

УДК 631.445.12(470.11)

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ *Sphagnum fuscum* ЗАБОЛОЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

С.Б. Селянина¹, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [AAG-4781-2019](https://orcid.org/0000-0003-0829-7518),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-7518>

В.Г. Татаринцева¹, аспирант, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAH-8581-2019](https://orcid.org/0000-0001-6499-9202),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6499-9202>

И.Н. Зубов¹, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [G-5351-2011](https://orcid.org/0000-0003-3037-2449),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-2449>

Н.А. Кутакова², канд. техн. наук, доц.; Researcher ID: [T-1150-2019](https://orcid.org/0000-0001-8195-2115),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-2115>

Т.И. Пономарева¹, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAG-4731-2019](https://orcid.org/0000-0001-7981-8072),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-8072>

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: gumin@fciarctic.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.kutakova@narfu.ru

Среди заболоченных территорий материковой части Севера России преобладают выпуклые сфагновые олиготрофные болота. Изучение реакции мохового покрова на рост техногенной нагрузки позволяет выявить смещение экологического равновесия в болотных экосистемах. Цель исследования состоит в выявлении изменений пигментного аппарата мохового покрова при осушении, дорожном строительстве и добыче полезных ископаемых на примере заболоченных территорий Архангельской области. В качестве основного объекта для изучения пигментного состава фотосинтезирующего аппарата использовали *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. При сравнении пигментов мха *S. fuscum* на ненарушенном Иласском болотном массиве и мелиорированном болотном массиве «Овечь» установлено изменение компонентного состава пигментов при осушении болот: содержание каротиноидов снижается, хлорофилла *a* – увеличивается. Влияние транспортной нагрузки исследовали на открытом заболоченном участке в Мезенском р-не, где отсутствует древесно-кустарниковый ярус. В непосредственной близости от дороги (34 м) наблюдается смена доминирующих видов в мохово-лишайниковом ярусе болота – проективное покрытие сфагновых мхов снижается до уровня менее 10 %, в доминанты выходят бриевые мхи. По мере удаленности от грунтовых автомагистралей содержание всех анализируемых пигментов в образцах мха увеличивается, особенно суммы хлорофиллов (>5 раз при удалении на 100 м и более). В качестве примера техногенного воздействия добывающего предприятия использованы терриконы отработанных пород Ломоносовского ГОК ПАО «Севералмаз», с которых происходит эоловый перенос пылевых частиц породы, содержащей сапонит. Вблизи источника загрязнения содержание суммы пигментов мха заметно ниже, чем на участке, защищенном лесополосой. В составе пигментного комплекса обнаружено снижение доли хлорофиллов *a* и *b* при некотором увеличении содержания каротиноидов. Изменения обусловлены переносом сапонита – глинистого минерала, активно поглощающего воду. Повышенное увлажнение обеспечивает благоприятные условия вегетации мхов, что смягчает негативное влияние загрязнителей на пигментный аппарат растений. Установлено, что изменение состава пигментов отражает адаптацию растений в экосистемах к неблагоприятным воздействиям и антропогенному прессингу.

Для цитирования: Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Зубов И.Н., Кутакова Н.А., Пономарева Т.И. Пигментный состав *Sphagnum fuscum* заболоченных территорий в условиях техногенного воздействия // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 120–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1 и РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-60151 (Арктика) и № 18-05-70087 (Ресурсы Арктики).

Ключевые слова: хлорофилл, каротиноиды, *Sphagnum fuscum*, освоение заболоченных северных территорий.

Введение

Освоение природных ресурсов Севера – одно из приоритетных направлений развития России [13]. При этом стратегическая цель состоит не только в увеличении вклада Арктической зоны в экономику, но и повышении качества жизни местного населения, сохранении и обеспечении защиты природной среды [6]. Реализация крупных проектов этого региона в совокупности со строительством и модернизацией транспортной инфраструктуры [3] может существенно влиять на состояние природных комплексов.

Степень заболоченности на материковой части Арктической зоны Российской Федерации достигает 34 % [10]. На данной территории преобладают выпуклые сфагновые олиготрофные болота [7]. В Архангельской области к такому типу можно отнести до 80 % болотных массивов [11]. Для верховых дистрофных болот Южно-Прибеломорской болотной провинции, заболоченной на 60...80 %, характерен грядово-мочажинно-озерковый тип микроландшафтов с хорошо развитым сфагновым моховым покровом и достаточно однородными по ботаническому составу торфяными залежами глубиной 4...7 м [2].

