Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 43. С. 196–223

ЭКОЛОГИЯ

УДК 547.747
doi: 10.17223/19988591/43/10

А.А. Синюткина[1], Л.П. Гашкова[1, 2], А.А. Малолетко[1], М.Г. Магур[1], Ю.А. Харанжевская[1, 2]

[1]Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия
[2] Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верховых болот юго-востока Западной Сибири

Проведена оценка состояния верховых болот Томской области, осушенных с целью лесомелиорации и добычи торфа на основе изучения микрорельефа, структуры и видового состава растительного покрова. Полевые исследования выполнены на семи ключевых участках, расположенных в пределах трех болотных массивов – Бакчарского, Иксинского, Усть-Бакчарского – в течение вегетационного периода 2016 г. Сравнение структуры и видового состава растительного покрова осушенных и аналогичных участков за пределами осушительной сети показало снижение доли Sphagnum angustifolium и S. magellanicum при повышении доли зелёных мхов; снижение доли Andromeda polifolia и увеличение доли Vaccinium uliginosum, V. vitis-idaea в результате осушения. Индикатором восстановления болот является увеличение встречаемости сфагновых мхов (в среднем в 2 раза) с возрастанием доли S. magellanicum, а также проективного покрытия A. polifolia. Анализ показателей распределения высот микрорельефа показал уменьшение доли высот у средней поверхности с 43 до 29%, увеличение коэффициента асимметрии с 0,1 до 0,54 от естественных участков к осушенным. Показатели расчлененности микрорельефа (амплитуда, среднеквадратическое отклонение, вертикальное расчленение) возрастают на участках гидролесомелиорации в среднем в 1,2 раза. На болоте, осушенном для торфодобычи, произошло уменьшение показателей расчлененности в 1,3 раза в результате активизации процессов разложения и просадки верхних слоев торфяной залежи. Тенденции к восстановлению поверхности и растительного покрова к состоянию, близкому к естественным болотам, выявлены на участках гидролесомелиорации. Восстановление осушенного с целью добычи торфа участка Усть-Бакчарского болота не наблюдается.

Ключевые слова: *восстановление болот; мелиорация болот; расчлененность поверхности; Васюганское болото; сфагновые мхи; осушительные каналы.*

Введение

Осушенные болота являются малопродуктивными землями с неясно выраженной тенденцией и скоростью самовосстановления, представляющие собой угрозу загрязнения воздуха при пожарах и поверхностных вод при эрозии [1]. Кроме того, существует проблема оценки запасов углерода в торфе и эмиссии парниковых газов на осушенных болотах [2]. Естественные болота, являясь важным стоком углерода, в результате понижения уровня болотных вод становятся источником выбросов углекислого газа в атмосферу [3] вследствие активизации микробиологических процессов в торфяной залежи, в особенности на участках с низким лесоводственным эффектом гидролесомелиорации [4]. Осушение верховых болот в 1960–1980 гг. стало основной причиной изменения условий болотных местообитаний в Северной Европе, части Северной Америки, России. Болота подвергались осушению с целью повышения их производительности для выпаса скота или улучшения условий роста древесной растительности для лесозаготовок [5–8]. Однако улучшение производительности лесов оказалось несущественным [5, 9]. Недостаток азота в торфяных почвах верховых болот относится к числу основных факторов, лимитирующих производительность болотных сосняков [10], поэтому в бедных омбротрофных местообитаниях увеличение роста деревьев незначительно [2, 4, 11]. В настоящее время наблюдается повышение внимания к оценке более широкого спектра услуг, предоставляемого болотами, включающего защиту биоразнообразия, регулирование стока и баланса парниковых газов, таких как диоксид углерода и метан, и становится общепризнанным, что восстановление нарушенных болот, в том числе путем блокировки каналов, является единственным способом возобновления их биосферных функций [5, 12]. Перекрытие осушительных каналов дает толчок к их зарастанию, закреплению перемычек и плотин, что препятствует стоку природных вод с болота и создает условия для последующего самовосстановления растительных сообществ и процесса торфообразования [13, 14]. Восстановление гидрологического режима болот должно способствовать появлению следующих устойчивых результатов: снижение пожароопасности, стабилизация экологического режима местообитаний, сокращение объема эмиссии углекислого газа в атмосферу [15].

С 2000-х гг. восстановление осушенных с целью гидролесомелиорации болот путем повторного обводнения является приоритетным направлением деятельности по сохранению биоразнообразия в странах Северной Европы [6, 7]. В России интерес к восстановлению болот появился в ответ на тяжелую экологическую ситуацию, сложившуюся летом 2010 г. в европейской части, когда пожары на осушенных и заброшенных болотах охватили значительные территории, причинив серьезный вред природе, экономике и здоровью людей [14]. Однако при широком использовании методов вторичного обводнения для восстановления осушенных болот на территории

зарубежных стран и европейской части России отсутствуют исследования, посвященные оценке их состояния в долгосрочной перспективе. Гипотезы о восстановлении их биологического разнообразия за счет увеличения гидроморфных видов, уменьшения эмиссии парниковых газов и пожароопасности не всегда подтверждаются полевыми исследованиями [3, 16]. Например, в результате исследований [5], не отмечено увеличение покрытия и распространения болотных видов для горных болот Северной Европы. Следующая проблема связана с изменением потенциала глобального потепления в результате нарушения баланса углерода на антропогенно измененных болотах. Повторное обводнение вызывает увеличение выбросов метана [17] и низкое поглощение углекислого газа в первые годы после мероприятий по восстановлению. Продолжительность этой фазы может колебаться от 5 до 50 лет. Далее должно произойти снижение выбросов метана и усиление поглощения углекислого газа, но вопрос о продолжительности временного интервала, необходимого для восстановления функции накопления углерода болотных местообитаний, остается открытым [3]. Также существует проблема неоднозначного влияния восстановления болота на его состояния с точки зрения потенциальной пожароопасности. В результате осушительной мелиорации многие участки зарастают древесной и кустарниковой растительностью. Повторное обводнение может привести к ее гибели в результате подъема уровня воды, появлению сухостоя, что, наоборот, способствует усилению пожарной опасности [13].

Схожие проблемы могут возникнуть и при самовосстановлении осушенных болот Западной Сибири, где в 1970–1980 гг. также проведены масштабные работы по осушению верховых болот. В частности, в пределах восточных отрогов Васюганского болота участки гидролесомелиорации занимают около 15 тыс. га [18, 19]. В настоящее время эти территории остаются менее исследованными, практически отсутствуют данные об их современном состоянии и тенденциях восстановления. Часть осушенных болот эффективно не использовалась, а с начала 1990-х гг. площадь брошенных ранее осушенных земель постоянно росла [20]. Отсутствие ремонта дренажной сети способствовало ее заторфовыванию и зарастанию, что привело к частичному перекрытию каналов и развитию неконтролируемых процессов самовосстановления верховых болот. Возможная степень восстановления будет зависеть от ситуации, и во многих случаях можно ожидать лишь ограниченного успеха. В пределах осушенных болот является необходимым проведение мониторинга для подтверждения и оценки восстановления функций экосистем, состояния восстанавливающейся экосистемы [8]. Таким образом, цель исследования – оценка состояния и процессов восстановления осушенных верховых болот для лесомелиорации и добычи торфа на основе анализа характеристик микрорельефа поверхности, структуры и видового состава растительных сообществ.

Материалы и методики исследования

Объекты исследования – 7 ключевых участков, расположенных в пределах трех болотных массивов – Бакчарского, Иксинского, Усть-Бакчарского (табл. 1). Бакчарский и Иксинский болотные массивы расположены на Бакчар-Иксинском и Икса-Шегарском междуречьях соответственно и являются восточными отрогами Васюганского болота. Усть-Бакчарское болото расположено на второй надпойменной террасе р. Бакчар. Рассматриваемая территория относится к подзоне южной тайги Западной Сибири. В конце 1970-х – начале 1980-х гг. в пределах центральных частей Бакчарского и Иксиского болот проведено осушение с целью лесомелиорации. В этот же период большая часть Усть-Бакчарского болота осушена с целью добычи торфа. В пределах осушенной части Усть-Бакчарского болота отмечены следы пожаров, один из которых, по данным геосервиса «Карта пожаров» группы компаний СКАНЭКС, произошел в августе 2014 г. Влияние пожаров проявляется в виде нарушений поверхности болота в результате частичного выгорания верхних горизонтов торфяной залежи. Осушение залежи всех участков осуществляется сетью открытых каналов. Расстояние между каналами-осушителями на участках гидролесомелиорации составляется 160–180 м, на участках, осушенных с целью добычи торфа, – 40 м. Лесопосадочные работы в пределах осушенных участков не проводились, последующий ремонт дренажной сети отсутствовал, что привело к развитию процесса самовосстановления осушенных болот. Отмечено снижение водопропускной способности каналов и их зарастание на Бакчарском болоте на 90%, на Иксинском болоте – на 70%, процент зарастания каналов на Усть-Бакчарском болоте минимален. Дно каналов на участках болот с лесомелиоративной сетью в большинстве случаев занято сфагновыми мхами с единичными дерновинами пушицы, берега заросли кустарничково-мохово-лишайниковым сообществом. Осушительная сеть Усть-Бакчарского болота находится в лучшем состоянии в сравнении с участками гидролесомелиорации, на отдельных участках берега каналов подвержены зарастанию сфагновыми мхами, осоками и кустарничковой растительностью [21].

В пределах участка гидролесомелиорации Бакчарского болота отмечены наиболее высокие отметки среднесезонных уровней болотных вод, в пределах Иксинского болота уровни близки к естественному участку Бакчарского болота, Усть-Бакчарское болото характеризуется максимальным снижением уровней до отметок –82 см (см. табл. 1). Следует отметить, что в условиях активного зарастания каналов Бакчарского болота наблюдается нарушение синхронности колебаний и подпор уровней, в результате чего отметки уровней болотных вод повысились. Анализ материалов ручных наблюдений за уровнями болотных вод с периодичностью 1 раз в месяц за период 2000–2016 гг. показал статистически значимый тренд максимальных уровней болотных вод. Резкое увеличение амплитуды колебания уровней приходится

на период 2008–2010 гг., после которого наметилась тенденция к увеличению отметок уровней болотных вод [22]. При этом статистически значимых изменений сумм атмосферных осадков за период многолетних наблюдений 2000–2016 гг. в пределах Бакчарского болота не наблюдается, изменяется лишь режим их выпадения.

