

УДК 504.064.2

**М. Г. Напреенко, Т. В. Напреенко-Дорохова
В. И. Карелина, Е. Д. Пеленс**

**МОНИТОРИНГ ВИДОВОГО СОСТАВА
И ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СФАГНОВЫХ МХОВ НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ «РОСЯНКА»
(КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

73

Поступила в редакцию 23.11.2021 г.

Рецензия от 19.12.2021 г.

Обнаружено восемь видов сфагновых мхов, произрастающих на разных участках нарушенного торфяника Виттгирренского (территория карбонового полигона «Росьянка»). Приводятся данные о распределении сфагновых мхов по трем типам местообитаний, главные из которых – локальные гидрофильные биотопы: мелиоративные каналы и обводненные понижения. Современные экологические условия на большей части торфяника неблагоприятны для развития сфагновых мхов, но могут быть изменены в ходе проекта экологической реабилитации (вторичного заболачивания) торфяника. В этом случае сфагны будут важнейшей индикаторной группой для экологического мониторинга. Гидрофильные биотопы со сфагновыми сообществами перспективны для исследований потоков климатически активных газов и как рефугиумы в условиях осушения торфяника.

The article provides data on the present-day species composition of Sphagna in the Wittgirrensky peatland (the territory of the Carbon Polygon "Rossyanka", Slavsk District, Kaliningrad Region). The authors found 8 species of Sphagnum mostly growing in hydrophilic habitats at the bottom of drainage ditches and flooded depressions on the outskirts of the peatland, while the major part of the peatland shows unfavorable environmental conditions for the development of Sphagnum. The situation may well be changed via implementation of the rewetting project. In this case, the species of Sphagna become a significant bioindicator for environmental monitoring in the whole ecosystem. The hydrophilic habitats might be considered as shelters (refugia) for Sphagna as well as important study objects for investigation of Green House Gas emission/sequestration within the Carbon Polygon Programme.

Ключевые слова: сфагновые мхи, мониторинг, климатические проекты, карбоновый полигон, торфяник Виттгирренский, Калининградская область

Keywords: Sphagna, environmental monitoring, climate change projects, Carbon Polygon, Wittgirrensky peatland, the Kaliningrad Region

Введение

Программа развития карбоновых полигонов. С 2021 г. в рамках реализации национального плана мероприятий по адаптации к изменению климата в Российской Федерации запущена программа по созданию карбоновых полигонов. В качестве карбоновых полигонов определены территории с природными и антропогенно измененными экосистемами, наиболее хорошо подходящими для мониторинга потоков климатических активных газов, а также для отработки технологий секвестрации углерода [1]. Программа рассчитана на 2021 – 2025 гг.

74

Одним из первых в 2021 г. был создан карбоновый полигон «Росьянка» в Калининградской области, находящийся в оперативном подчинении БФУ им. И. Канта. На его территории осуществляется как научная, так и образовательная деятельность с привлечением различных исследовательских организаций [2]. Данный полигон расположен на двух площадках: морской и сухопутной. Сухопутная площадка карбонового полигона «Росьянка» находится на торфянике Виттигрренском (рис. 1), ранее осушенном и нарушенном фрезерной торфодобычей [3].



Рис. 1. Положение торфяника Виттигрренского на территории Калининградской области

Важной прикладной задачей полигона «Росьянка» определена апробация секвестрационной технологии, заключающейся в экологической реабилитации болотной экосистемы из заброшенного торфяника. Осуществление этой задачи возможно путем вторичного обводнения торфяника, что должно привести к восстановлению экологических функций болотной экосистемы, в частности к повторному запуску процесса торфообразования и связыванию в торфе атмосферного углерода [4].

Для отслеживания экологических изменений при восстановлении нарушенных экосистем на торфянике в рамках деятельности карбонового полигона очень важно достоверно фиксировать динамику распространения индикаторных групп живых организмов, показывающих изменение состояния среды в экосистемах в целом.



Индикаторные свойства сфагнов и мониторинг восстановления экосистем. Одна из ключевых индикаторных групп организмов на торфяно-болотных местообитаниях — это сфагновые мхи (*Sphagnidae*, *Bryophyta*), представляющие собой отдельную ветвь эволюции высших растений [5]. Уникальная гистологическая структура сфагна — чередование крупных мертвых водоносных и небольших живых фотосинтезирующих клеток — позволяет растению впитывать всем телом огромное количество воды. При этом растение ежегодно нарастает верхней частью, а снизу отмирает, не разлагаясь окончательно и образуя торф [5; 6]. В умеренных широтах представители рода *Sphagnum* L. обычно выступают в качестве доминантов и эдификаторов торфяных болот, являясь основным компонентом торфообразования и накопления углерода и играя, таким образом, важную роль в регуляции потоков «парниковых газов» [7].