Биосферные функции болотных экосистем, их вклад в сохранение экологического равновесия как на локальном (региональном), так и на мировом уровне [18–22] определяют важность изучения их возможной реакции на рост техногенной нагрузки, неизбежный в современных экономических условиях. Многообразие функций болот в биосфере обеспечивают протекающие в них процессы, обусловленные вегетацией болотной растительности и биогеотрансформацией органического вещества при торфонакоплении. Логично ожидать, что специфика биосинтеза, с одной стороны, определяет свойства растительного покрова и продуктов его распада, с другой – достаточно чутко реагирует на изменение природной среды, в том числе в результате техногенного воздействия. На примере Западной Сибири показано [8, 9], что температурный и гидрологический режим среды обитания оказывает заметное влияние на состав липидной части бриофлоры. Авторами [1] выявлен рост накопления пигментов у исследованных болотных растений в результате осушения, что они связывают с уменьшением переувлажненности почвы и сокращением поступления солнечного света под полог к растениям мохово-лишайникового яруса.

В иностранных источниках применительно к болотным экосистемам арктических и приарктических территорий наиболее подробно рассмотрены вопросы гидро- и аэропереноса поллютантов [16, 17], влияние пожаров [19] и засухи [20] на удерживающую способность торфа. В России (за исключением геоботанических описаний) внимание исследователей уделяется в основном болотам, расположенным в Карелии и Западной Сибири, а также в средней полосе России. Учитывая тренд на интенсивное освоение северных террито-

рий, их высокую степень заболоченности и тот факт, что природные условия прежде всего влияют на процесс фотосинтеза, представляется важным рассмотреть, как он меняется в результате техногенных воздействий.

Цель исследования – выявление изменений пигментного аппарата мхового покрова при осушении, дорожном строительстве и добыче полезных ископаемых на примере заболоченных территорий Архангельской области.

Объекты и методы исследования

В качестве основного объекта для изучения пигментного аппарата использовали *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr., который доминирует на всех исследуемых площадках. Пробы отбирали в хорошую погоду утром в период вегетации (середина июля–начало августа 2019 г.), упаковывали в герметично закрывающиеся пакеты и светонепроницаемые термоконтейнеры. Пробы анализировали в течение суток с момента отбора.

Площадками для изучения выбраны выпуклые олиготрофные болота с разной степенью техногенной нагрузки в нескольких районах Архангельской области. Эти болотные образования относятся к Южно-Прибеломорской болотной провинции суббореальных болот.

В Приморском районе исследования проводили на стационаре Северного управления гидрометеослужбы – ненарушенном Иласском болотном массиве, входящем в сложную систему болотных массивов в понижении междуречья рек Брусовица, Шухта и Бабья (64°19'43" N, 40°36'45" E). Пробная площадь заложена в центре гряды высотой 50...60 см и шириной 3,0...3,5 м грядово-мочажинного комплекса на центральном плато массива. Древесный ярус представлен редкими деревцами *Pinus sylvestris* L., растительность – сосново-кустарничково-сфагновым сообществом с преобладанием *S. fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. (проективное покрытие до 90 %). Мощность торфяной залежи более 4,0 м, торф однородный сфагновый. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень болотных вод – на глубине 30 см.

Там же, в зоне особо ценных притундровых лесов, исследовали болотный массив, примыкающий к терриконам Ломоносовского ГОК ПАО «Севералмаз». Данный массив испытывает техногенную нагрузку в виде эоловых переносов пылевых частиц сапонитсодержащего материала с терриконов. Пробная площадь заложена на границе гряды и мочажины сглаженного грядово-мочажинным микрорельефом небольшого олиготрофного болотного массива (65°18'46.7"N, 41°04'04.7"E). Древесный ярус представлен редкими деревцами *Pinus sylvestris* L., растительность – сосново-кустарничково-моховым сообществом с преобладанием бриевых видов мхов на грядах и сфагновых мхов (в мочажинах преимущественно *S. magellanicum* Brid, в пограничных зонах – *S. fuscum*). Мощность торфяной залежи не более 1,5 м, торф однородный сфагновый. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень болотных вод подходит к поверхности.

В Холмогорском районе исследования проводили в болотном массиве «Овечь» (64°07'53.0"N, 41°35'10.7"E), расположенном на удалении 50 км от Иласского массива. В период с 1962 по 1970 г. на нем осуществлялись мелиоративные работы: территорию покрыли сетью открытых дренажных магистральных и карстовых каналов глубиной от 1,0 до 1,5 м на расстоянии от 60 до 210 м. Массив «Овечь» относится к балансовым месторождениям площадью менее 300 га в границе промышленной глубины торфяной залежи (0,7 м) с