Полевые исследования проведены в течение вегетационного периода 2016 г. на ключевых участках в пределах осушительной сети в центральной части карт на равном расстоянии от осушительных каналов (осушенные участки) и за пределами осушительной сети (условно естественные участки). Расположение точек наблюдения на условно естественных участках определялось в зависимости от площади, занимаемой изучаемым микроландшафтом с условием расположения ключевого участка в его центральной части (см. табл. 1). В качестве объекта сравнения выбран ключевой участок, расположенный в естественной части Бакчарского болотного массива на расстоянии 8 км от ближайшего участка гидролесомелиорации, изолированной от влияния осушительной сети. Участки имеют схожие характеристики растительного покрова и торфяной залежи и представляют собой сосново-кустарничково-сфагновый микроландшафт.

Таблица 1 [Table 1]

Характеристика объектов исследования
[Characteristics of the objects of study]

Ключевые участки [Key sites]	Координаты [Coordinates]	Расстояние от осушительного канала, м [Distance from the ditch, m]	Средний уровень болотных вод за вегетационный период 2016 г., см [Average level of bog waters during the growing season 2016, cm]	Антропогенная нагрузка [Anthropogenic load]
Бакчарское (бассейн р. Ключ) [Bakchar bog (basin of the Klyuch river)]	56°58'21"N 82°36'41"E	–	–24	Естественное болото [Natural bog]
Бакчарское естественное [Natural site of Bakchar bog]	56°52'20"N 82°48'36"E	500	–20	Условно естественное болото [Conditionally natural bog]
Бакчарское осушенное [Drained site of Bakchar bog]	56°52'52"N 82°48'49"E	80	–7	Осушенное [Drained bog]
Иксинское естественное [Natural site of Iksa bog]	56°50'08"N 83°15'48"E	350	–22	Условно естественное болото [Conditionally natural bog]

Окончание табл. 1 [Table 1 (end)]

Ключевые участки [Key sites]	Координаты [Coordinates]	Расстояние от осушительного канала, м [Distance from the ditch, m]	Средний уровень болотных вод за вегетационный период 2016 г., см [Average level of bog waters during the growing season 2016, cm]	Антропогенная нагрузка [Anthropogenic load]
Иксинское осушенное [Drained site of Iksa bog]	56°50'25"N 82°48'49"E	80	–24	Осушенное болото [Drained bog]
Усть-Бакчарское естественное [Natural site of Ust-Bakchar bog]	57°34'33"N 82°16'32 "E	150	–33	Условно естественное болото [Conditionally natural bog]
Усть-Бакчарское осушенное [Drained site of Ust-Bakchar bog]	57°34'40"N 82°16'28"E	20	–58	Осушенное болото [Drained bog]

Методика оценки состояния и процессов восстановления осушенных болот на основе изучения микрорельефа, структуры и видового состава растительного покрова заключается в выявлении степени отличий изучаемого осушенного участка от показателей, выявленных для естественных и условно естественных болот.

Полевые исследования на ключевых участках включали в себя:

– качественную характеристику микрорельефа; съемку профиля вертикального сечения горизонта формирования микрорельефа с помощью нивелира и / или тахеометра (121 точка измерений с шагом 0,5 м на каждом ключевом участке) [23];

– геоботанические описания фитоценозов на площадке 10×10 м: для оценки состояния древесного яруса на участке подсчитывалось количество деревьев всех возрастов каждого вида, определялась их высота; при описании травяно-кустарничкового яруса проводилось описание по пятнам доминирования, оценивалось абсолютное проективное покрытие; при описании мохового яруса осуществлялось описание на серии мелких учетных площадок, оценивалась частота встречаемости видов [24, 25];

– измерение уровня болотных вод относительно средней поверхности в ручном режиме с интервалом 1 месяц с мая по сентябрь в течение 2016 г. и в автоматическом режиме круглогодично с интервалом 4 ч с применением автономного дифференциального датчика давления (САМ, ИМКЭС СО РАН) [23, 26]. Наблюдения за уровнями в автоматическом режиме проводились на участках Бакчарского болота, а в пределах Иксинского и Усть-Бакчарского болот изменения уровней болотных вод осуществлялись в ручном режиме. Сопоставление уровней, измеренных в автоматическом режиме, с данны-

ми контактных измерений статистически значимых отличий не показали. Для сопоставления отметок уровней по всем исследуемым участкам, где многолетний мониторинг уровенного режима не производится, в таблице приведены уровни болотных вод, осредненные за конкретные даты полевых описаний.

Статистический анализ данных таксационных измерений микрорельефа модельных участков включал определение показателей, характеризующих расчлененность микрорельефа (амплитуда колебаний высот, амплитуда колебаний высот при уровне значимости p=0,05, среднеквадратическое отклонение, среднее значение вертикального расчленения микрорельефа) и распределение высот относительно средней поверхности болота (доля высот в интервале от –5 до 5 см, коэффициент асимметрии, квартильные размах и интервал). Амплитуда колебаний высот (высота зоны развития микрорельефа) A определялась как: $A=H_{max}–H_{min}$, где H_{max} – высота верхней поверхности зоны развития микрорельефа, H_{min} – высота верхней поверхности зоны развития микрорельефа. Амплитуда колебаний высот при уровне значимости p=0,05, $A_{p=0,05}$ использована, чтобы исключить влияние случайных величин, больших и малых значений H_i очень редкой повторяемости на величину амплитуды. Квартильный интервал включает интервал высот вокруг средней поверхности, который содержит 50% высотных отметок микрорельефа модельных участков. Квартильный размах – амплитуда между значениями высот верхнего и нижнего квантилей. Оба показателя наглядно отражают различия в распределении высот между естественными и осушенными участками. Среднеквадратическое отклонение значений высотных отметок микрорельефа показывает степень расчлененности поверхности болота. Значение вертикального расчленения микрорельефа определялось как отношение превышений высотных отметок микрорельефа на единицу площади (см/м^2). В данной работе расчет значений вертикального расчленения микрорельефа проведен с пространственным разрешением 1 м^2. Вертикальное расчленение микрорельефа является показателем, отражающим степень расчлененности поверхности болота, но в отличие от показателя «среднеквадратическое отклонение» позволяет учесть неоднородность поверхности на более детальном уровне и в некоторых случаях, в особенности на участках с относительно ровной поверхностью, в большей степени отражает различия между осушенными и естественными участками. Показатель «доля высот у средней поверхности» (в интервале от –5 до 5 см) является одним из параметров, отражающих закономерности распределения высотных отметок микрорельефа поверхности. Для естественных болотных микроландшафтов с нормальным распределением высот относительно средней поверхности значения данного показателя приближаются к 50%, при увеличении степени нарушения поверхности значение данного показателя в большинстве случаев уменьшается. Коэффициент асимметрии показывает преобладание положительных или отрицательных форм относительно средней поверхно-

сти болота, отражает отклонение от нормального закона распределения высотных отметок естественных болот, при котором значение коэффициента равно нулю.

Сравнение распределения высот микрорельефа естественных и осушенных участков проведено с использованием теста Манна–Уитни (U-test).

Статистический анализ результатов геоботанических описаний включал: сравнение встречаемости мохообразных и лишайников, высоты сосен, проективного покрытия видов травяно-кустарничковых ярусов между осушенными и естественными участками с использованием теста Манна–Уитни (U-test) и Краскела–Уоллиса.

Коэффициент флористической общности вычисляли по формуле Жаккара

$$Kj = c/(a+b-c),$$

где a – количество видов на первой пробной площадке, b – количество видов на второй пробной площадке, c – количество видов, общих для 1-й и 2-й площадок [27].

Статистическая обработка данных и графическое отражение результатов проведены с использованием пакета StatSoft STATISTICA 10.0 for Windows.

Результаты исследования

Проведенные исследования позволили выявить следующие особенности микрорельефа поверхности, структуры и видового состава естественных и осушенных верховых болот. Исследованные естественные участки представляют собой сосново-кустарничково-сфагновое болото. Древесный ярус представлен почти исключительно *Pinus sylvestris* высотой 3–4 м с единично встречающимися *P. sibirica* L. В кустарничковом ярусе преобладают *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench (проективное покрытие 20–30%) и *Ledum palustre* L. (проективное покрытие 10–20%). В моховом ярусе доминирует *Sphagnum fuscum* L. (встречаемость 60–70%), занимающий кочки, в межкочьях преобладают *S. angustifolium* (Russ.ex Russ.) S. Jens. (встречаемость 20%) и *S. magellanicum* Brid. (встречаемость 10–35%) с небольшой примесью зелёных мхов и лишайников (до 10%).

Для естественных участков характерен кочковатый микрорельеф, образованный слившимися моховыми подушками. Средняя высота положительных форм составляет 25–30 см, размер колеблется от 40×50 до 150×200 см и более. Значения показателей, отражающих распределение высот относительно средней поверхности (табл. 2) свидетельствуют о нормальном законе распределения значений высотных отметок, что является характерным для микрорельефа естественных сосново-кустарничково-сфагновых болот. Доверительный интервал при уровне значимости p=0,05 охватывает высоты от –14,7 до 13,9 см. Среднеквадратическое отклонение колебаний высот изменяется в пределах от 8,29 до 8,79 и в среднем составляет 8,61 (рис. 1, табл. 2).