В последнее время в связи с проблемой изменения климата во многих странах проводятся исследования по накоплению углерода в торфяных отложениях болотных массивов, что в первую очередь связано со скоростью роста и разложения сфагновых мхов [8].

Обитая преимущественно на болотах, сфагновые мхи очень чувствительны к изменению уровня увлажнения и минерального питания торфяного субстрата. Тем не менее разные виды сфагнов отличаются по экологическим предпочтениям, выступая в качестве индикаторов среды обитания [7; 8]. Все это позволяет рассматривать сфагновые мхи в качестве модельных объектов при мониторинге процессов экологической реабилитации болотных экосистем, осуществляемых посредством изменения гидрологического режима осушенных торфяников.

Смена условий увлажнения вызывает не только смену видового состава и обилия сфагновых мхов на восстанавливаемом торфянике. Происходит изменение их ценотической роли — внедрение данных видов в состав других растительных сообществ, а также формирование новых сообществ благодаря эдификаторной роли сфагнов.

Таким образом, развитие на карбоновом полигоне «Росянка» прикладных проектов по реабилитации торфяника предполагает использование сфагновых мхов в качестве биоиндикаторов состояния формирующихся болотных сообществ. Такие исследования должны стать частью общего экологического мониторинга на карбоновом полигоне.

Цель настоящей работы — оценка видового состава и ценотической роли сфагновых мхов в центральной части торфяника Виттгирренского до начала его обводнения. Работа позволит внести вклад в изучение экосистемы торфяника Виттгирренского и использовать эти данные в дальнейших исследованиях на карбоновом полигоне.

Объект исследования

Виттгирренский торфяник расположен в центральной части Калининградской области в Славском районе (рис. 1), в 18 км юго-восточнее пос. Большаково, в 6 км северо-восточнее пос. Высокое, в пределах Северо-Восточной пологохолмистой моренной равнины [9]. Площадь торфяника в настоящее время составляет 112 га.

Ранее на торфянике Виттгирренском находилось торфопредприятие, которое осуществляло добычу торфа фрезерным способом на предварительно осушенном торфянике. В ходе торфоразработки первичная растительность верхового болота на основной его части была полностью уничтожена. По завершении торфодобычи в конце 1990-х гг. территория торфяника была заброшена, в таком состоянии он находится вплоть до настоящего времени. За прошедшие 20 лет на осушенных картах торфоразработки развилась низкорослая березовая поросль с низкими кочками из вереска и пушицы, а вдоль крупных канав и на сильно дренированных участках по краям торфоразработок возник более высокий и крупнотравяной березовый древостой.

Материал и методы исследования

Полевые исследования проводились с сентября по ноябрь 2021 г. в центральной части торфяника Виттгирренского, на зарастающих картах торфоразработок, где производилась добыча торфа, но сохранился слой верхового торфа. Был исследован участок, расположенный к западу от центральной насыпи (рис. 2).

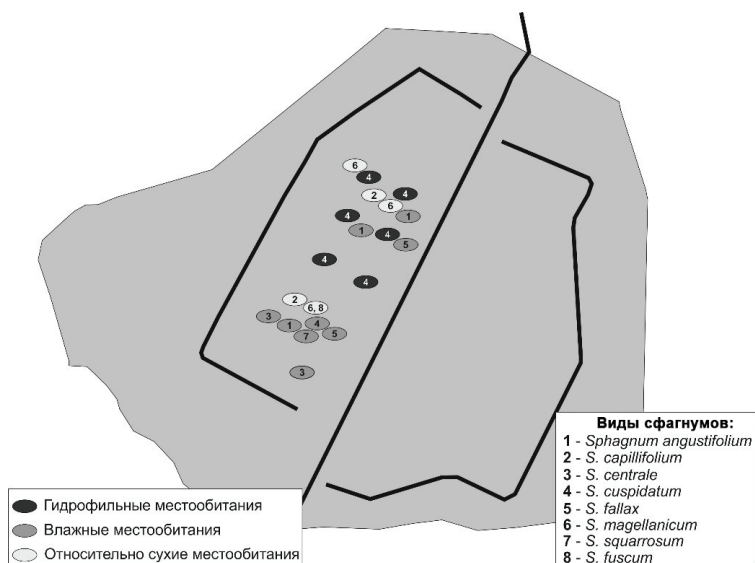


Рис. 2. Схема расположения находок сфагновых мхов на торфянике Виттгирренском и их приуроченность к определенным местообитаниям

