

УДК 911.52

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОСУШЕННЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Синюткина

Сибирский институт сельского хозяйства и торфа – филиал
Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Томск, Россия



Представлены результаты оценки интенсивности торфонакопления и степени трансформации верхних горизонтов торфяной залежи осушенных в 1980-х гг. верховых болот юго-восточной части Западной Сибири на основе анализа физико-технических свойств и ботанического состава торфа. Увеличение зольности и плотности торфа, смена ботанического состава являются индикаторами границы горизонтов торфяной залежи, сформированных до и после осушения. Выявлено, что мощность слоя торфа, сформированного после проведения осушительной мелиорации, изменяется от 0 до 25–30 см на разных ключевых участках. На шести из восьми изученных участков наблюдается процесс современной аккумуляции торфа, на двух участках скорость торфонакопления минимальна или оно полностью отсутствует.

Ключевые слова: осушительная мелиорация, восстановление болот, Томская область, влажность, зольность, степень разложения, ботанический состав, насыпная плотность.

Введение

Водно-болотные угодья являются ценными природными ресурсами, предоставляющими множество экологических услуг для флоры и фауны. В последнее время водно-болотные угодья стали популярной темой в дискуссиях об изменении климата, поскольку они включают 12% глобального углеродного пула [Anami et al., 2018]. В результате понижения уровня болотных вод при осушении болота становятся источником выбросов углекислого газа в атмосферу вследствие активизации микробиологических процессов в торфяной залежи [Bacon et al., 2017]. В настоящее время наблюдается повышение внимания к оценке более широкого спектра услуг, предоставляемых болотами, включая 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 [Бамбалов, Ракович 2007; Knox et al., 2017; Williamson et al., 2017]. Поэтому становится все более важным измерять и моделировать накопление углерода в торфяных почвах и проводить оценки динамики запасов торфа, чтобы обеспечить регулирование изменений углеродного цикла во времени в контексте мероприятий по смягчению последствий изменения климата [Keaney et al., 2013; Walter et al., 2016].

Для территории таежной зоны Западной Сибири, и в частности для Томской области, является актуальной проблема оценки состояния и процессов самовосстановления осушенных болот. Согласно данным дешифрирования космических снимков Landsat, осушенные с целью лесомелиорации и добычи торфа болота в пределах Томской области занимают более

500 км². Пространственное распределение осушенных болот по территории неравномерно, наибольшая их часть сосредоточена в южной части области. Самый северный участок гидролесомелиорации на верховом болоте расположен в окрестностях г. Колпашево. Большая часть осушенных верховых болот находится в пределах северо-восточных отрогов Большого Васюганского болота [Синюткина, 2013]. В настоящее время большинство осушенных болот не используется. Отсутствие ремонта дренажной сети способствовало ее заторфовыванию и зарастанию, что привело к частичному перекрытию каналов и развитию неконтролируемых процессов самовосстановления верховых болот. Неоднозначность оценок последствий как осушения, так и восстановления болот с точки зрения эмиссии парниковых газов и скорости современной аккумуляции торфа, потенциальной пожароопасности болот и динамики биоразнообразия [Синюткина и др., 2018] делает необходимым проведение исследований в области изучения современного состояния и тенденций самовосстановления биосферных функций осушенных верховых болот подзоны южной тайги Западной Сибири. В частности, целью данной работы является оценка интенсивности торфонакопления и степени трансформации торфяной залежи осушенных верховых болот юго-восточной части Западной Сибири на основе анализа физико-технических свойств и ботанического состава торфа.

Объекты и методы

Объекты исследования. Объектами исследования являются пять ключевых участков на осушенных и аналогичном естественном верховых болотах (рис. 1, табл. 1) в пределах междуречных равнин в бассейне

р. Чаи, левобережной надпойменной террасы р. Бакчар и правобережной второй надпойменной террасы р. Оби. Водораздельные равнины сложены песчано-глинистыми отложениями нижнечетвертичного и среднечетвертичного возраста демьяновской, тобольской, самаровской свит и отложениями ширтинского и тазовского горизонтов. Мощность отложений достигает 60 м. В пределах водораздельных равнин отложения болот залегают на плотных водонепроницаемых глинистых отложениях ширтинского и тазовского горизонтов. Абсолютные высоты поверхности изменяются в пределах 110–120 м. Поверхность равнин ровная, повсеместно интенсивно заболоченная. Террасы р. Бакчар вложены в среднечетвертичные отложения самаровской свиты и отложения ширтинского и тазовского горизонтов. Террасы сложены глинами, суглинками, песками. Поверхность террас ровная, сильно заболоченная. Аллювиальные отложения второй надпойменной террасы р. Оби залегают на среднечетвертичных отложениях тобольской свиты и сложены мелко и крупнозернистыми песками, галечниками, суглинками и глинами. Для правобережной террасы характерно преобладание песчаных отложений. Абсолютные высоты поверхности изменяются в пределах 70–80 м. Рельеф минеральной поверхности характеризуется наличием многочисленных понижений, занятых верховыми болотами,

сильной заболоченностью отличается тыловая часть террасы вдоль уступа третьей надпойменной террасы [Геолого-гидрогеологическое строение, 1964, 1965]. Климат исследуемой территории континентальный с длинной холодной зимой и коротким теплым летом. Средняя годовая температура в пределах изучаемой территории изменяется в интервале $-0,53$ до $0,09^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков от 475 до 519 мм [Булыгина, Ракович, 2007], суммарное годовое испарение достигает 350 мм [Возобновляемые..., 2007].