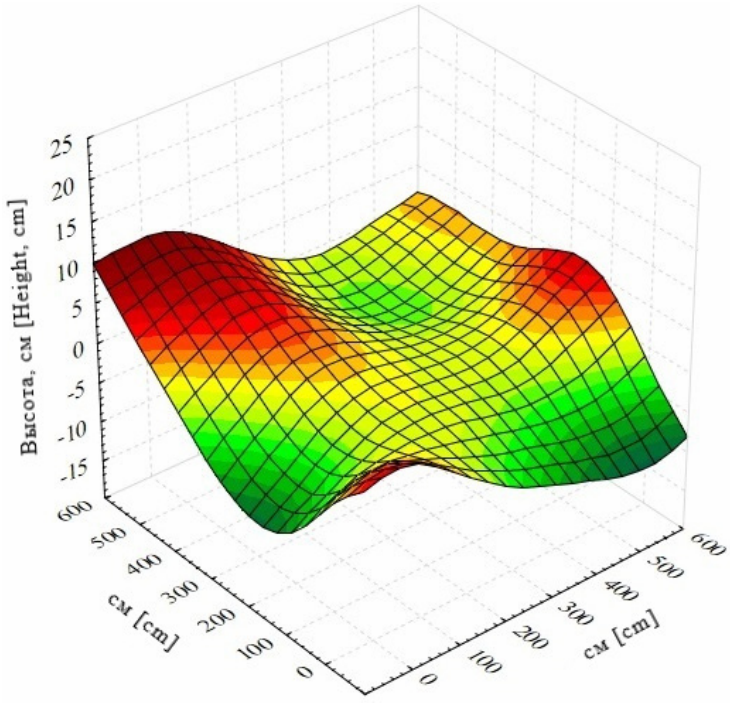

Рис. 1. Цифровая модель микрорельефа участка естественного болота (5×5 м)
[**Fig. 1.** Digital model of the microrelief of the natural bog site (5×5 m)]

Таблица 2 [Table 2]

Характерные показатели микрорельефа сосново-кустарничково-сфагновых верховых болот
[Microrelief parameters of pine-dwarf shrub-sphagnum bogs]

Показатели микрорельефа [Parameters of the microrelief]	Естественные участки (средние значения) [Natural sites (mean values)]	Осушенные участки [Drained sites]		
		Бакчарское болото [Bakchar bog]	Иксинское болото [Iksa bog]	Усть-Бакчарское болото [Ust-Bakchar bog]
Амплитуда, см [Amplitude, cm]	37,2	38,5	51,4	32,5
Амплитуда при уровне значимости p=0,05, см [Interval of altitudes at a significance level of p=0.05, cm]	27,7	28,6	38,4	20,3
Квартильный размах, см [Quartile scale, cm]	13,0	13,1	16,2	9,2
Квартильный интервал, см [Quartile interval, cm]	–6,4–6,6	–5,8–7,3	–9,3–6,8	–4,9–4,3

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Показатели микрорельефа [Parameters of the microrelief]	Естественные участки (средние значения) [Natural sites (mean values)]	Осушенные участки [Drained sites]		
		Бакчарское болото [Bakchar bog]	Иксинское болото [Iksa bog]	Усть-Бакчарское болото [Ust-Bakchar bog]
Среднеквадратическое отклонение, σ [Standard deviation, σ]	8,61	8,76	12,06	6,25
Среднее значение вертикального расчленения микрорельефа, см/м^2 [Average value of vertical fragmentation of the relief, cm/m^2]	23,1	22,0	30,3	16,0
Доля высот у средней поверхности (–5–5 см), % [Proportion of heights at the average surface (-5-5 cm), %]	43,5	37	28,9	29
Коэффициент асимметрии, λ_1 [Skewness, λ1]	0,12	0,06	0,54	0,3

Бакчарский болотный массив. Для мохово-лишайникового яруса осушенного участка Бакчарского болота характерно статистически значимое снижение (U-test, $p<0,05$) частоты встречаемости *S. angustifolium* (в 2 раза) и *S. magellanicum* Brid. (в 1,5 раза), увеличение *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. (в 5 раз) и *Cladonia deformis* Hoffm. (в 4 раза) в сравнении с естественным. Кустарничковый ярус осушенного участка Бакчарского болота отличается повышением (U-test, $p<0,005$) проективного покрытия *Vaccinium uliginosum* L. (в 7 раз) и *V. vitis-idaea* L. (в 10 раз) в сравнении с ненарушенными участками. Сравнение высоты *P. sylvestris* показало, что на естественных участках статистически значимо выше ($p<0,005$) количество деревьев высотой 3 и 4 м, на осушенных резко возрастает число деревьев выше 5 и до 1 м. Количество всходов сосны, напротив, выше на естественных участках ($p<0,05$). На осушенном участке наблюдается наличие сухих сосен высотой более 5 м, что свидетельствует о выпадении высоких деревьев, выросших в первые годы после осушения.

Микрорельеф условно естественного участка Бакчарского болота кочковатый, образован слившимися моховыми подушками с низкими обширными понижениями, в которых встречаются пушицевые кочки. Для участка характерен нормальный закон распределения высот относительно средней поверхности. Высотные отметки около средней поверхности в интервале от –5 до 5 см занимают 47% поверхности участка. Среднеквадратическое отклонение и среднее значение вертикального расчленения микрорельефа составляют 8,29 и 21,4 см/м^2 соответственно. Показатели расчлененности микрорельефа участка и распределения высот относительно средней по-

верхности являются характерными для естественных сосново-кустарничково-сфагновых болот.

Микрорельеф осушенного участка крупнокочковатый, образован слившимися моховыми подушками. Отличительной особенностью поверхности осушенного участка является наличие узких и извилистых межкочий и обширных моховых подушек, что отражается в распределении высот по интервалам относительно средней поверхности. Уменьшение доли высот у средней поверхности (от –5 до 5 см) до 37 % связано с наличием крутых склонов между положительными и отрицательными формами, а преобладание моховых подушек отражено в увеличении доли высот в интервале 5–10 см выше средней поверхности с 13 до 20 % от естественного к осушенному участку. Кроме того, отличается доверительный интервал при уровне значимости p=0,05 (–14,1–14,5 см на осушенном участке и –14,2–12,6 см на естественном). Для осушенного участка, в сравнении с условно естественным, характерны несколько большие значения амплитуды колебаний высот, среднеквадратического отклонения и среднего вертикального расчленения, но в целом различия в распределении высот статистически незначимы (U-test, p>0,05) (табл. 2, 3).

Таблица 3 [Table 3]

Различия показателей расчлененности микрорельефа между условно естественными и осушенными участками сосново-кустарничково-сфагновых верховых болот, %
[Differences in the microrelief fragmentation parameters of pine-dwarf shrub-sphagnum bogs]

Показатели микрорельефа [Parameters of the microrelief]	Бакчарское болото [Bakchar bog]	Иксинское болото [Iksa bog]	Усть-Бакчарское болото [Ust-Bakchar bog]
Амплитуда при уровне значимости p=0,05 [Interval of altitudes at a significance level of p=0.05]	6,3	27,1	–27,5
Среднеквадратическое отклонение [Standard deviation], σ	5,4	27,1	–28,1
Среднее значение вертикального расчленения микрорельефа [Average value of the vertical fragmentation of the relief]	2,7	7,2	–32,2

Иксинский болотный массив. Сравнение полученных данных по частоте встречаемости видов мохового яруса на участках Иксинского болота показало статистически значимое увеличение (U-test, p<0,005) доли *P. schreberi* (в 5 раз), *Polytrichum strictum* Brid. (в 2,7 раза) и *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H.Wigg. (в 7 раз) на осушенном участке. Такие виды, как *S. balticum*, *Dicranum polysetum* Sw. и *Cl. deformis****, напротив, снижают частоту встречаемости (U-test, p<0,005) на осушенном участке примерно в 2 раза. Такие

различия между двумя участками свидетельствуют о влиянии осушения на дренированном участках. Иксинское болото отличается от остальных рассматриваемых участков наличием обширных понижений глубиной до 20 см ниже средней поверхности (рис. 3), и этим объясняется присутствие на осушенном участке *Sphagnum balticum,* хотя его доля статистически значимо понижается (U-test, p<0,005) за счёт повышения – в 2 раза частоты встречаемости менее требовательного к влаге *S. magellanicum*. При сравнении проективного покрытия видов травяно-кустарничкового яруса на условно естественном и осушенном участке Иксинского болота выявились различия по всем видам, кроме *Ch. calyculata* (L.) Moench и *Ox. microcarpus* Turcz. ex Rupr., отражая статистически значимые отличия (U-test, p<0,005) между двумя участками по этим показателям. На осушенном участке проективное покрытие *V. uliginosum* увеличилось более чем в 10 раз, *L. palustre* L. и *V. vitis-idaea* в 2 раза. Особенностью кустарничкового яруса этого болота является высокое обилие *Andromeda polifolia* L. на условно естественном участке и присутствие этого вида на осушенном участке. В древесном ярусе двух участков отмечены статистически значимые различия (U-test, p<0,005). На осушенном участке наблюдается увеличение возобновления *P. sylvestris* примерно на 10%, в то же время количество подроста (до 1 м) снижается в 4 раза, и увеличивается, по сравнению с условно естественным, количество деревьев выше 4 м.

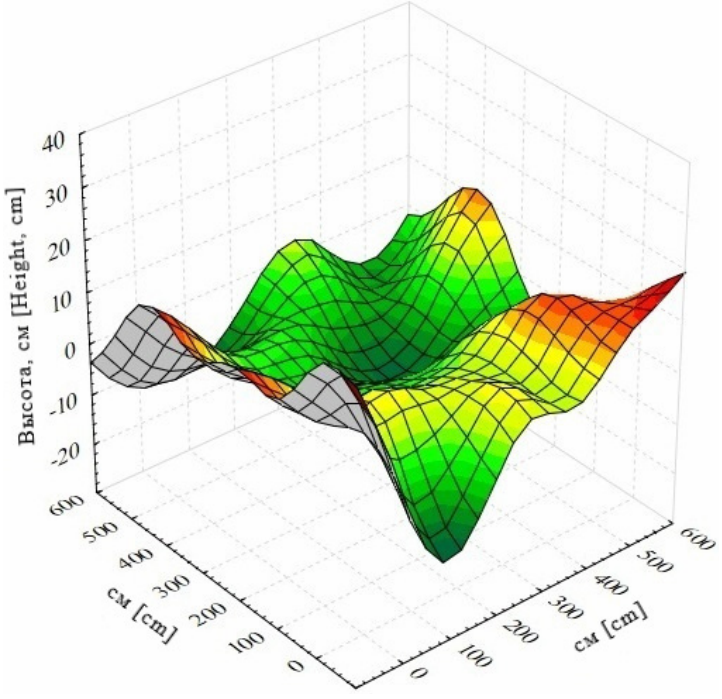

Рис. 2. Цифровая модель микрорельефа (5×5 м) осушенного участка Иксинского болота
[**Fig. 2.** Digital model of the microrelief of the drained site of Iksa bog (5×5 m)]

Микрорельеф условно естественного участка Иксинского болота мелкокочковатый, образован моховыми подушками, между которыми расположены округлые понижения. Значения показателей расчлененности микрорельефа являются характерными для естественных сосново-кустарничково-сфагновых болот.