Поиск мест произрастания сфагновых мхов выполнялся маршрутным методом. Было собрано 36 образцов сфагнов. Сбор производился в герметичные пластмассовые контейнеры. Место отбора образцов фиксировалось с использованием GPS/ГЛОНАСС-навигатора Garmin. В дальнейшем эти точки накладывались на карту растительности торфяника Виттгирренского [10] с целью выявить приуроченность к современным биотопам на карбоновом полигоне.



В месте сбора проводилось краткое описание растительности, отмечалось обилие (в отдельных случаях – проективное покрытие) вида, производилось фотографирование сфагнов и всего участка.

Предварительное определение сфагнов осуществлялось в полевых условиях, для рассмотрения структуры растений и их частей использовалась лупа геологическая с увеличением 20×.

Для определения сфагновых мхов в лабораторных условиях применялись общепринятые методы [6; 11]:

– приготовление под стереомикроскопом (Альтами SM0745-T) препаратов веточных и стеблевых листьев – листья аккуратно отделялись от веточек и стебля, а затем прокрашивались раствором метиленового синего с целью увидеть поры и лучше рассмотреть форму листьев;

– для некоторых видов – приготовление под стереомикроскопом (бинокляром) срезов веточных листьев (для рассмотрения формы хлорофиллоносных клеток) и препаратов гиалодермиса (с целью убедиться в наличии/отсутствии пор и волокон в нем);

– просмотр препаратов под микроскопом «Микромед-3» и «Olympus CX-33» при увеличении 400× и 600×.

При определении сфагновых мхов использовался ряд определителей [6; 11 – 13].

Латинские названия видов даны в соответствии со списком видов Восточной Европы и Северной Азии [14].

При рассмотрении отношения видов к экологическим факторам и приуроченности к местообитаниям на болотах Калининградской области использовалась работа М. Г. Напреенко [15]. При характеристике видов также применялась шкала разделения их на группы по степени «верности» экотопу верховых болот [16]: I – виды, заходящие на болотные местообитания редко и случайно; II – индифферентные виды; III – виды, встречающиеся в различных местообитаниях, но оптимально развивающиеся на верховых болотах; IV – виды, предпочитающие верховые болота, но иногда растущие и в других местообитаниях; V – виды, встреченные только на верховых болотах. Растения трех последних групп условно определены как «верные» виды верховых болот.

Результаты и обсуждение

Видовой состав сфагновых мхов карбонового полигона «Росянка». В ходе исследования было установлено произрастание 8 видов сфагновых мхов в центральной части торфяника Виттгирренского.

1. *Sphagnum angustifolium* (сфагнум узколистный). Отмечен на всем исследуемом участке в разных, но относительно влажных местах: 1) в нижней части канав немного выше уровня воды; 2) на обводненных участках (топях) на юго-западной окраине торфяника; 3) на стенке канав в верхней части.

2. *Sphagnum capillifolium* (сфагнум дубравный). Обнаружен в виде вкраплений в основания небольших вересковых кочек в центре торфяника.

3. *Sphagnum centrale* (сфагнум центральный). Был найден в обводненном сообществе с тростником и пушицей в юго-западной части торфяника.



4. *Sphagnum cuspidatum* (сфагнум остроконечный). Встречен в большинстве канав погруженным в воду в их нижней части и в вымочках на топяных участках на юго-западной окраине торфяника.

5. *Sphagnum fallax* (сфагнум обманчивый). Отмечен на различных увлажненных участках в центральной части торфяника: в топяных сообществах, в сообществах с тростником, а также в канавах — в их основании, немного выше уровня воды, возвышаясь над сфагном остроконечным.

6. *Sphagnum fuscum* (сфагнум бурый). Имеется лишь одна находка, сделанная в центре торфяника в основании кочки в березовой поросли.

7. *Sphagnum magellanicum* (сфагнум магелланский). Был найден в основании вересковых кочек в березовой поросли в центре торфяника. Как правило, произрастал в смешанных дерновинках со сфагнумом дубравным.

8. *Sphagnum squarrosum* (сфагнум чешуйчатый). Встречен лишь один раз на обводненном участке в юго-западной части торфяника, где произрастает в довольно большом количестве.