наличием действующей осушительной сети. В естественном состоянии (на период исследований 1961 г.) болотный массив являлся типичным южно-прибеломорским олиготрофным образованием [15]. Пробная площадь заложена на гряде высотой до 20 см бывшего грядово-мочажинного комплекса в центре межканального пространства. Древесный ярус представлен сосново-березовым древостоем с сомкнутостью крон 0,2–0,3, растительное сообщество выбранного участка гряды относится к сосново-кустарничково-сфагновому типу. В мохово-лишайниковом ярусе преобладают сфагновые мхи (проективное покрытие *S. fuscum*. – до 30 %), однако из-за осушения отмечается повышенное развитие зеленых и печеночных мхов. Мощность торфяной залежи колеблется от 0,7 до 4,0 м, залежь сложена в основном медиум-торфом с преобладанием *S. magellanicum* Brid. Подстилающие породы – моренные пески, супеси и суглинки. Уровень болотных вод подходит к поверхности.

В Мезенском районе исследовали болотный массив, через центральную часть которого проходит грунтовая дорога круглогодичного действия (65°23'29.0"N, 44°08'25.6"E). Преобладающий рельеф массива – грядово-мочажинный с грядами до 30 см высотой и до 1,0 м шириной. Пробные площади заложены по трансекте перпендикулярно дорожному полотну на грядах, параллельных дороге, и на удалении от нее на 34, 80 и 140 м. Древесный ярус – единичные деревца *Pinus sylvestris* L., в мохово-лишайниковом ярусе доминируют сфагновые мхи (с участием *S. fuscum* – до 40 %). Мощность торфяной залежи не более 1,5 м, залежь однородная и сложена слаборазложившимися сфагновыми мхами с примесью травянистых растений. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Болотные воды подходят к поверхности.

Влажность и содержание пигментов (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды) в пробах определяли фотометрическим методом без их разделения согласно [4] (с некоторыми изменениями) в течение суток с момента отбора проб.

Навеску растительного сырья массой от 1,0 до 1,5 г с точностью до ±0,0002 г помещали в маленькую ступку, добавляли небольшое количество (на кончике скальпеля) $MgCO_3$ и 4...5 мл 80 %-го ацетона и тщательно растирали. Полученную смесь количественно переносили в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводили до метки 80 %-м ацетоном. Смесь настаивали 15 мин при комнатной температуре и отфильтровывали через бумажный фильтр. Концентрацию пигментов в полученной ацетоновой вытяжке определяли на спектрофотометре UV-1800 («Shimadzu»). Запись спектров проводили в диапазоне 700...400 нм относительно 80 %-го ацетона. Максимум поглощения для хлорофилла *a* определяли при длине волны $\lambda = 665,0$ нм ($D_{665,0}$), для хлорофилла *b* – при $\lambda = 649,0$ нм ($D_{649,0}$), для каротиноидов – при $\lambda = 440,5$ нм ($D_{440,5}$). Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* (мг/л) в вытяжке рассчитывали по формуле Вернона с учетом коэффициентов экстинкции, полученных для 80 %-го ацетона:

$$C_a = 11,63D_{665,0} - 2,39D_{649,0};$$

$$C_b = 20,11D_{649,0} - 5,18D_{665,0};$$

$$C_{(a+b)} = 6,45D_{665,0} + 17,72D_{649,0},$$

где C_a , C_b – концентрация хлорофиллов *a* и *b*, мг/л; $C_{(a+b)}$ – суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в растворе, мг/л.

Для определения концентрации каротиноидов ($C_{кар}$, мг/л) в суммарной вытяжке пигментов с учетом погрешности из-за присутствия хлорофиллов использовали формулу Веттштейна:

$$C_{\text{кар}} = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{(a+b)}.$$

Содержание пигментов в исследуемом материале (A , мг/г абсолютно сухого растительного материала (а. с. м.)) с учетом объема вытяжки и навески пробы рассчитывали по следующей формуле:

$$A = VC / (P \cdot 1000),$$

где C (C_a , C_b , $C_{(a+b)}$, $C_{\text{кар}}$) – концентрация пигментов, мг/л; V – объем вытяжки, мл (25 мл); P – навеска а.с.м., г.

Результаты исследования и их обсуждение

Освоение заболоченных территорий требует, прежде всего, их осушения, поэтому первый этап исследования сориентирован на оценку изменений пигментного аппарата мохового покрова в результате мелиоративных работ. Для изучения влияния осушения были выбраны расположенные достаточно близко друг от друга однотипные участки сходных болотных массивов – грядово-мочажинный комплекс ненарушенного Иласского болотного массива и осушенное болото «Овечье». Объект исследования (*S. fuscum*) является доминирующим на территории Иласского болота (проективное покрытие до 90 %) и одним из преобладающих на болоте «Овечье» (проективное покрытие до 30 %). Все образцы были отобраны на открытых освещенных территориях, чтобы исключить вклад различий в освещенность из числа факторов, влияющих на формирование пигментного комплекса. Результаты определения влажности и фотосинтетических пигментов в образцах приведены в таблице.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов (мкг/г а.с.м.) в *S. fuscum* в зависимости от осушения

Болото	Влажность, %	Хлорофилл			Каротиноиды	Сумма пигментов
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>		
Овечье	85,0±0,3	55...168	37...95	92...263	59...92	152...355
		115	66	181	75	256
Иласское	88,5±0,1	86...107	64...74	150...181	73...109	223...269
		93	70	164	90	253

Примечание: В числителе приведен массив значений, в знаменателе – среднее значение.