Осушенный участок характеризуется крупнокочковатым микрорельефом, образованным слившимися моховыми подушками и отдельными приствольными повышениями (см. рис. 2). Обширные площади занимают неглубокие замкнутые понижения, соответствующие интервалу высот 0–10 см ниже средней поверхности, которому принадлежит 33% поверхности участка. В интервале высот –5–5 см сосредоточено менее 30% высотных отметок, что, как и на осушенном участке Бакчарского болота, связано с наличием крутых склонов между положительными и отрицательными формами. Микрорельеф отличается большей расчлененностью в сравнении с участками естественных болот. Кроме того, наблюдается неравномерное распределение высот относительно средней поверхности с преобладанием отрицательных форм микрорельефа (коэффициент асимметрии 0,54). В распределении высот выявлены статистически значимые различия между участками (U-test, $p<0,05$) (см. табл. 2, 3).

Усть-Бакчарское болото. Полученные нами данные по Усть-Бакчарскому болоту показали статистически значимое снижение (U-test, $p<0,05$) частоты встречаемости *S. fuscum* (почти в 2 раза), *S. angustifolium* (в 10 раз) и *S. magellanicum* (в 7 раз), увеличение доли *P. schreberi* (более чем в 2 раза) и всех видов *Cladonia*, кроме *C. stellaris* (Opiz) Pouzar & Vezda на осушенном участке. Анализ проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса Усть-Бакчарского болота выявил отличия (U-test, $p<0,005$) условно естественного и осушенного участков по всем видам. Снижение уровня болотных вод при осушении сказалось на уменьшении видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса. На осушенном участке встречается только 4 вида кустарничков: *Ch. calyculata*, *L. palustre, V. uliginosum, Ox. microcarpus.* Проективное покрытие всех отмеченных видов статистически значимо выше на более дренированном участке. *Ch. calyculata* увеличивает проективное покрытие в 3 раза, *L. palustre* – более чем в 10 раз*, V. uliginosum* – в 2 раза и *Ox. microcarpus* – более чем в 2 раза. Полностью выпадают на осушенном участке *A. polifolia, V. vitis-idaea, Rubus chamaemorus* L. и *Eriophorum vaginatum* L. Сравнение высоты *P. sylvestris* на Усть-Бакчарском болоте показало наибольшие различия в высоте деревьев 0,5; 1 и 2 м (U-test, $p<0,05$). На условно естественном участке в 4 раза больше количество деревьев ниже 0,5 м в сравнении с осушенным.

Микрорельеф условно естественного участка Усть-Бакчарского болота кочковатый, образован моховыми подушками, между которыми расположены вытянутые понижения. Для распределения высот характерно некоторое преобладание отметок выше средней поверхности, доля высот около

средней поверхности составляет 48%. Значения показателей расчлененности рельефа являются средними для естественных сосново-кустарничково-сфагновых болот, но качественная характеристика микрорельефа показала некоторое сходство со свойствами микрорельефа осушенных участков Бакчарского и Иксинского болот, что является индикатором влияния осушения в пределах всего болотного массива даже за пределами осушительной сети.

Осушенный участок характеризуется волнистым микрорельефом со слабо выраженными моховыми подушками и вытянутыми незамкнутыми понижениями. Значения показателей расчлененности микрорельефа понижаются от условно естественного участка к осушенному в среднем на 30%. Наблюдаются значимые различия в распределении высот между осушенным и условно естественным участками (U-test, $p<0,01$). На осушенном участке преобладают высоты ниже средней поверхности. Основная часть высот (около 80%) сосредоточена в интервале от –10 до 5 см (рис. 3, табл. 2, 3).

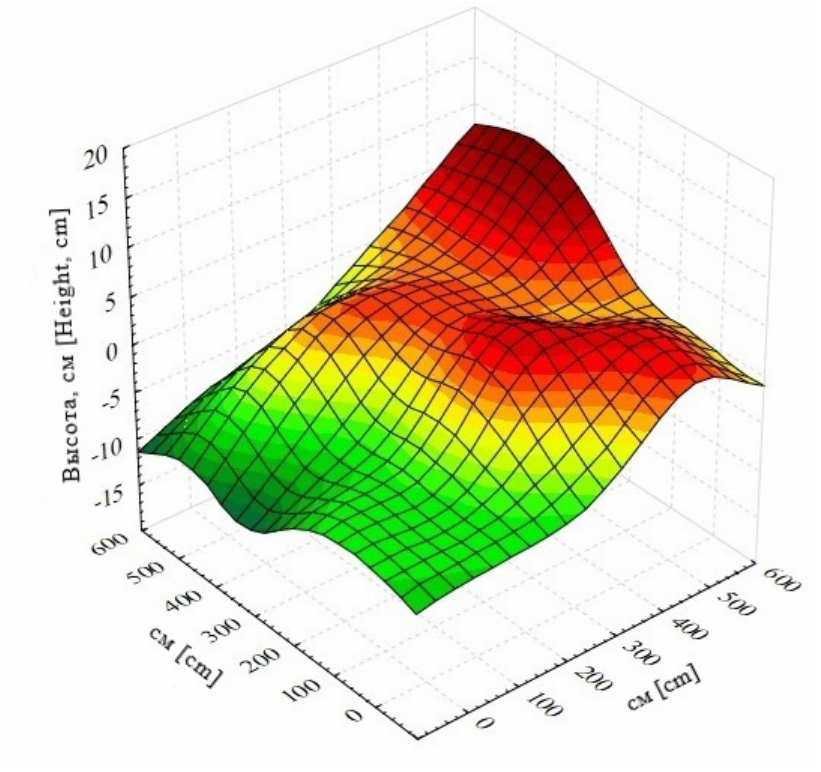

Рис. 3. Цифровая модель микрорельефа (5×5 м)
осушенного участка Усть-Бакчарского болота
[**Fig. 3.** Digital model of the microrelief of the drained site of Ust-Bakchar bog (5×5 m)]

Обсуждение результатов исследования

Анализ видового состава мохового и травяно-кустарничкового ярусов по отношению к фактору увлажнения [28–29] показал, что все рассмотренные виды принадлежат к двум экологическим группам [30]: 1) эумезофиты: *P. schreberi*, *Dicranum polysetum*, *Calypogeia sphagnicola* и *A. polifolia*; 2) гидромезофиты: *S. fuscum*, *S. rubellum*, *S. angustifolium*, *S. magellanicum*, *S. balticum*, *Ch. calyculata*, *L. palustre*, *V. uliginosum*, *Ox. microcarpus*, *R. chamaemorus* и *E. vaginatum.*

Сравнение растительности естественных и осушенных участков показало, что такие виды, как *Ch. calyculata*, *Ox. microcarpus*, *R. chamaemorus*, *E. vaginatum*, не изменили своего проективного покрытия в зависимости от степени осушения. При анализе полученных данных по частоте встречаемости видов мохового яруса выявлены статистически значимые различия по видам сфагновых мхов (*S. fuscum, S. angustifolium* и *S. magellanicum*) и по трём видам зелёных мхов (*P. schreberi*, *D. polysetum*, *P. strictum*). На осушенных участках снижается доля сфагновых мхов при повышении доли зелёных мхов (рис. 4).

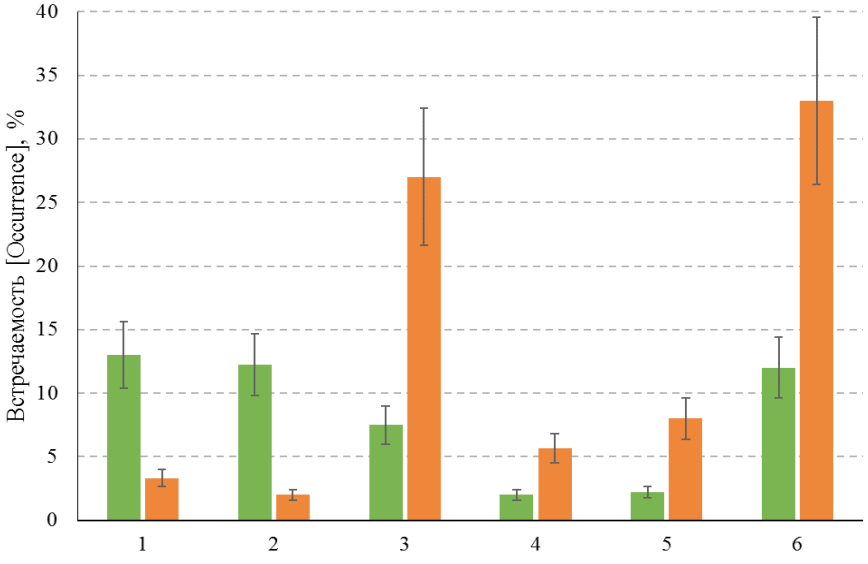

Рис. 4. Сравнение частоты встречаемости видов мохово-лишайникового яруса на естественных и осушенных участках (зеленым цветом показаны естественные участки, оранжевым – осушенные участки)
[**Fig. 4.** Comparison of species occurrence frequency in the moss-lichen layer at natural and drained sites (Green - Natural sites, orange - Drained sites)]:
1 – Sphagnum angustifolium; *2 – Sphagnum magellanicum*; *3 – Pleurozium schreberi*; *4 – Dicranum polysetum*; *5 – Polytrichum strictum*; *6 – Cladonia*

В результате анализа проективного покрытия видов травяно-кустарничкового яруса выявлено снижение доли *A. polifolia* и увеличение доли *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea* (рис. 5). Сравнение высоты *P. sylvestris* показало, что на участках гидролесомелиорации статистически значимо выше ($p<0,005$) количество деревьев высотой более 4 м. В возобновлении и подросте значимых различий по высоте и количеству деревьев не выявлено. При сравнении коэффициентов Жаккара (Kj) можно отметить, что различия флористического состава участков незначительны. Наибольшее сходство между осушенными и естественными участками наблюдается на Иксинском (Kj=0,72) и Бакчарском болотах (Kj=0,74), наибольшие отличия естественного и осушенного участков зафиксированы для Усть-Бакчарского болота (Kj=0,57).