Найденные 8 видов составляют только четверть (24 %) от общего числа сфагновых мхов (34 видов), произрастающих в Калининградской области [17] и примерно такую же долю (28 %) от числа сфагновых мхов, отмеченных на верховых болотах региона (29 видов) [15].

Важно отметить, что большинство из найденных видов (6 из 8) принадлежат к так называемым верным видам верховых болот, согласно шкале М. С. Боч и В. А. Смагина [16, раздел «Материал и методика»], то есть преимущественно обитающим в данных экосистемах. Вероятнее всего, произрастающие ныне на торфянике виды сфагнумов ранее были более широко распространены на существовавшем здесь верховом болоте, а после уничтожения растительности во время торфодобычи смогли сохраниться в канавах и на краевых участках, подвергавшихся осушению, но не срезанию растительного покрова. Два случайных вида — *S. centrale* и *S. squarrosum* — по-видимому, проникли на торфяник из облесенной зоны вокруг бывшего болота.

Столь небольшое количество видов, а также характер их распределения по территории торфяника являются показателем не только крайне неблагоприятных гидрологических условий современного торфяника Виттгирренского, но и признаком отсутствия типичных биотопов верхового болота. Восстановление болотных местообитаний в ходе реализации проекта вторичного заболачивания должно существенно увеличить видовой состав сфагновых мхов на данной территории.

Эколого-ценотические особенности сфагнов как показатель потенциально возможных биотопов при развитии проекта вторичного заболачивания. В таблице 1 приводятся сравнительные данные о приуроченности найденных видов сфагновых мхов к растительным сообществам верховых болот Калининградской области [15] и к биотопам нарушенного торфяника Виттгирренского [10].

Анализ таблицы 1 позволяет сделать выводы о некоторых экологических предпочтениях и ценотической роли сфагнумов, найденных на торфянике Виттгирренском в современных условиях, и о потенциально возможных болотных местообитаниях, которые могут появиться здесь в результате развития проекта вторичного заболачивания [4].

**Приуроченность обнаруженных видов сфагновых мхов к местобитаниям
на крупных ненарушенных верховых болотах
Калининградской области [15] и на торфянике Виттирренском (карбовом полигоне «Госянка») [10]**

Вид	Балл «верности» верховым болотам [15; 16]	Трофность местобитаний [15]*	Местообитания на крупных ненарушенных верховых болотах Калининградской области [15]	Местообитания на торфянике Виттирренском [10]
<i>S. angustifolium</i>	IV	Олиготрофный/ мезотрофный	Зыбучие ковры (сплавнины)	Травяные топи с березовой порослью
		Олиготрофный/ мезотрофный	Обводненные мочажины с осокой	Травяные топи с ситником
		Олиготрофный	Сосняки сфагновые в центре верховых болот	Канавы мелиоративные (нижняя часть, откосы)
		Олиготрофный	Сосновые редколесья краевого склона верховых болот	
<i>S. capillifolium</i>	III	Олиготрофный	Сосняки высокоствольные болотных окраев	Березовая поросль с вереском
		Олиготрофный/ мезотрофный	Сухие высокоствольные сосняки болотных окраев	
		Олиготрофный	Сосняки сфагновые в центре верховых болот Тонкоствольная березовая поросль на торфя- ных пожарах	
<i>S. centrale</i>	I	Олиготрофный	Березняки болотных окраев	Березовая поросль обводненная с трусником и пушицей
		Олиготрофный/ мезотрофный	Сухие болотные окрайки	

Вид	Балл «верности» верховым болотам [15; 16]	Трофность местообитаний [15]*	Местообитания на крупных ненарушенных верховых болотах Калининградской области [15]	Местообитания на торфянике Виттирренском [10]
<i>S. cuspidatum</i>	V	Олиготрофный	Обводненные сфагновые ковры по краям озерков	Травяные топи с березовой порослью Канавы мелиоративные (нижняя часть)
		Олиготрофный/мезотрофный	Мочажины верховых болот	
		Олиготрофный	Обводненные мочажины с осокой	
<i>S. fallax</i>	IV	Олиготрофный	Сфагново-пузырчатковые сообщества по краям болотных озерков	Травяные топи с березовой порослью Березовая поросль обводненная с тростником и пушицей
		Олиготрофный	Мочажины верховых болот, толкие	Канавы мелиоративные (нижняя часть)
		Олиготрофный	Сосняки высокоствольные болотных окраек	
		Олиготрофный	Березяки болотных окраек	
		Мезотрофный/евтрофный	Тростниковые сообщества обводненной краевой зоны болот	
		Олиготрофный	Сухие гряды верховых болот	Березовая поросль с вереском
<i>S. fuscum</i>	V	Олиготрофный	Сосновые редколесья краевого склона верховых болот	
		Олиготрофный	Кочки верховых болот	Березовая поросль с вереском
<i>S. magellanicum</i>	IV	Олиготрофный	Мочажины верховых болот	
		Олиготрофный	Сосновые редколесья краевого склона верховых болот	
		Олиготрофный	Тонкоствольная березовая поросль на торфяных пожарах	
		Мезотрофный/евтрофный	Тростниковые сообщества обводненной краевой зоны болот	Березовая поросль обводненная с тростником и пушицей



