чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

**ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ.** Названия таксонов рода и вида даются курсивом. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желателью с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicus* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

**СОКРАЩЕНИЯ.** Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все прочие сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Располагаются после основного текста статьи отдельным абзацем, в котором авторы выражают признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и организациям, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи.

**ИНФОРМАЦИЯ О КОНФЛИКТЕ ИНТЕРЕСОВ.** При подаче статьи авторы должны раскрыть потенциальные конфликты интересов, которые могут быть восприняты как оказавшие влияние на результаты или выводы, представленные в работе. Если конфликт интересов отсутствует, следует об этом сообщить в отдельной формулировке.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Источники располагаются в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами авторов ставится пробел.

**REFERENCES.** Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические записи источников оформляются согласно стилю Vancouver (см. примеры в ГОСТ Р 7.0.7-2021 и образцы ниже) и располагаются в алфавитном порядке. Заголовки русскоязычных работ приводятся на английском языке; для журналов и сборников, в которых размещены цитируемые работы, указывается параллельное английское наименование (при его наличии) либо русскоязычное наименование приводится в латинской транслитерации (вариант BSI) с переводом на английский язык. Прочие элементы библиографической записи приводятся на английском языке (русскоязычное название издательства транслитерируется). При наличии переводной версии источника в References желателью указать ее. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала.

Для каждого источника обязательно указание DOI при его наличии; если приводится адрес интернет-страницы источника (URL), нужно указать дату обращения к ней.

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 577.125.8

### **СОДЕРЖАНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ОКСИДА АЗОТА В КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ И ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ, ИМЕЮЩИХ РАЗНЫЕ АЛЛЕЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ГЕНОВ ACE (RS4340) И CYP11B2 (RS1799998)**

**Л. В. Топчиева<sup>1\*</sup>, О. В. Балан<sup>1</sup>, В. А. Корнева<sup>2</sup>, И. Е. Малышева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*topchieva@ya.ru

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет (просп. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: артериальная гипертензия; оксид азота; индуцибельная синтаза оксида азота; ангиотензинпревращающий фермент; инсерционно-делеционный полиморфизм гена ACE; альдостеронсинтаза; ген CYP11B2

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0077).

### **L. V. Topchieva<sup>1\*</sup>, O. V. Balan<sup>1</sup>, V. A. Korneva<sup>2</sup>, I. E. Malysheva<sup>1</sup>. THE NITRIC OXIDE LEVEL IN THE BLOOD OF HEALTHY PEOPLE AND PATIENTS WITH ARTERIAL HYPERTENSION CARRYING DIFFERENT ALLELE VARIANTS OF THE ACE (RS4340) AND CYP11B2 (RS1799998) GENES**

<sup>1</sup>Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*topchieva@ya.ru

<sup>2</sup>Petrozavodsk State University (33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

Аннотация на английском языке

Keywords: arterial hypertension; nitric oxide; inducible nitric oxide synthase; angiotensin-converting enzyme; insertion-deletion polymorphism of ACE genes; aldosterone synthase; CYP11B2 gene

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (0218-2019-0077).

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °С) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм <sup>2</sup> Chloroplast cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм <sup>2</sup> Mitochondria cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм <sup>2</sup> Peroxisome cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

а – электронная микрофотография кварца; б – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; в – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Dulldurga:

а – electron microphotograph of the quartz sample; б – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; в – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ССЫЛОК В СПИСКАХ ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

### Литература:

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Красная книга Республики Карелия / Ред. О. Л. Кузнецов. Белгород: Константа, 2020. 448 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds. P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

### References:

Vol'f G. N. Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry. Moscow: Mir Publ.; 1970. P. 348–350. (In Russ.)

Patrushev L. I. Gene expression. Moscow: Nauka Publ.; 2000. 830 p. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. (ed.). Red Data Book of the Republic of Karelia. Belgorod: Konstanta Publ.; 2020. 448 p. (In Russ.)

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. N. Y., San Francisco: Acad. Press; 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

### Литература:

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журнал общей биологии. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Колосова Ю. С., Подболоцкая М. В. Популяционная динамика шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) на Соловецком архипелаге: итоги 10-летнего мониторинга // Труды Русского энтомологического общества. 2010. Т. 81, № 2. С. 135–141.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella* Sabrosky (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia // Entomologica Fennica. 2009. Vol. 20, no. 1. P. 4–8. doi: 10.33338/ef.84453

#### References:

Viktorov G. A. Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera. *Biology Bulletin Reviews*. 1970;31(2):247–255. (In Russ.)

Kolosova Yu. S., Podbolotskaya M. V. Population dynamics of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the Solovetsky archipelago: results of 10-year monitoring. *Trudy Russ. entomol. obshchestva = Proceed. Russ. Entomol. Soc.* 2010;81(2):135–141. (In Russ.)

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 1978;12(4):507–516.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella* Sabrosky (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia. *Entomologica Fennica*. 2009;20(1):4–8. doi: 10.33338/ef.84453

Ссылки на материалы конференций

#### Литература:

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: Тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

#### References:

Mar'inskikh D. M. Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen). *Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya: Tezisy dokl. Vseros. konf. (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) = Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)*. Novosibirsk; 2000. P. 125–128. (In Russ.)

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

#### Литература:

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... д-ра хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

#### References:

Sheftel' B. I. Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow; 1985. 23 p. (In Russ.)