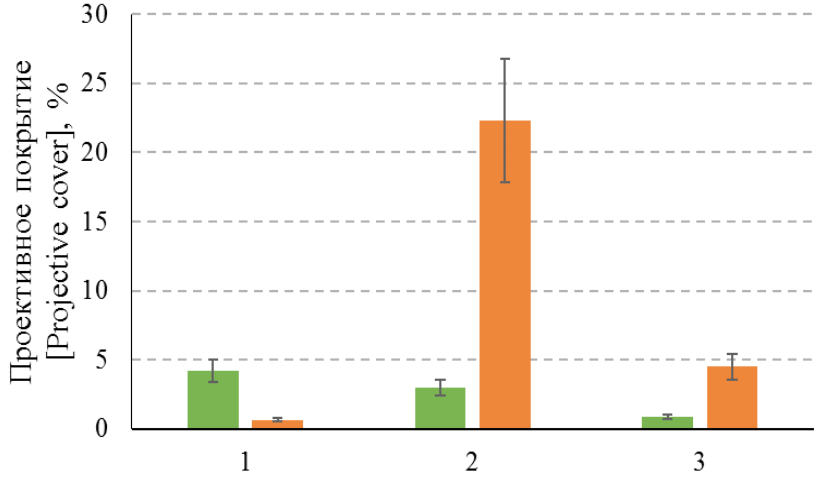

Рис. 5. Сравнение проективного покрытия видов травяно-кустарничкового яруса на осушенных и естественных участках (зеленым цветом показаны естественные участки, оранжевым – осушенные участки)
[**Fig. 5.** Comparison of the projective cover of species in the grass-shrub layer at natural and drained sites (Green - Natural sites, orange - Drained sites)]:
1 – *Andromeda polifolia*, 2 – *Vaccinium uliginosum*, 3 – *Vaccinium vitis-idaea*

Сопоставление частоты встречаемости видов мхов с положением в микрорельефе показало, что на большинстве естественных участков кочки покрыты *S. fuscum* на 80–90% с небольшой примесью *Calypogeia sphagnicola* и сфагновых мхов *S. angustifolium* и *S. magellanicum*, встречаемость которых увеличивается на склонах кочек. На осушенных болотах сфагны частично вытесняются зелёными мхами и лишайниками. На кочках частота встречаемости сфагновых мхов снижается на 15–20%, а в понижениях – на 5–30%.

Проведенное исследование позволило выявить характерные виды, являющиеся индикаторами влияния осушения и процессов восстановления верховых осушенных болот в условиях подзоны южной тайги Западной Сиби-

ри. В результате осушения произошло снижение доли *S. angustifolium* и *S. magellanicum* при повышении доли зелёных мхов; снижение доли *A. polifolia* и увеличение доли *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea*; снижение количества деревьев *P. sylvestris* в ранге высоты 3 и 4 м за счёт увеличения их количества в ранге 5 и 6 м. При восстановлении болот происходит увеличение доли *S. magellanicum*, при этом встречаемость сфагновых мхов возрастает в среднем в 2 раза, в травяно-кустарничковом ярусе возрастает проективное покрытие *A. polifolia,* в древесном ярусе происходит снижение высоты *P. sylvestris* путём выпадения деревьев высотой более 5 м.

Нужно отметить, что растения в условиях различных климатических зон изменяют свои экологические оптимумы [29] и не всегда одни и те же виды будут являться индикаторами процессов восстановления осушенных болот в разных регионах. Например, на верховом болоте в Латвии *A. polifolia*, наряду с другими вересковыми, применяется как индикатор осушенных болот [7]. Наши исследования показали обратную закономерность: под влиянием осушения возрастает проективное покрытие вересковых кустарничков, за исключением *A. polifolia* на участках гидролесомелиорации, а при более интенсивном осушении для добычи торфа из травяно-кустарничкового яруса полностью выпадают *A. polifolia*, *V. vitis-idaea*, *R. chamaemorus* и *E. vaginatum*.

Одним из индикаторов динамики и восстановления осушенных болот являются показатели расчленения поверхности. Поверхность болота может характеризоваться высокой амплитудой высотных отметок и различными тенденциями ее динамики, зависящим от ряда факторов, таких как продуктивность растительности, степень разложения верхнего слоя торфяной залежи и его проседание, напрямую связанных с уровнем болотных вод [31, 32]. Известно, что микрорельеф вызывает перераспределение тепла и влаги, что формирует различия в среде обитания растений. С этим связаны особенности состояния и продуктивности растительности и ее распределение внутри болотной фации. Микроповышения характеризуются довольно благоприятным режимом аэрации, влажности и температуры, поэтому их наличие оказывает положительное влияние на эффективность осушительной мелиорации [33]. Изменение параметров микрорельефа отражается на структуре фитоценозов и наоборот, что указывает на саморегуляцию процесса формирования поверхности болот [2, 4, 34–38]. После осушения резко изменяется соотношение видового состава нижних ярусов, что находится в тесной взаимосвязи с микрорельефом поверхности. На начальном этапе осушения уменьшается количество видов гидрофитов, характерных для влажных поверхностей понижений, в то время как виды, обитающие на повышениях, например кустарнички, даже увеличивают свой прирост. Эффект длительной гидролесомелиорации заключается в увеличении биоразнообразия древесного и мохово-лишайникового ярусов и уменьшение биоразнообразия травяно-кустарничкового яруса [2, 4].

Существует два пути трансформации поверхности болота в результате понижения уровня болотных вод, зависящих от интенсивности осушения и исходного состояния болота. Первый путь связан с опусканием и выравниванием микрорельефа поверхности. В начальный период после осушения осадка торфа вызвана физическим сжатием слоев после удаления воды. Позднее этот процесс связан с интенсивным разложением органического вещества торфа при увеличении аэробной микробной активности [2, 4]. Согласно [39], даже временное понижение уровня воды может привести к необратимому оседанию поверхности торфа. Величина опускания поверхности зависит от типа участка и его влажности, толщины слоя торфа, цели, эффективности и продолжительности осушения. По данным В.В. Пахучего, А.М. Пахучей [4], в южной подзоне тайги (Ленинградская область) на объектах с длительным влиянием осушения осадка торфа составляет 35–59 см, что согласуется с величинами опускания поверхности, измеренными на болотах Финляндии (7–70 см) [40]. Исследования С.И. Грабовик, О.Л Кузнецова [41], проведенные в пределах антропогенно нарушенных травяно-сфагновых болот Карелии, также показали выравнивание кочковатого микрорельефа в первые годы после осушения. Обратные тенденции в изменении свойств поверхности характерны для древесных верховых болот, где в первые 20–40 лет после осушения происходит усиление выраженности микрорельефа, который сглаживается только в процессе восстановления болота [35]. При понижении уровня воды возникает пространственная неоднородность деятельного слоя, которая в процессе развития может проявиться в изменении микрорельефа поверхности. В сухие периоды неоднородность деятельного слоя торфяной залежи развивается, а во влажные исчезает или сглаживается [42].

В результате проведенного исследования в пределах верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот Западной Сибири подтверждены общие закономерности трансформации поверхности осушенных болот, выявленные для других регионов. Отмечено возрастание показателей расчлененности микрорельефа от естественных к осушенным с целью гидролесомелиорации болотам, что может быть связано с увеличением продуктивности растительности на повышениях и некоторым опусканием поверхности в результате осадки торфа в понижениях в период после осушения. Осушение болота с целью добычи торфа привело к выравниванию поверхности в результате активизации процессов разложения и просадки верхних слоев торфяной залежи (см. табл. 3). Выявлены отличия в распределении высот относительно средней поверхности между осушенными и естественным участками. Для естественных болот характерен нормальный закон распределения высот с пропорциональным распределением положительных и отрицательных форм (коэффициент асимметрии 0,1), для осушенных характерно преобладание отрицательных форм микрорельефа (коэффициент асимметрии 0,3–0,54). Доля высот у средней поверхности уменьшается от естественных участков к

осушенным от 43 до 29%. Наибольшие различия между естественным и осушенным участками в расчлененности микрорельефа и распределении высот относительно средней и минимальной высоты поверхности характерны для Усть-Бакчарского болота, наименьшие – для Бакчарского. Количественные показатели, характеризующие расчленение поверхности и распределение высот микрорельефа осушенных участков в сравнении с естественными, отражают степень трансформации участка в результате понижения уровня болотных вод и тесно взаимосвязаны с процессами восстановления гидрологического режима. Полученные значения могут быть использованы как один из индикаторов при оценке состояния осушенных и восстанавливающихся верховых болот.

Таким образом, сравнительный анализ микрорельефа, структуры и видового состава растительного покрова естественных и осушенных участков сосново-кустарничково-сфагновых болот позволил выявить следующие тенденции их динамики. Процессы естественного восстановления осушенных сосново-кустарничково-сфагновых болот наблюдаются в пределах участков гидролесомелиорации на Бакчарском болоте и в меньшей степени на Иксинском болоте. На Усть-Бакчарском болоте восстановление осушенного участка не выявлено, что может быть связано с более значительным снижением уровня болотных вод, периодическими нарушениями поверхности и растительного покрова в результате пожаров. Кроме того, небольшая площадь Усть-Бакчарского болота обусловливает меньшую степень устойчивости и способность к самовосстановлению в сравнении с крупными верховыми болотными массивами.