Sphagnum angustifolium (сфагнум узколистный). Мезоолиготрофный вид с достаточно широкой экологической амплитудой, произрастающий на болотах как в обводненных условиях (мочажины, сплавины), так и в менее увлажненных местообитаниях (болотные сосняки). На торфянике Виттгирренском отмечен только на обводненных участках — травяных топях и канавах. В случае обводнения торфяника возможно его проникновение на участки с березовой порослью, где он будет распространяться по влажным межкочиям и внедряться в основания вересковых кочек и таким образом увеличивать свое распространение. Весьма вероятно также его появление на участках с сосной. На влажных участках, в случае усиления их обводненности, можно ожидать смену данного вида более гидрофильным сфагнумом остроконечным.

Sphagnum capillifolium (сфагнум дубравный). Олигомезотрофный, лесо-болотный вид. В Калининградской области на верховых болотах встречается в основном по их окрайкам в сосняках. В виде примеси к другим видам сфагнов был отмечен на торфяных пожарищах болот, что по условиям близко к сухой березовой поросли карбонового полигона, где он и был найден, так же в небольшом количестве. В случае обводнения стоит ожидать постепенное исчезновение данного вида из центральной части торфяника и сохранение на периферии, в тех местах, где будут развиваться сосняки и березняки сфагновые.

Sphagnum centrale (сфагнум центральный). Мезотрофный, лесо-болотный вид. В регионе не типичен для верховых болот, но характерен для низинных. На верховых болотах области может встречаться только в краевой части, измененной осушением и минерализацией субстрата. На торфянике Виттгирренском встречен только на топяном участке с тростником, что, по-видимому, связано с большей минерализацией. Занимает на данном участке повышенные, обычно не заливаемые места и в случае обводнения, вероятно, выпадет из состава сообществ в центральной части торфяника. Возможно, будет сохраняться в небольшом количестве в краевых участках с березой.

Sphagnum cuspidatum (сфагнум остроконечный). В регионе — олиготрофный, исключительно болотный вид, связанный с сильно обводненными биотопами: крупными мочажинами, вторичными озерами, топями, где представлен преимущественно погруженными формами. Все эти местообитания в настоящее время отсутствуют на торфянике Виттгирренском и вряд ли появятся в краткосрочной перспективе после начала обводнения торфяника. В связи с этим широкое распространение вида на основную территорию карбонового полигона маловероятно. Но возможно более массовое развитие этого вида на топяных участках торфяника.

В то же время сфагнум остроконечный в большом количестве произрастает в мелиоративных канавах в центральной части торфяника. Этот биотоп может рассматриваться в качестве надежного долговременного убежища (рефугиума) для данного вида. При повышении уровня болотных вод прогнозируется дальнейший рост сфагнума остроконечного в канавах с образованием органической массы. Таким образом, нынешние сообщества данного вида в дренажных канавах могут рассматриваться и в качестве приоритетных с точки зрения изучения потоков углерода.



Sphagnum fallax (сфагнум обманчивый). Олигомезотрофный, лесо-болотный вид, предпочитающий в регионе биотопы верховых болот, где встречается в различных по экологии местообитаниях: от сильно обводненных олиготрофных мочажин до мезоевтрофных тростниковых окраек. На верховых болотах Калининградской области сфагнум обманчивый часто отмечался на нарушенных местообитаниях, некоторые из которых по структуре близки участкам карбонового полигона, в частности: березняки окраек болот – березовая поросль с пушицей, тростниковая краевая зона болот – травяные топи с тростником, ковры по краям болотных озерков – каналы с водой.

Сфагнум обманчивый редко образует самостоятельные крупные дерновины и обычно примешивается к другим видам сфагнов. Похожим образом сфагнум обманчивый произрастает и на торфянике Виттгирренском. В связи с этим данный вид отмечен во многих местах центральной части торфяника, но в небольшом количестве.