Из представленных данных видно, что суммарное содержание фотосинтетических пигментов *S. fuscum* после осушения болота варьируется в более широких пределах, чем в естественных условиях, хотя средние величины для двух участков близки между собой. Массовая доля отдельных пигментов в исследованных образцах мелиорированного участка также демонстрирует значительно больший разброс значений, чем в случае ненарушенного. Можно отметить ряд различий в составе пигментного комплекса. Содержание каротиноидов в *S. fuscum* на Иласском болоте в среднем достигает 90 мкг/г, их доля – до 40 % от суммы пигментов, тогда как на болоте «Овечье» их содержание заметно ниже, а доля не превышает 30 %. В отношении содержания хлорофилла *a* и суммы хлорофиллов (*a + b*) наблюдается обратная тенденция.

В литературе влияние осушения на особенности синтеза пигментов болотными растениями связывают как напрямую с изменением режима водного питания, так и с затененностью, вызванной интенсивным развитием древесного яруса на осушенных территориях. В частности, в [1] отмечен рост содержания пигментов у большинства видов болотных растений, в наибольшей

степени (в 2,9–3,1 раза) – у сфагнома (*S. magellanicum*). Аналогичные тенденции выявлены авторами [8, 9] при исследовании верховых болот Беларуси (рост содержания фотосинтетических пигментов в 8,9 раза в ряду естественные < осушенные < восстановленные), тогда как в условиях Западной Сибири они не прослеживаются.

Отсутствие подобных четко выраженных зависимостей у объектов нашего исследования, по-видимому, связано с тем, что образцы были отобраны на открытой местности с максимальным доступом солнечного света. Возможно, именно этот фактор вносит основной вклад в формирование фотосинтетического пигментного комплекса. Вместе с тем большой разброс полученных значений на осушенном участке указывает на значимый вклад гидрологических условий.

Выявленные колебания в содержании и составе пигментов можно интерпретировать следующим образом: одна часть растений опытной площадки находится в оптимальных условиях, другая – в стрессовых для данного вида условиях из-за недостаточного увлажнения. После мелиоративных мероприятий болотный массив не использовался, постепенно произошло частичное нарушение дренажной системы, в результате чего в настоящее время на отдельных участках протекают процессы обратного заболачивания. Таким образом, комплекс фотосинтетических пигментов сфагновых мхов достаточно чутко реагирует не только на изменения в освещенности, но и на водный режим места обитания.

Помимо светового и гидрологического факторов процесс биосинтеза способен откликаться и на загрязнение различными поллютантами. Северные территории России ввиду малой заселенности и удаленности от крупных промышленных узлов считаются экологически чистыми. При этом возможно поступление загрязняющих веществ путем атмосферного переноса от отдаленных промышленных предприятий, которое проявляется в адсорбции мхами этих соединений [17]. Влияние таких воздействий на пигментный аппарат достаточно сложно проследить и корректно интерпретировать. Более удобны для этого расположенные в непосредственной близости от осваиваемых заболоченных территорий локальные источники загрязнений, в частности автомобильные дороги. Это важно ввиду того, что освоение новых территорий неизбежно связано со строительством и эксплуатацией транспортной инфраструктуры.

Влияние транспортной нагрузки исследовали на открытом заболоченном участке в Мезенском р-не, где отсутствует древесно-кустарниковый ярус. Следует отметить, что в непосредственной близости от дороги (34 м) наблюдается смена доминирующих видов в мохово-лишайниковом ярусе болота – проективное покрытие сфагновых мхов снижается до уровня менее 10 %, а в доминанты выходят бриевые мхи. Возможно, это связано с повышением минерализации верхних слоев залежи за счет поступления минеральных частиц с дороги, а также с некоторым изменением уровня болотных вод вблизи искусственного водоупора – отсыпки дорожного полотна.

На рис. 1 приведены результаты измерения содержания фотосинтетических пигментов в зависимости от удаления источника загрязнения – автодороги.