Выводы

1. Проведенный анализ структуры и видового состава растительного покрова сосново-кустарничково-сфагновых верховых болот в пределах рассмотренных участков позволил выявить виды, являющиеся индикаторами осушения и процессов восстановления осушенных болот в условиях подзоны южной тайги Западной Сибири. Индикаторами влияния осушения являются снижение доли *Sphagnum angustifolium* и *S. magellanicum* при повышении доли зелёных мхов; снижение доли *Andromeda polifolia* и увеличение доли *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium vitis-idaea.* При восстановлении болот происходит увеличение встречаемости сфагновых мхов с возрастанием доли *Sphagnum magellanicum,* а также проективное покрытия *Andromeda polifolia.*

2. Отмечено возрастание показателей расчлененности микрорельефа от естественных к осушенным с целью гидролесомелиорации болотам, что может быть связано с увеличением продуктивности растительности и некоторым опусканием поверхности в результате осадки торфа в понижениях в период после осушения. Осушение болота с целью добычи торфа привело к выравниванию поверхности в результате активизации процессов разложения

и просадки верхних слоев торфяной залежи. При восстановлении болот показатели расчленения и распределения высот микрорельефа становятся близкими к значениям, характерным для аналогичных естественных участков.

3. В результате проведенных исследований на осушенных болотах выявлены процессы восстановления поверхности и растительного покрова на участках гидролесомелиорации (Бакчарский и Иксинский болотные массивы). Восстановление осушенного с целью добычи торфа участка Усть-Бакчарского болота не наблюдается.

Литература

1. Перспективное использование выработанных торфяных болот / под общ. ред. В.В. Панова. Тверь : Триада, 2013. 280 с.
2. Laine J., Vasander H., Laiho R. Long-Term Effects of Water Level Drawdown on the Vegetation of Drained Pine Mires in Southern Finland // Journal of Applied Ecology. 1995. Vol. 32, № 4. PP. 785-802. doi: 10.2307/2404818
3. Bacon K.L., Baird A.J., Blundell A., Bourgault M.-A., Chapman P.J., Dargie G., Dooling G.P., Gee C., Holden J., Kelly T., McKendrick-Smith K.A., Morris P.J., Noble A., Palmer S.M., Quillet A., Swindles G.T., Watson E.J., Young D.M. Questioning ten common assumptions about peatlands // Mires and Peat. 2017. Vol. 19 (12). PP. 1–23. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.253
4. Пахучий В.В., Пахучая Л.М. Лесоводство на заболоченных землях. СПб. : СПбГЛТУ, 2017. 232 с.
5. Williamson J., Rowe E., Reed D., Ruffino L., Jones P., Dolan R., Buckingham H., Norris D., Astbury S., Evans C.D. Historical peat loss explains limited short-term response of drained blanket bogs to rewetting // Journal of Environmental Management. 2017. № 188. PP. 278–286. doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.018
6. Anderson R., Peace A. Ten-year results of a comparison of methods for restoring afforested blanket bog // Mires and Peat. 2017. Vol. 19 (6). PP. 1–23. doi: 10.19189/MaP.2015.OMB.214
7. Stivrins N., Ozola I., Gałka M., Kuske E., Alliksaar T., Andersen T.J., Lamentowicz M., Wulf S., Reitalu T. Drivers of peat accumulation rate in a raised bog: impact of drainage, climate, and local vegetation composition // Mires and Peat. 2017. Vol. 19(8). PP. 1–19. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.262
8. Minayeva T.Yu., Bragg O.M., Sirin A.A. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity // Mires and Peat. 2017. Vol. 19 (1). PP. 1–36. doi: 10.19189/MaP.2013.OMB.150
9. Ефремов С.П., Ефремова Т.Т. Опыт анализа антропогенных сукцессий в лесоболотных экосистемах // Биогеоценология и ландшафтная экология: итоги и перспективы: материалы IV Международной конференции, посвященной памяти Ю.А. Львова, г. Томск, 2012 г. Томск : Томский государственный университет, 2012. С. 63–68.
10. Ефремова Т.Т., Аврова А.Ф. Оценка местообитаний болотных сосняков южной тайги Западной Сибири в целях гидролесомелиорации // Лесоведение. 2014. № 3. С. 31–38.
11. Vasander H. Plant biomass and production in virgin, drained and fertilized sites in a raised bog in southern Finland // Annales Botanici Fennici. 1982. № 19. PP. 103–125.
12. Бамбалов Н.Н., Ракович В.А. Геоэкологическое обоснование восстановления природных и хозяйственных функций нарушенных болот // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2007. № 1. С. 28–38.

13. Сирин А.А., Минаева Т.Ю., Возбранная А.Е., Барталев С.А. Как избежать торфяных пожаров // Наука в России. 2011. № 2. С. 13–21.
14. Каменнова И.Е., Минаева Т.Ю. О проекте «Восстановление торфяных болот в России в целях предотвращения пожаров и смягчения изменений климата» // Материалы конференции «IX Галкинские чтения» / под ред. Т.К. Юрковской, СПб. : СПбГЭТУ, 2018. С. 89–92.
15. Груммо Д.Г., Зеленкевич Н.А., Созинов О.В., Мойсейчик Е.В. Оценка и прогноз пожароопасной ситуации при оптимизации гидрологического режима верхового болота «Ельня» (Беларусь) // Социально-экологические технологии. 2016. № 4. С. 7–19.
16. Holden J., Burt T.P. Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability // Hydrol. Process. 2003. № 17. PP. 1227–1237.
17. Cooper M.D.A., Evans C.D., Zielinski P., Levy P.E., Gray A., Peacock M., Norris D., Fenner N., Freeman C. Infilled ditches are hotspots of landscape methane flux following peatland re-wetting // Ecosystems. 2014. № 17. PP. 1227–1241.
18. Гашкова Л.П., Синюткина А.А. Оценка трансформации осушенного верхового болота (на примере участка Бакчарского болотного массива) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 1(29). С. 164–179. doi: 10.17223/19988591/29/11
19. Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под общ. ред. М.В. Кабанова. Томск : Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. 230 с.
20. Сирин А.А., Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Глаголев М.В. О значении эмиссии метана из осушительных каналов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2012. Т. 3, № 2(6). EDCCrar0005
21. Синюткина А.А., Бурнашова Е.Н., Беленко А.А., Гашкова Л.П., Малолетко А.А. Оценка потенциальной пожароопасности осушенных болот Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 12. С. 45–53.
22. Kharanzhevskaya Yu.A. The effects of long-term drainage and restoration on water table level and water chemistry in the Vasyugan mire (Western Siberia) // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17, is. 31. PP. 663–668. doi: 10.5593/sgem2017/31/S12.083
23. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8: Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л. : Гидрометеоиздат, 1990. 360 с.
24. Ипатов В.С., Мирин Д.М. Описание фитоценоза : методические рекомендации : учеб.-метод. пособие. СПб. : СПбГУ, 2008. 71 с.
25. Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. Л. : Наука, 1969. 232 с.
26. Дюкарев Е.А., Кураков С.А., Харанжевская Ю.А. Дифференциальные измерители уровня болотных вод // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири : материалы Третьей Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2015. С. 72–75.
27. Розенберг Г.С. Поль Жаккар и сходство экологических объектов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. Бюл. № 1, т. 21. С. 190–202.
28. Ценофонд лесов Европейской России: характеристика экологических шкал. URL: http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.htm (дата обращения: 01.03.2018).
29. Бабешина Л.Г., Рогова Н.С., Рыжакова Н.К., Зверев А.А., Меркулов В.Г. Корреляционная зависимость между содержанием химических элементов в сфагновых мхах и их экологическими оптимумами по трофности и увлажнению // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 2 (14). С. 122–131.

30. Прокопьев Е.П. Экология растений (особи, виды, экогруппы, жизненные формы): учеб. Томск : Том. гос. ун-т, 2001. 340 с.
31. Синюткина А.А. Особенности микрорельефа болот таежной зоны Западной Сибири // География, история и геоэкология на службе науки и инновационного образования : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2012. С. 63–65.
32. Taminskas J., Linkeviciene R., Simanauskiene R., Jukna L., Kibirkstis G., Tamkeviciut˙M. Climate change and water table fluctuation: implications for raised bog surface variability // Geomorphology. 2017. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.12.026
33. Пахучий В.В. Факторы продуктивности осушенных насаждений Европейского северо-востока. Сыктывкар : Изд-во Коми научный центр УрО АН СССР, 1991. 104 с.
34. Горышина Т. К. Экология растений : учеб. пособие. М. : Высш. школа, 1979. 368 с.
35. Демаков Ю.П., Сафин М.Г., Богданов Г.А. Лесорастительные условия верховых болот Марийского Полесья // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 3. С. 27–37.
36. Kellner E. Surface energy fluxes and control of evapotranspiration from a Swedish *Sphagnum* mire // Agricultural and Forest Meteorology. 2001. № 110. PP. 101–123. doi:10.1016/S0168-1923(01)00283-0
37. Wessel D.A., Rouse W.R. Modelling evaporation from wetland tundra. Boundary Layer Meteorol. 1994. № 68. PP. 109–130.
38. Kellner E., Halldin S. Water budget and surface-layer water storage in a *Sphagnum* bog in central Sweden // Hydrol. Processes. 2002. № 1. PP. 87–103. doi: 10.1002/hyp.286
39. Kværner J., Snilsberg P. The Romeriksporten railway tunnel - Drainage effects on peatlands in the lake Northern Puttjern area // Engineering Geology. 2008. № 101. PP. 75–88. doi: 10.1016/j.enggeo.2008.04.002
40. Laine J., Minkkinen K., Puhalainen A., Jauhiainen S. Effect of forest drainage on the carbon balance of peatland ecosystems. The Finnish Research Programme on Climate Change // Second Progress Report. Helsinki : Publications of the Academy of Finland, 1994. PP. 303–308. doi:10.1080/02827589609382940
41. Грабовик С.И., Кузнецов О.Л. Постмелиоративная динамика растительности кочковато-топяных комплексов травяно-сфагновых болот Карелии // Стационарные исследования лесных и болотных биогеоценозов: экология, продукционный процесс, динамика : тзисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием, г. Сыктывкар, 2016 г. Сыктывкар, 2016. С. 8–9.
42. Панов В.В. Функциональная неоднородность деятельного слоя сфагновых болот // Вестник ТГПУ. 2008. Вып. 4 (78). С. 21–25.