Учитывая приуроченность сфагнума обманчивого к увлажненным местам, можно прогнозировать увеличение его распространения в случае начала обводнения торфяника, а также более массовое развитие этого вида в мелиоративных канавах вместе со сфагнумом остроконечным.

Sphagnum fuscum (сфагнум бурый). Олиготрофный, исключительно болотный вид. В регионе произрастает в основном в центральных частях верховых болот, на относительно сухих повышениях: крупных кочках и грядах. На торфянике встречен также на сухом участке в центре зарастающей торфяной карты с березой и вереском.

В случае реализации проекта обводнения распространение данного вида, вероятно, будет происходить медленно, по мере формирования сфагновых кочек другими видами.

Sphagnum magellanicum (сфагнум магелланский). Мезоолиготрофный болотный вид. Распространен преимущественно на верховых болотах, где является одним из основных формирователей моховых кочек с кустарничками. Из-за отсутствия данных микробиотопов на торфянике в настоящий момент вид не имеет широкого распространения, но может существенно увеличить его в будущем при обводнении торфяника.

По-видимому, подобный процесс происходит при восстановлении растительности верхового болота после пожаров, где сфагнум магелланский отмечался в качестве основного вида мохового яруса в сообществе березовой поросли на сгоревшем участке болота [15]. В березовой поросли на торфянике Виттгирренском развитие данного вида в качестве доминанта, вероятно, сдерживается фактором недостаточного увлажнения поверхностного слоя торфа. Именно поэтому мониторинг распространения сфагнума магелланского перспективен для индикации увлажненности торфяной залежи карбонового полигона.

Sphagnum squarrosum (сфагнум чешуйчатый). Мезоевтрофный, лесо-болотный вид. В регионе на верховых болотах, как правило, не встречается, но может обитать в облесенной зоне по периметру болота с богатым минеральным питанием. Похожие условия, очевидно, создаются в топяных сообществах на юго-западном участке карбонового полигона, где из-за маломощного слоя торфа обеспечивается более богатое минеральное питание и сфагнум чешуйчатый рассеянно встречается вместе с рядом других видов сфагновых мхов.



В случае обводнения торфяника данный вид не будет выходить за пределы топяного участка, а со временем, вероятно, уступит место более гидрофильным видам. Его сохранение тем не менее возможно в окраинной лесо-болотной зоне вокруг торфяника.

Типы местообитаний сфагновых мхов и их значимость для климатического мониторинга на карбоновом полигоне «Росянка». По результатам исследования видового состава сфагновых мхов и их ценотической приуроченности все местообитания сфагнов в центральной части торфяника Виттгирренского могут быть разделены на три типа: а) гидрофильные местообитания с постоянно присутствующей водой, б) влажные местообитания с близким расположением грунтовых вод (без стоячей воды или присутствующей там недолгое время); в) относительно сухие местообитания. Распределение сфагновых мхов по этим типам местообитаний и по конкретным местообитаниям показано в таблице 2.

Таблица 2

Приуроченность сфагновых мхов к различным частям торфяника Виттгирренского

Тип местообитания	Местообитание	Вид сфагновых мхов
Гидрофильные местообитания	Канавы, в воде	<i>S. cuspidatum</i>
	Канавы, в основании чуть выше уровня воды	<i>S. angustifolium</i> <i>S. fallax</i>
	Вымочки с водой (иногда пересыхающие на короткое время)	<i>S. angustifolium</i> <i>S. cuspidatum</i> <i>S. fallax</i>
Влажные местообитания (топяные участки)	Влажные понижения без воды (либо заливаемые на короткое время)	<i>S. centrale</i> <i>S. quarrosum</i>
	Периодически затапливаемые понижения	<i>S. angustifolium</i> <i>S. fallax</i>
Относительно сухие местообитания	На стенке канав, в их верхней части	<i>S. angustifolium</i> <i>S. magellanicum</i> <i>S. capillifolium</i>
	В основании вересковых кочек	<i>S. fuscum</i> <i>S. magellanicum</i>

К гидрофильным местообитаниям были отнесены биотопы с постоянно присутствующей стоячей водой, лишь изредка может происходить пересыхание на непродолжительное время. Это дно осушительных канав и отдельные вымочки на топяных участках в юго-западной части торфяника. Во время исследования было установлено, что большая часть сфагнумов встречается на торфянике Виттгирренском именно в канавах. Здесь преобладают сфагнумы: остроконечный (*Sphagnum cuspidatum*), обманчивый (*S. fallax*) и узколиственный (*S. angustifolium*). Именно эти виды образуют непрерывные ковры, заполняющие пространство канав, с большой биомассой, далее преобразующейся в торф — то есть осуществляющей процесс секвестрации атмосферного углерода (в виде CO₂). Это позволяет рассматривать данный биотоп как особый класс рас-



тительного покрова нарушенных торфяников и организовывать изучение потоков парниковых газов в данных сообществах, а также сопряженные исследования биологической продуктивности и гидрохимических показателей, что даст возможность проводить моделирование процесса потока углерода в экосистеме торфяника.