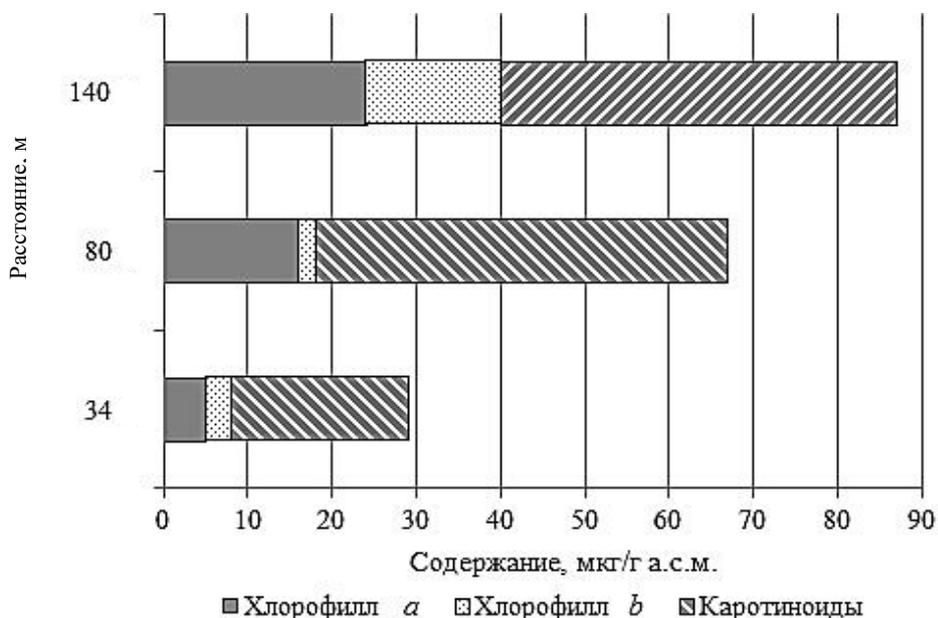


Рис. 1. Содержание основных фотосинтетических пигментов во мхах в зависимости от расстояния от автодороги (Мезенский р-н)

Fig. 1. The content of the main photosynthetic pigments in mosses depending on the distance from the road (Mezen district)

При удалении от автодороги наблюдается увеличение содержания пигментов в 3 раза. Наиболее интенсивные изменения претерпевают хлорофиллы, общее содержание которых возрастает в 5 раз (с 8 до 40 мкг/г а.с.м.), причем повышение хлорофилла *a* происходит постепенно, а хлорофилла *b* – скачкообразно. На рис. 1 видно, что интенсивный синтез хлорофилла *b* начинается на большем удалении от дороги (более 80 м), что может быть связано с высокой чувствительностью этого пигмента к загрязнениям воздушной среды. Содержание каротиноидов при удалении от дороги на 80 м увеличивается в 2,3 раза (по сравнению с 34 м), достигает 50 мкг/г а.с.м. и далее меняется незначительно.

В литературе нет единого мнения о механизмах воздействия поллютантов на пигментный аппарат растений, однако многие исследователи отмечают значительное влияние атмосферных загрязнений на синтез хлорофиллов и каротиноидов. Считается, что адаптация к стрессовым условиям неодинаково протекает у различных видов растений и зависит от непосредственной близости источника эмиссии [12]. Выявленные зависимости хорошо согласуются с [14], где на примере древесных и травянистых растений показано, что с ростом аэротехногенного загрязнения наблюдается уменьшение содержания общего фонда фотосинтетических пигментов по сравнению с фоновыми условиями, изменяется соотношение их спектральных форм, а также отношение суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов.

Известно, что при торможении биосинтеза снижается содержание зеленых пигментов [5]. По-видимому, поступление фитотоксичных веществ в процессе эксплуатации грунтовых дорог инициирует процессы адаптации растительных организмов, направленные на сохранение относительного рав-

новесия фотосинтетического аппарата, при этом меняется содержание пигментов в фотосинтетических мембранах и в их составе происходит перераспределение в сторону относительного преобладания каротиноидов.

Локальные загрязнения болотных природных комплексов наблюдаются и при разработке месторождений полезных ископаемых северных регионов. В данном исследовании в качестве примера техногенного воздействия добывающего предприятия послужил Ломоносовский ГОК ПАО «Севералмаз».

Опытные площадки выбраны на различной удаленности от террикона отработанных пород. Установлено, что золовый перенос пылевых частиц породы оказывает загрязняющее влияние на болотные экосистемы. Первый участок (образцы 3М и 3Г) располагается в зоне прямой видимости террикона (0,3 км), на нем отмечены следы пылевых наносов сапонита. Второй участок удален от первого на расстояние 1,2 км (1,5 км от террикона, образцы 6М и 6Г), перенос пылевых частиц экранируется перемышкой леса, разделяющей исследуемые болотные участки. Образцы отличаются по степени увлажнения, так как отобраны на мочажине, в местах повышенной влажности (М), или на гряде, на относительно сухих возвышениях (Г). Экспериментальные данные представлены на рис. 2.