Lozovik P. A. Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk; 2006. 481 p. (In Russ.)

Ссылки на патенты

#### Литература:

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат / Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

#### References:

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optoelectronic apparatus. Russian patent No. 2122745. 1998. Bull. No. 33. (In Russ.)

Ссылки на архивные материалы

#### Литература:

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

#### References:

Grebenshchikov Ya. P. Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924. *OR RNB*. F. 41. St. un. 45. L. 1–10. (In Russ.)

## Ссылки на интернет-ресурсы

### **Литература:**

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.11.2006).

### **References:**

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services. *Elektron. b-ki = Digital library*. 2003;6(1). (In Russ.) URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

**Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences**

**No. 8, 2023**

**“ECOLOGICAL STUDIES” Series**

**TABLE OF CONTENTS**

PREFACE . . . . .	5
ORIGINAL ARTICLES	
S. V. Zagirova, M. N. Miglovets. ECOSYSTEM EXCHANGE OF CO <sub>2</sub> AND CH <sub>4</sub> IN BOREAL PEATLANDS OF THE NORTH-EAST EUROPEAN RUSSIA . . . . .	6
E. V. Linkevich, E. N. Gulyaeva, V. M. Prokopyuk, L. A. Efimova. RESULTS OF DAILY MEASUREMENTS OF CARBON DIOXIDE FLUXES IN AN OLIGOTROPHIC BOG IN SOUTHERN KARELIA . . . . .	13
O. A. Leonova, E. M. Volkova. CARBON RESERVES IN PEAT DEPOSITS OF WATERSHED MIRES IN THE NORTH-EAST OF THE MIDDLE-RUSSIAN UPLAND . . . . .	20
O. L. Kuznetsov, P. A. Ignashov, M. A. Boichuk, A. I. Maksimov. FIELD EXCURSION GUIDE TO EUTROPHIC FENS IN VILLAGE KOLATSELGA AREA (SOUTHERN KARELIA) . . . . .	28
M. A. Smirnova, S. I. Drovkina, N. V. Petrova. COASTAL MIRE VEGETATION OF THE ONEGA POMORIE NATIONAL PARK (WHITE SEA, ARKHANGELSK REGION) . . . . .	41
RESEARCH METHODS	
V. L. Mironov, O. L. Kuznetsov, L. V. Kantserova, S. A. Kutenkov, P. A. Ignashov, E. L. Talbonen, V. S. Vasyuta, A. N. Svirida. COMPARISON OF LINEAR INCREMENTS AND ANNUAL PRODUCTION OF SPHAGNUM MOSSES OBTAINED USING THREE RESEARCH METHODS (KOIVULAMBISUO MIRE SYSTEM, SOUTHERN KARELIA) . . . . .	48
SHORT COMMUNICATIONS	
O. V. Galanina. DIVERSITY OF MIRE TYPES IN THE MIDDLE COURSE OF THE NORTHERN DVINA RIVER (ARKHANGELSK REGION) . . . . .	65
O. G. Grishutkin. GEOMORPHOLOGICAL PATTERNS IN THE DISTRIBUTION OF MIRES IN THE FOREST-STEPPE OF EUROPEAN RUSSIA . . . . .	71
A. I. Maksimov. THE DIVERSITY OF SPHAGNUM MOSSES IN RUSSIA . . . . .	75
E. A. Shishkonakova, T. Yu. Tolpysheva. EPIGEIC LICHENS OF OLIGOTROPHIC BOGS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT . . . . .	81

T. A. Blyakharchuk, M. A. Pupysheva, P. A. Blyakharchuk. LATE GLACIAL AND HOLOCENE HISTORY OF VEGETATION, CLIMATE AND FIRES IN ALTAI MOUNTAN PIEDMONTS ACCORDING TO MULTI PROXY PALAEOECOLOGICAL INVESTIGATION OF MOKHOVOE MIRE . . . . .	85
M. A. Pupysheva, T. A. Blyakharchuk. RECONSTRUCTION OF LOCAL FIRE HISTORY, EXAMPLE OF PEAT DEPOSITS OF THE MOKHOVOE MIRE (NORTHERN ALTAI) . . . . .	90
N. V. Shefer, T. A. Blyakharchuk. RECONSTRUCTION OF THE EVOLUTION OF THE LAKE-MIRE COMPLEX IN THE SUBARCTIC PART OF THE PUR-TAZ INTERFLUVE BY SPORE-POLLEN ANALYSIS OF THE PEAT COLUMN . . . . .	94
L. V. Filimonova. THE HISTORY OF DRYLAND AND WETLAND VEGETATION IN THE RUSSIAN-FINNISH FRIENDSHIP NATURE RESERVE IN THE POST-GLACIAL PERIOD . . . . .	99
DATES AND ANNIVERSARIES	
N. V. Il'mast, E. N. Rasputina. Ol'ga P. Sterligova (on the 80th anniversary) . . . . .	104
REVIEWS AND BIBLIOGRAPHY . . . . .	109
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS . . . . .	111

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра  
Российской академии наук**  
№ 8, 2023

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Печатается по решению Ученого совета  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 8 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций  
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева  
Компьютерная верстка Л. Э. Бюркланд

Подписано в печать 21.12.2023. Дата выхода 29.12.2023. Формат 60x84<sup>1/8</sup>.  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 11,8. Усл. печ. л. 13,8.  
Тираж 100 экз. Заказ 797. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»  
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН  
185030, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50