Как уже было отмечено, биотоп мелиоративных канав может рассматриваться в качестве долговременного рефугиума для гидрофильных видов сфагнумов, которые смогут распространяться на остальную территорию торфяника при формировании там подходящих местообитаний после обводнения ныне осушенного торфяника Виттгирренского.

К влажным местообитаниям, периодически затапливаемым, отнесены пониженные участки, расположенные в юго-западной части торфяника. Эта территория расположена ниже основной части торфяника и находится ближе к грунтовым водам подстилающих пород, что обеспечивает дополнительное минеральное питание. Здесь образуется сложная мозаичность мохового покрова со сложным чередованием более гидрофильных видов в понижениях (*S. fallax*, *S. angustifolium*) и менее гидрофильных на повышениях (*S. squarrosum*, *S. centrale*).

Ярус сфагновых мхов на данной территории характеризуется не только видовым разнообразием, но и значительной степенью проективного покрытия, а следовательно, и накоплением органической массы. В связи с этим данный участок тоже должен быть отнесен к перспективным для изучения потоков и потенциальной секвестрации климатически активных газов, но с учетом пространственной и экологической неоднородности.

Так же, как и предыдущий, данный тип местообитаний должен рассматриваться в качестве рефугиума для всех обитающих здесь видов сфагнумов с возможностью распространения на остальную территорию торфяника Виттгирренского при восстановлении его гидрологического режима.

К сухим относят местообитания центральной части торфяника Виттгирренского, на месте торфяных полей, где добывался торф, а также на верхних кромках канав. Так как эти места сильно осушены, сфагнумы здесь почти не произрастают и встречаются только отдельными вкраплениями в основании кочек с пушицей вместе с другими мхами. Здесь обитают только виды, характерные для кочек верховых болот, — сфагнумы дубравный (*S. capillifolium*), магелланский (*S. magellanicum*) и бурый (*S. fuscum*).

Ввиду незначительного обилия данные участки не могут считаться надежными рефугиумами найденных там видов сфагнумов, но важны с точки зрения изменения уровня эмиссии при реализации проекта обводнения торфяника.

Находки разных видов сфагнумов на карбоновом полигоне «Росьянка» (торфяник Виттгирренский) и их приуроченность к определенным местообитаниям показаны на рисунке 2.

Таким образом, в настоящее время видовой состав сфагновых мхов торфяника Виттгирренского очень незначителен, а распространение приурочено к отдельным участкам. Основным местообитанием сфагнумов на торфянике являются мелиоративные каналы и увлажненные топяные участки в юго-западной части, которые расположены ниже ос-



новой территории торфяника примерно на 0,5–1 м. Кочечные виды, которые доминируют на верховых болотах, на данной территории представлены только *S. magellanicum*, *S. fuscum* и *S. capillifolium*, встречающимися в крайне незначительных количествах в виде отдельных вкраплений в общий растительный покров. Это связано с сильным осушением торфяника.

В целом современные экологические условия неблагоприятны для развития таких групп организмов, как сфагновые мхи. Для возобновления их нормального роста необходимо поднятие уровня болотных вод не менее чем на 0,5 м.

Выводы

85

1. В настоящее время на торфянике Виттгирренском (сухопутной площадке карбонового полигона) обнаружено 8 видов сфагновых мхов, что составляет менее 30 % потенциально возможного числа видов на нарушенном верховом болоте.

2. Современные экологические условия на большей части торфяника неблагоприятны для развития сфагнумов, за исключением локальных гидрофильных местообитаний.

3. Сфагновые мхи на торфянике распределяются по трем типам местообитаний, главные из которых – гидрофильные биотопы: мелиоративные каналы и обводненные понижения на юго-западной окраине торфяника.

4. Гидрофильные биотопы торфяника должны рассматриваться в качестве убежищ (рефугиумов) сфагнумов, из которых будет происходить их расселение в ходе проектов по восстановлению экосистемы болота на карбоновом полигоне «Росьянка».