Поступила в редакцию 05.12.2017 г.; повторно 12.03.2018 г.;
принята 25.07.2018 г.; опубликована 12.10.2018 г.

Авторский коллектив:
Синюткина Анна Алексеевна – канд. геогр. наук, с.н.с. научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (634050, г. Томск, Россия, ул. Гагарина, 3).
E-mail: ankalaeva@yandex.ru
Гашкова Людмила Павловна – м.н.с. научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (634050, г. Томск, Россия, ул. Гагарина, 3); аспирант кафедры географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет (634050, г. Томск, Россия, пр. Ленина, 36).
E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Малолетко Антон Алексеевич – н.с. научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (634050, г. Томск, Россия, ул. Гагарина, 3).
E-mail: maloletko.anton@yandex.ru
Магур Мария Геннадьевна – м.н.с. научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (634050, г. Томск, Россия, ул. Гагарина, 3).
E-mail: rubzova@rambler.ru
Харанжевская Юлия Александровна – канд. геол.-минерал. наук, с.н.с. научного отдела, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН (634050, г. Томск, Россия, ул. Гагарина, 3); доцент кафедры гидрологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет (634050, г. Томск, Россия, пр. Ленина, 36).
E-mail: kharan@yandex.ru

For citation: Sinyutkina AA, Gashkova LP, Maloletko AA, Magur MG, Kharanzhevskaya YA. Transformation of the surface and vegetation cover of drained bogs in Tomsk region. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology.* 2018;43:196-223. doi: 10.17223/19988591/43/10. In Russian, English Summary

Anna A. Sinyutkina[1], Lyudmila P. Gashkova[1,2], Anton A. Maloletko[1], Maria G. Magur[1], Yulia A. Kharanzhevskaya[1,2]

[1] Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, Tomsk, Russian Federation
[2] Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Transformation of the surface and vegetation cover of drained bogs in Tomsk region

Currently, drained wetlands are not used and there exist a danger of occurrence of unfavorable ecological situations. Despite the low efficiency and significant environmental damage, raised bogs were drained on the territory of Western Siberia in 1970-1980. In particular, areas for hydromelioration are about 150 km^2 in the Eastern parts of the Vasyugan Swamp. Of special concern is the lack of data about their current state and dynamics. Thus, the aim of this study was to evaluate the condition and processes of restoration of drained bogs with different degrees of anthropogenic load based on analyzing the characteristics of the surface microrelief, structure and species composition of plant communities.

The objects of the study were 7 key sites located within three bog massifs: Bakchar bog, Iksa bog and Ust-Bakchar bog (57°N 82°E) (See Table 1). Drainage for forest melioration was carried out within Bakchar bog and Iksa bog, and for peat extraction it was within Ust-Bakchar in 1970-1980. Drainage of peat deposits at all sites was carried out through the network of open channels. The process of self-restoration of drained bogs developed due to the lack of repair of the drainage network. Methods for assessing the condition and recovery of drained bogs based on the study of the microrelief structure and species composition of vegetation included identification of the degree of differences of parameters of the drained sites from the parameters identified for natural bogs. We conducted a field research during the growing season 2016 at key sites within the drainage network at an equal distance from the drainage channels (drained areas) and outside the drainage network (conditionally natural areas). The field study included geobotanical descriptions and levelling survey of the bog surface. Statistical analysis of the results of geobotanical descriptions included

a comparison of the occurrence of bryophytes and lichens, pine heights, projective cover of grass and shrub species between drained and natural areas using the Mann-Whitney test and the Kruskal-Wallis test. A comparison of the distribution of the heights of the microrelief of natural and drained sites was carried out using the Mann-Whitney test (U-test).

When analyzing the obtained data for the frequency of species occurrence in the moss layer, significant differences were revealed for the types of sphagnum mosses *(Sphagnum fuscum, S. angustifolium and S. magellanicum),* and three types of green mosses *(Pleurozium schreberi, Dicranum polysetum, Polytrichum strictum).* The proportion of sphagnum mosses reduced, while the proportion of green mosses increased at drained sites (See Fig. 4). The analysis of the projective cover of the grass-shrub layer showed a decline in the share of *Andromeda polifolia*, but the proportion of *Vaccinium uliginosum* and *V. vitis-idaea* increased at the drained sites (See Fig. 5). A comparison of *Pinus sylvestris* height showed that there were significantly more trees with a height of 3 and 4 m in natural areas; drained sites are characterized by an increase in the number of trees above 5 m. The characteristic parameters of the microrelief for natural and drained pine-shrub-sphagnum bogs are shown (See Table 2). A 1.2-fold increase in the parameters of the microrelief fragmentation from natural to drained for the purpose of forest hydromelioration was noted. This is, probably, associated with an increase in the productivity of vegetation at elevations and some lowering of the bog surface in depressions in the period after draining. The draining of bogs with the aim of peat extraction led to the leveling of the surface as a result of activating the processes of decomposition and lowering of the upper layers of peat deposits. Differences in the distribution of heights relative to the average surface between drained and natural sites are shown. Natural areas are characterized by a proportional distribution of positive and negative forms (coefficient of asymmetry 0.1); for drained ones, the predominance of negative forms of the microrelief (asymmetry coefficient 0.3-0.54) is inherent. The proportion of heights at the average surface decreases from natural areas to drained ones from 43% to 29%. Ust-Bakchar bog is characterized by the greatest differences between natural and drained sites in the fragmentation of the microrelief and the distribution of elevation relative to the average and minimum surface height; Bakchar bog is characterized by the smallest ones (See Fig. 1-3). Thus, as a result of the study, we detected plant species (*S. magellanicum* and *A. polifolia*) and the surface microrelief characteristics (fragmentation and fraction of heights near the average surface), indicating the restoration of disturbed bogs. The processes of natural restoration of drained pine-shrub-sphagnum bogs were observed within the areas of forest melioration at Bakchar bog and, to a lesser extent, at Iksa bog. At Ust-Bakchar bog, the restoration of the drained site was not identified, which may be due to a more significant decrease in the bog water level and recurring surface and vegetation cover damage caused by fires.

The paper contains 5 Figures, 3 Tables and 42 References.

Key words: restoration of wetlands; forest hydromelioration; fragmentation of bog surface; The Great Vasyugan Mire; sphagnum mosses; drainage channel.

References

1. *Perspektivnoe ispol'zovanie vyrabotannykh torfyanykh bolot* [Perspective use of developed peat bogs]. Panov VV, editor. Tver: Triada Publ.; 2012. 280 p. In Russian
2. Laine J, Vasander H, Laiho R. Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in Southern Finland. *Journal of Applied Ecology*. 1995;32(4):785-802. doi: 10.2307/2404818

3. Bacon KL, Baird AJ, Blundell A, Bourgault M-A, Chapman PJ, Dargie G, Dooling GP, Gee C, Holden J, Kelly T, McKendrick-Smith KA, Morris PJ, Noble A, Palmer SM, Quillet A, Swindles GT, Watson EJ, Young DM. Questioning ten common assumptions about peatlands. *Mires and Peat*. 2017;19(12):1-23. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.253
4. Pakhuchiy VV, Pakhuchaya LM. Lesovodstvo na zabolochennykh zemlyakh [Forestry on wetlands]. St. Petersburg: SPbGLTU Publ.; 2017. 232 p. In Russian
5. Williamson J, Rowe E, Reed D, Ruffino L, Jones P, Dolan R, Buckingham H, Norris D, Astbury S, Evans CD. Historical peat loss explains limited short-term response of drained blanket bogs to rewetting. *Journal of Environmental Management*. 2017;188: 278-286. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018
6. Anderson R, Peace A. Ten-year results of a comparison of methods for restoring afforested blanket bog. *Mires and Peat.* 2017;19(6):1-23. doi: 10.19189/MaP.2015.OMB.214
7. Stivrins N, Ozola I, Gałka M, Kuske E, Alliksaar T, Andersen TJ, Lamentowicz M, Wulf S, Reitalu T. Drivers of peat accumulation rate in a raised bog: impact of drainage, climate, and local vegetation composition. *Mires and Peat.* 2017;19(8):1-19. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.262
8. Minayeva TYu, Bragg OM, Sirin AA. Towards ecosystem-based restoration of peatland biodiversity. *Mires and Peat.* 2017;19(1):1-36. doi: 10.19189/MaP.2013.OMB.150
9. Efremov SP, Efremova TT. Opyt analiza antropogennykh suktsessiy v lesobolotnykh ekosistemakh [Experience in analyzing anthropogenic successions in forest-bog ecosystems]. In: *Biogeotsenologiya i landshaftnaya ekologiya: itogi i perspektivy*. Materialy IV Mezhdunarodnoy konferentsii [Biogeocenology and landscape ecology: results and perspectives. Proc. of the IV Int. Conf.]. Tomsk: Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2012. pp. 63-68. In Russian
10. Efremova TT, Avrova AF. Evaluation of wetland pine stand habitats in southern taiga of Western Siberia for hydrotechnical melioration. *Lesovedenie*. 2014;3:31-38. In Russian
11. Vasander H. Plant biomass and production in virgin, drained and fertilized sites in a raised bog in southern Finland. *Annales Botanici Fennici*. 1982;19:103-125.
12. Bambalov NN, Rakovich VA. Geoekologicheskoe obosnovanie vosstanovleniya prirodnykh i khozyaystvennykh funktsiy narushennykh bolot [Geoecological basis for restoring natural and economic functions of disturbed bogs]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 2007;1:28-38. In Russian
13. Sirin AA, Minaeva TYu, Vozbrannaya AE, Bartalev SA. Kak izbezhat' torfyanykh pozharov [How to avoid peat fires]. *Nauka v Rossii*. 2011;2:13-21. In Russian
14. Kamennova IE, Minaeva TYu. O proekte «Vosstanovlenie torfyanykh bolot v Rossii v tselyakh predotvrashcheniya pozharov i smyagcheniya izmeneniy klimata [On the project "Restoration of peat bogs in Russia to avoid fires and mitigate climate change"]. In: *«IX Galkinskie Chteniya».* Materialy konferentsii [IX Galkin Readings. *Proc. of the Conf.*]. Yurkovskaya TK, editor. St Petersburg: SPbGETU Publ.; 2018. pp. 89-92. In Russian
15. Grummo DG, Zelenkevich NA, Sozinov OV, Moyseychik EV. Evaluation and forecast of fire hazard in the optimization of the hydrological regime of raised bog «Yelnya» (Belarus). *Socialno-ecologicheskie technologii = Environment and human: Environmental studies.* 2016;4:7-19. In Russian
16. Holden J, Burt TP. Hydraulic conductivity in upland blanket peat: measurement and variability. *Hydrol. Process*. 2003;17:1227-1237. doi: 10.1002/hyp.1182
17. Cooper MDA, Evans CD, Zielinski P, Levy PE, Gray A, Peacock M, Norris D, Fenner N, Freeman C. Infilled ditches are hotspots of landscape methane flux following peatland re-wetting. *Ecosystems*. 2014;17:1227-1241.
18. Gashkova LP, Sinyutkina AA. Estimation of drained oligotrophic bog transformation (the example of the Bakchar bog area). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta.*

Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology. 2015;1(29):164-179. doi: 10.17223/19988591/29/11 In Russian, English Summary
19. *Great Vasyugan bog. Current state and development processes*. Kabanov MV, editor. Tomsk: Institut optiki atmosfery SO RAN Publ.; 2002. 230 p. In Russian
20. Sirin AA, Suvorov GG, Chistotin MV, Glagolev MV. Values of methane emission from drainage ditches. *Dinamika okruzhayushchey sredy i global'nye izmeneniya klimata.* 2012;3(2(6)):EDCCrar0005. In Russian, English Summary
21. Sinyutkina AA, Burnashova EN, Belenko AA, Gashkova LP, Maloletko AA. Assessment of potential fire risk of Tomsk region mires. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2015;326(12):45-53. In Russian, English Summary
22. Kharanzhevskaya YuA. The effects of long-term drainage and restoration on water table level and water chemistry in the Vasyugan mire (Western Siberia). In: *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*. Conf. Proc. 2017;17(31):663-668. doi: 10.5593/sgem2017/31/S12.083
23. *Nastavleniya gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Gidrometeorologicheskie nablyudeniya na bolotakh* [Manual for hydrometeorological stations and centers. Vol. 8. Hydro-meteorological observations at bogs]. Ivanova AB, editor. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1990. 360 p. In Russian
24. Ipatov VS, Mirin DM. Opisanie fitotsenoza: Metodicheskie rekomendatsii. Uchebno-metodicheskoe posobie [Description of phytocenosis: Methodological recommendations. Training manual]. Saint-Petersburg: SPbGU Publ.; 2008. 71 p. In Russian
25. Vasilevich VI. Statisticheskie metody v geobotanike [Statistical methods in geobotany]. Leningrad: Nauka Publ.; 1969. 232 p. In Russian
26. Dyukarev EA, Kurakov SA, Kharanzhevskaya YuA. Differential pressure sensors for bog water level study. In: *Problemy izucheniya i ispol'zovaniya torfyanykh resursov Sibiri.* Materialy Tret'ey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Problems of study and use of Siberian peat resources. Proc. of the Third Int. Sci. Conf. (Tomsk, Russia, 27 September-03 October 2017)]. Yekaterinburg; 2015. pp.72-75. In Russian
27. Rozenberg GS. Paul Jaccard and the similarity of ecological objects. *Samarskaya Luka: Problemy regional'noy i global'noy ekologii.* 2012;1(21):190-202. In Russian
28. *Tsenofond lesov evropeyskoy Rossii: kharakteristika ekologicheskikh shkal* [The cenofund of forests in European Russia: characteristics of ecological scales]. [Electronic resource]. Available at: http://mfd.cepl.rssi.ru/flora/ecoscale.html (accessed 01.03.2018)
29. Babeshina LG, Rogova NS, Ryzhakova NK, Zverev AA, Merkulov VG. Correlation dependence between content of chemical elements in sphagnum mosses and their ecological optima for soil fertility and soil moisture factors. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2011;2(14):122-131. In Russian, English Summary
30. Prokop'ev EP. Ekologiya rasteniy (osobi, vidy, ekogruppy, zhiznennye formy): Uchebnik [Plant ecology (individuals, species, ecological groups, life forms. A textbook]. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2001. 340 p. In Russian
31. Sinyutkina AA. Osobennosti mikrorel'efa bolot taezhnoy zony Zapadnoy Sibiri [Features of mire microreliefs in the taiga zone of Western Siberia]. In: *Geografiya, istoriya i geoekologiya na sluzhbe nauki i innovatsionnogo obrazovaniya*. Materialy nauch. konf. [Geography, history and geo-ecology in the service of science and innovative education. Proc. of the Sci. Conf.]. Krasnoyarsk. 2012. pp. 63-65. In Russian
32. Taminskas J, Linkeviciene R, Simanauskiene R, Jukna L, Kibirkstis G, Tamkeviciut˙M. Climate change and water table fluctuation: implications for raised bog surface variability. *Geomorfologiya = Geomorphology RAS.* 2017. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.12.026

33. Pakhuchiy VV. Faktory produktivnosti osushennykh nasazhdeniy Evropeyskogo Severo-Vostoka [Productivity factors of drained plantations in the European North-East]. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO AN SSSR Publ.; 1991. 104 p. In Russian
34. Goryshina TK. Ekologiya rasteniy: Ucheb. posobie [Plant ecology: A textbook]. Moscow: Vyssh. shkola Publ.;1979. 368 p. In Russian
35. Demakov YuP, Safin MG, Bogdanov GA. Forest vegetative conditions of mari forest area upland bogs. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management.* 2010;3:27-37. In Russian
36. Kellner E. Surface energy fluxes and control of evapotranspiration from a Swedish *Sphagnum* mire. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001;110:101-123. doi: 10.1016/S0168-1923(01)00283-0
37. Wessel DA, Rouse WR. Modelling evaporation from wetland tundra. *Boundary Layer Meteorol*. 1994;68:109-130.
38. Kellner E, Halldin S. Water budget and surface-layer water storage in a *Sphagnum* bog in central Sweden. *Hydrol. Processes*. 2002;1:87-103. doi: 10.1002/hyp.286
39. Kværner J, Snilsberg P. The Romeriksporten railway tunnel - Drainage effects on peatlands in the lake Northern Puttjern area. *Engineering Geology*. 2008;101:75-88. doi: 10.1016/j.enggeo.2008.04.002
40. Laine J, Minkkinen K, Puhalainen A, Jauhiainen S. Effect of forest drainage on the carbon balance of peatland ecosystems. *The Finnish Research Programme on Climate Change. Second Progress Report*. Helsinki: Publications of the Academy of Finland; 1979:303-308. doi: 10.1080/02827589609382940
41. Grabovik SI, Kuznetsov OL. Postmeliorativnaya dinamika rastitel'nosti kochkovato-topyanykh kompleksov travyano-sfagnovykh bolot Karelii [Post-meliorative dynamics of vegetation of hummocky-swampy complexes of grassy-sphagnum bogs in Karelia]. In: *Statsionarnye issledovaniya lesnykh i bolotnykh biogeotsenozov: ekologiya, produktsionnyy protsess, dinamika.* Tezisy dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, g. Syktyvkar, 2016. [Stationary studies of forest and bog biogeocenoses: ecology, production process, dynamics. Proc. of the All-Russian Sci. Conf. with Int. Part. (Syktyvkar, Russia, 14-23 September 2016]. Bobkova KS, Zagirova SV, Kuznecov MA, Sizoneko TA, Torlopova NV and Tuzhilkina VV, editors. Syktyvkar: Komi Scientific Center of the RAS Publ.; 2016. pp. 8-9. In Russian
42. Panov VV. Funktsional'naya neodnorodnost' deyatel'nogo sloya sfagnovykh bolot [Functional heterogeneity of the active layer of sphagnum bogs]. *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2008;4(78):21-25. In Russian

Received 05 December 2017; Revised 12 March 2018;
Accepted 25 July 2018; Published 12 October 2018

Author info:
Sinyutkina Anna A, Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Scientific Department, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 3 Gagarina Str., Tomsk 634050, Russian Federation.
E-mail: ankalaeva@yandex.ru
Gashkova Lyudmila P, Researcher, Scientific Department, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 3 Gagarina Str., Tomsk 634050, Russian Federation; Post-Graduate Student, Department of Geography, Tomsk State University, 36 Lenina Ave., Tomsk 634050, Russian Federation.
E-mail: gashkova-lp@rambler.ru

Maloletko Anton A, Researcher, Scientific Department, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 3 Gagarina Str., Tomsk 634050, Russian Federation.
E-mail: maloletko.anton@yandex.ru
Magur Maria G, Researcher, Scientific Department, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 3 Gagarina Str., Tomsk 634050, Russian Federation.
E-mail: rubzova@rambler.ru
Kharanzhevskaya Yulia A. Cand. Sci. (Geol.-min.), Senior Researcher, Scientific Department, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Biotechnologies, 3 Gagarina Str., Tomsk 634050, Russian Federation; Department of Hydrology, Tomsk State University, 36 Lenina Ave, Tomsk 634050, Russian Federation.
E-mail: kharan@yandex.ru