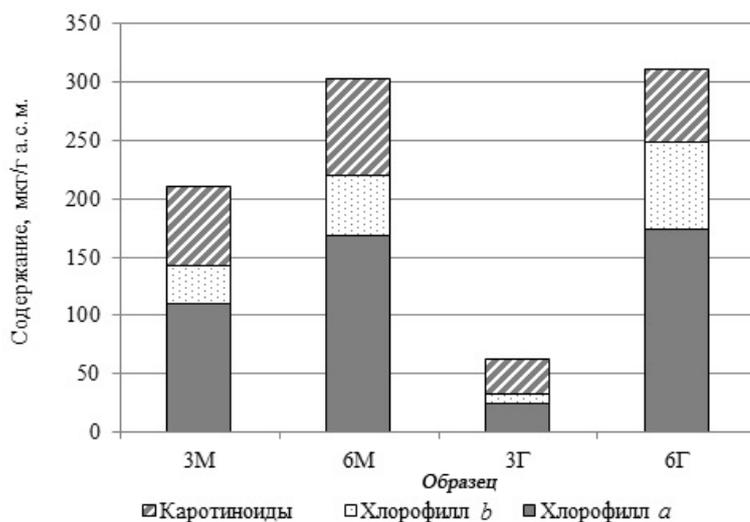


Рис. 2. Содержание основных фотосинтетических пигментов в *S. fuscum* в зоне воздействия переноса пылевых частиц при добыче полезных ископаемых на удалении 0,3 км (3М и 3Г) и 1,5 км (6М и 6Г) от террикона; М – площадки с повышенной влажностью; Г – площадки с пониженной влажностью

Fig. 2. The content of the main photosynthetic pigments in *S. fuscum* silt in the impact area of the transfer of silt particles during mining operations at a distance of: 0.3 km (3М and 3Г); 1.5 km from the terricone (6М and 6Г); М – plots with high humidity; Г – relatively dry plots

Таким образом, вблизи источника загрязнения содержание суммы пигментов заметно ниже, чем на участке, защищенном лесополосой, в особенности по сравнению с местами на повышенных элементах рельефа. При этом наблюдается перестройка и в составе пигментного комплекса – снижение доли хлорофиллов *a* и *b* при некотором увеличении содержания кароти-

ноидов. Эти тенденции более ярко проявляются на относительно сухих участках – 3Г и 6Г. Так как сапонит – глинистый минерал, активно поглощающий воду, можно предположить, что именно фактор увлажнения сфагнумов играет ключевую роль в процессе синтеза пигментов.

Полученные результаты подтверждают высказанное ранее мнение о существенном вкладе водного режима в формирование пигментного комплекса. Повышенное увлажнение обеспечивает более благоприятные условия вегетации мхов, что смягчает негативное влияние поллютантов на пигментный аппарат растительных организмов. При удалении от отвала содержание хлорофилла *a* в точках 6М и 6Г практически одинаково, в то время как хлорофилл *b* активнее синтезируется на возвышении.

Заключение

Изменение пигментного аппарата мохового покрова заболоченных территорий в зависимости от мелиоративных работ, удаленности от крупных грунтовых магистралей и запыленности обработанными грунтами при добыче полезных ископаемых отражает адаптацию растений в экосистемах к неблагоприятным воздействиям и антропогенному прессингу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 4. С. 24–32. [Zarubina L.V., Konovalov V.N. Seasonal Dynamics' Peculiarities of Leaves' Pigments in Fruticulose-sphagnum Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 24–32]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/02f/02f40dbdf312a4d7c8cdfd4c18706dc.pdf>
2. Кузнецов О.Л., Юрковская Т.К. Болотные экосистемы бассейна Белого моря. Геология морей и океанов: материалы XVIII междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2009. С. 190–194. [Kuznetsov O.L., Yurkovskaya T.K. White Sea Basin Wetlands. *Geology of the Seas and Oceans: Proceedings of the 18th International and Scientific Conference (School) in Marine Geology*. Vol. 3. Moscow, GEOS Publ., 2009, pp. 190–194].
3. Об экспертном и общественном обсуждении Стратегии развития Арктической зоны РФ до 2035 года. Режим доступа: <http://goarctic.ru/news/ob-ekspertnom-i-obshchestvennom-obsuzhdenii-strategii-razvitiya-arkticheskoy-zony-rf-do-2035-goda/> (дата обращения: 19.11.19). [On Expert and Public Discussion of the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation until 2035].
4. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наук. думка, 1976. 336 с. [Pochinok Kh.N. *Methods for Biochemical Analysis of Plants*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1976. 336 p.].
5. Растения в условиях химического загрязнения окружающей среды // Лес и экология. 2012. Режим доступа: <http://les-pitomnik.ru/vliyaniye-zagryazneniy-na-rasteniya/> (дата обращения: 29.03.13). [Plants under Chemical Pollution. *Forest and Ecology*. 2012].
6. Роль Арктики в развитии России будет возрастать // М-во Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. Режим доступа: <https://minvr.gov.ru/press-center/news/23697/> (дата обращения: 29.10.19). [The Role of the Arctic in the Development of Russia will Increase. Ministry for the Development of the Russian Far East and Arctic].
7. Росреестр. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/eservices/> (дата обращения: 09.12.19). [Rosreestr. Federal Service of State Registration, Cadastre and Cartography].
8. Серебrenникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. Особенности состава липидов сфагновых и бриевых мхов из различных природно-климатических зон //