5. В условиях карбонового полигона сфагновые мхи (динамика видового состава, распространения, обилия, участия в составе растительных сообществ) – важная индикаторная группа организмов, необходимая для экологического мониторинга за состоянием всей экосистемы торфяника Виттгирренского.

6. Гидрофильные рефугиумы сфагнов торфяника Виттгирренского перспективны для исследования потоков углерода на карбоновом полигоне «Росьянка» в качестве отдельного типа растительного покрова.

Рабочая группа карбонового полигона «Росьянка» планирует продолжить исследования сфагновых мхов торфяника Виттгирренского с целью получить более полную информацию об их видовом составе и закономерностях распределения по биотопам.

Публикация подготовлена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках пилотного проекта по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса (Приказ Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74).

Список литературы

1. Карбоновые полигоны // Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/> (дата обращения: 11.11.2021).



2. Карбоновый полигон «Росянка». Научно-образовательный проект по изучению климатически активных парниковых газов. URL: <http://rosyanka.kantiana.ru/> (дата обращения: 11.11.2021).
3. Карбоновая ферма на торфянике Виттирренском // Карбоновый полигон «Росянка». URL: <http://rosyanka.kantiana.ru/farm> (дата обращения: 11.11.2021).
4. Напреенко М. Г., Самарханова А. К., Анциферова О. А., Напреенко-Дорохова Т. В. Экологическая реабилитация водно-болотных экосистем в рамках функционирования карбонового полигона в Калининградской области // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : тез. докл. междунар. науч. конф. Севастополь, 2021. С. 641–642. <https://doi.org/10.21072/978-5-6044865-5-9>.
5. Glime J. M. Bryophyte Ecology. Vol. 1. Physiological Ecology. Ch. 2–5. URL: <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/> (дата обращения: 11.11.2021).
6. Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л., 1968.
7. Tanneberger F., Wichtmann W. Carbon credits from peatland rewetting: climate, biodiversity, land use. Stuttgart, 2011.
8. Glime J. M. Bryophyte Ecology. Vol. 1. Physiological Ecology. Ch. 8–2. URL: <http://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/> (дата обращения: 11.11.2021).
9. География Янтарного края России / под ред. В. В. Орлёнка. Калининград, 2008.
10. Napreenko M. G., Antsiferova O. A., Aldushin A. V. et al. New approaches to sustainable management of wetland and forest ecosystems as a response to changing socio-economic development contexts // W. L. Filho, E. V. Krasnov, D. V. Gaeva (eds.). Innovations and Traditions for Sustainable Development. Springer, 2021. P. 395–416. doi: 10.1007/978-3-030-78825-4.
11. Daniels R. E., Eddy A. Handbook of European Sphagna. Huntington, 1985.
12. Носкова М. Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. Тула, 2016.
13. Dierßen K. Bestimmungsschlüssel der Torfmoose in Norddeutschland // Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg. Kiel, 1996. Heft 50.
14. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
15. Напреенко М. Г. Флора и растительность верховых болот Калининградской области : дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2002.
16. Боч М. С., Смагин В. А. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. СПб., 1993.
17. Напреенко М. Г., Разгуляева Л. В. Сфагновые мхи Калининградской области // Arctoa. 1999. Vol. 8. С. 27–34.

Об авторах

Максим Геннадьевич Напреенко — канд. биол. наук, науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта; науч. сотр., Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: maxnapr@gmail.com



Татьяна Владимировна Напреенко-Дорохова – канд. геогр. наук, науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта; науч. сотр., Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Россия.

E-mail: tnapdor@gmail.com

Влада Игоревна Карелина – студ., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: Satyukova2002@mail.ru

Ева Дмитриевна Пеленс – учащаяся, Гимназия «Вектор» г. Зеленоградска, Россия.

E-mail: evapelens@mail.ru

The authors

Dr Maxim G. Napreenko, Immanuel Kant Baltic Federal University; Shirshov Institute of Oceanology, Russia.

E-mail: maxnapr@gmail.com

Dr Tatiana V. Napreenko-Dorokhova, Immanuel Kant Baltic Federal University, Shirshov Institute of Oceanology, Russia.

E-mail: tnapdor@gmail.com

Vlada I. Karelina, Student, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: Satyukova2002@mail.ru

Eva D. Pelens, Student, MAOU "Gymnasium "Vector" Zelenogradsk", Russia.

E-mail: evapelens@mail.ru