Химия растит. сырья. 2019. № 3. С. 225–234. [Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. Features of Lipid Composition of Sphagnum and True Mosses from Various Natural Climatic Zones. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw materials], 2019, no. 3, pp. 225–234]. DOI: [10.14258/jcprm.2019034558](https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034558)

9. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Аверина Н.Г., Козел Н.В. Оценка функционального состояния болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири на основе анализа состава торфяных битумов // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. № 4. С. 367–377. [Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Duchko M.A., Averina N.G., Kozel N.V. Evaluation of the Functional State of Marsh Ecosystems in Belarus and in West Siberia on the Basis of Analysis of Peat Bitumen Composition. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2015, no. 4, pp. 367–377]. DOI: [10.15372/KhUR20150406](https://doi.org/10.15372/KhUR20150406)

10. Сирин А.А., Маркина А.В., Минаева Т.Ю. Заболоченность Арктической зоны России // Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации: материалы междунар. полевого симп. (Инта–Сыктывкар–Нарьян-Мар, 22 июля–4 авг. 2017 г.). Сыктывкар, 2017. С. 16–22. [Sirin A.A., Markina A.V., Minayeva T.Yu. Russian Arctic Wetlands. *North-East Europe's Wetland Ecosystems and Issues of Ecological Restoration: Proceedings of the International Field Symposium (Inta – Syktyvkar – Naryan-Mar, July 24 – August 4, 2017)*. Syktyvkar, 2017, pp. 16–22].

11. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск: РИО АГТУ, 2000. 37 с. [Sokolov O.M., Ivko V.R. *Peat Resources of the Arkhangelsk Region and Their Use*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2000. 37 p.].

12. Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243–248. [Tuzhilkina V.V. Response of the Pigment System of Conifers to Long-Term Industrial Air Pollution. *Ekologia* [Russian Journal of Ecology], 2009, no. 4, pp. 243–248]. DOI: [10.1134/S1067413609040018](https://doi.org/10.1134/S1067413609040018)

13. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf> (дата обращения: 09.12.19). [Presidential Executive Order No. 204 Dated May 7, 2018 “On National Goals and Strategic Objectives of the Russian Federation through to 2024”].

14. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Бессережнова М.И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2012. № 2(18). С. 171–185. [Chupahina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Besserezhnova M.I. Reaction of Pigmental and Antioxidant Systems of Plant on Environmental Pollution of Kaliningrad by Motor Transport Emission. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2012, no. 2(18), pp. 171–185].

15. Шорин Н.А., Лашин В.М. Материалы детальной разведки торфяного месторождения «Овечь» Холмогорского района Архангельской области. ПИИГипроторфразведка, Горьков. отд., 1961. 56 с. [Shorin N.A., Lapshin V.M. *Materials of Detailed Exploration of the Peat Deposit “Ovech’ye” of the Kholmogory District, Arkhangelsk Region*. ПИИГипроторфразведка, Gor’kovskoye otdeleniye Publ., 1961. 56 p.].

16. Barrett S.E., Watmough S.A. Factors Controlling Peat Chemistry and Vegetation Composition in Sudbury Peatlands after 30 Years of Pollution Emission Reductions. *Environmental Pollution*, 2015, vol. 206, pp. 122–132. DOI: [10.1016/j.envpol.2015.06.021](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.021)

17. González A.G., Jimenez-Villacorta F., Beike A.K., Reski R., Adamo P., Pokrovsky O.S. Chemical and Structural Characterization of Copper Adsorbed on Mosses (*Bryophyta*). *Journal of Hazardous Materials*, 2016, vol. 308, pp. 343–354. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2016.01.060](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.060)

18. Kimmel K., Mander Ü. Ecosystem Services of Peatlands: Implications for Restoration. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 2010, vol. 34, iss. 4, pp. 491–514. DOI: [10.1177/0309133310365595](https://doi.org/10.1177/0309133310365595)
19. Rosenburgh A., Alday J.G., Harris M.P.K., Allen K.A., Connor L., Blackbird S.J. et al. Changes in Peat Chemical Properties during Post-Fire Succession on Blanket Bog Moorland. *Geoderma*, 2013, vol. 211–212, pp. 98–106. DOI: [10.1016/j.geoderma.2013.07.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.012)
20. Souter L., Watmough S.A. The Impact of Drought and Air Pollution on Metal Profiles in Peat Cores. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 541, pp. 1031–1040. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.09.137](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.137)
21. Vaasma T., Karu H., Kiisk M., Pensa M., Isakar K., Realo E. et al. Pb-210 and Fly Ash Particles in Ombrotrophic Peat Bogs as Indicators of Industrial Emissions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, vol. 174, pp. 78–86. DOI: [10.1016/j.jenvrad.2016.07.027](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.027)
22. Yu Z.C. Northern Peatland Carbon Stocks and Dynamics: A Review. *Biogeosciences*, 2012, vol. 9, iss. 10, pp. 4071–4085. DOI: [10.5194/bg-9-4071-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012)

PIGMENT COMPOSITION OF *Sphagnum fuscum* OF WETLANDS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

*S.B. Selyanina*¹, Candidate of Engineering, Leading Research Scientist; ResearcherID: [AAG-4781-2019](https://orcid.org/0000-0003-0829-7518), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-7518>

*V.G. Tatarintseva*¹, Postgraduate Student, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAH-8581-2019](https://orcid.org/0000-0001-6499-9202), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6499-9202>

*I.N. Zubov*¹, Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist; ResearcherID: [G-5351-2011](https://orcid.org/0000-0003-3037-2449), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-2449>

*N.A. Kutakova*², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; Researcher ID: [T-1150-2019](https://orcid.org/0000-0001-8195-2115), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-2115>

*T.I. Ponomareva*¹, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAG-4731-2019](https://orcid.org/0000-0001-7981-8072), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-8072>

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, UB RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: gumin@fciarctic.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.kutakova@narfu.ru

Oligotrophic bogs prevail among wetlands in the mainland of the North of Russia. The study of the moss cover response to the increase in anthropogenic load makes it possible to reveal a shift in the ecological balance of bog ecosystems. The goal of the research is to reveal changes in the pigment apparatus of the moss cover under drainage, road construction and mining operation as in the case of the Arkhangelsk region. *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. was used as the main object for studying the pigment composition of the photosynthetic apparatus. A change in the pigment composition during the drainage of bogs was found when comparing the pigments of *S. fuscum* moss on the undisturbed Ilas bog massif and the drained bog massif “Ovechye”; the content of carotenoids decreases and the content of chlorophyll *a* increases. The influence of the traffic load was studied in an open wetland of the Mezen district, where there is no tree-shrub layer. Succession of dominant species is observed in the moss-lichen layer of the bog in the immediate vicinity of the road (34 m); the projective cover of sphagnum mosses decreases to less than 10 %, and brie mosses emerge as dominants. The content of all analyzed pigments in moss samples increases with the distance from unpaved roads, especially the content of chlorophylls (>5 times at a distance of 100 m and more). As an example of the anthropogenic impact of a mining enter-

prise, we used terricones of the Lomonosov Mining and Processing Plant, PJSC Severalmaz, from which aeolian transport of dust particles of rocks containing saponite occurs. Near the pollution source, the content of total moss pigments is noticeably lower than in the area protected by a forest belt. A decrease in the proportion of chlorophylls *a* and *b* with a slight increase in the content of carotenoids was found in the pigment complex. The changes are due to the transfer of saponite; a clay mineral that actively absorbs water. The increased moisture provides favorable conditions for the moss vegetation, which mitigates the negative effect of pollutants on the pigment apparatus of plants. Overall, pigments content change represents plants adaptation to the adverse impacts and anthropogenic pressing.

For citation: Selyanina S.B., Tatarintseva V.G., Zubov I.N., Kutakova N.A., Ponomareva T.I. Pigment Composition of *Sphagnum fuscum* of Wetlands under Anthropogenic Impact. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 120–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

Funding: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the research topic No. AAAA-A18-118012390224-1 and the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the research projects No. 18-05-60151 (Arctic) and No. 18-05-70087 (Resources of the Arctic).

Keywords: chlorophyll, carotenoids, sphagnum, water-logged northern territories and their development.

Поступила 09.12.19 / Received on December 9, 2019