Территория исследования относится к подзоне южной тайги Западной Сибири. Растительный покров всех ключевых участков представлен сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом, иногда с примесью кедра и березы. Видовой состав характеризуется доминированием *Pinus sylvestris*, *Ledum palustre*, *Chamaedaphne calculata*, сфагновых мхов. Осушение участков проведено в 1980-х гг. сетью открытых каналов с целью лесомелиорации и добычи торфа. Отсутствие лесопосадочных работ и ремонта дренажной сети привело к развитию процессов самовосстановления осушенных болот. В зависимости от исходной нормы осушения и современного состояния дренажной сети болота находятся на разной стадии самовосстановления растительного покрова. В качестве объекта сравнения выбран ключевой участок в бассейне р. Ключ.

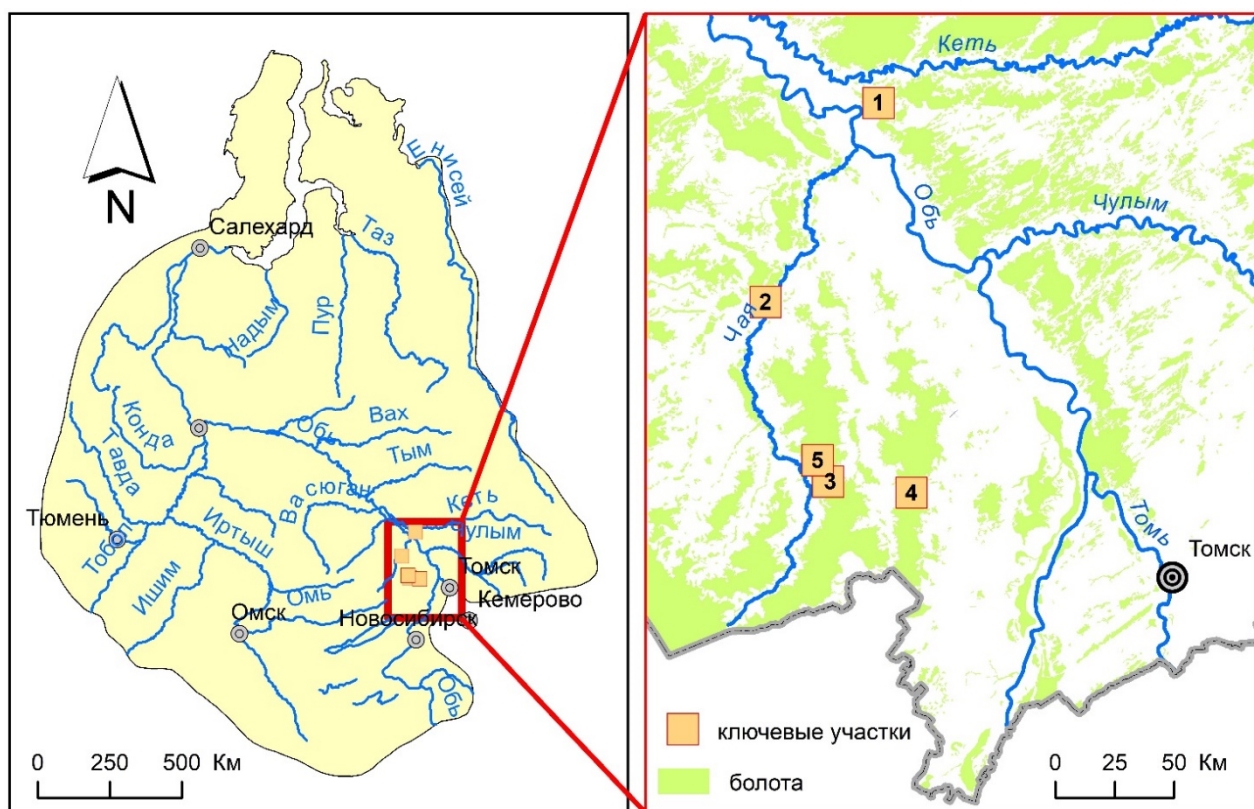


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования
Цифрами обозначены номера ключевых участков (см. табл. 1)

Fig. 1. Study area map
Numbers indicate the numbers of key sites (see table 1)

Таблица 1

Характеристика ключевых участков

Table 1

Key sites characteristics

Ключевой участок		Номер площадки	Координаты	Уровень болотных вод, см	Геоморфологический уровень	Антропогенная нагрузка
1	Колпашево (К)	1	58°19'07"N 83°06'37"E	–100	терраса р. Кеть	гидролесомелиорация
		2	58°19'10"N 83°06'36"E	–100		
2	Усть-Бакcharское болото (УБ)	1	57°34'41"N 82°16'26"E	–42	терраса р. Бакchar	осушение для добычи торфа
		2	57°34'33"N 82°16'22"E	–27		
3	Бакcharский болотный массив (ББ)	1	56°53'29"N 82°40'47"E	–26	междуречье Бакchar-Икса	гидролесомелиорация
		2	56°53'48"N 82°40'56"E	–11		
4	Иксинский болотный массив (ИБ)	1	56°50'25"N 83°15'18"E	–27	междуречье Икса-Шегарка	гидролесомелиорация
		2	56°51'15"N 83°15'55"E	–23		
5	Бакcharский болотный массив (фон)	1	56°58'24"N 82°36'41"E	–11	междуречье Бакchar-Икса	естественный участок

Ключевой участок № 1 (Колпашево) расположен на второй надпойменной террасе р. Оби в окрестностях г. Колпашево Томской области и включает верховое болото площадью 11 км². Осушенный участок площадью около 3,4 км² расположен в юго-западной части болота. Расстояние между осушительными каналами изменяется от 80–100 м на южной окраине болота и увеличивается до 400 м по направлению к центральной части. Полевые исследования проведены в южной части болота в пределах кедрово-соснового кустарничково-сфагнового (площадка К1) и сосново-кустарничково-сфагнового (площадка К2) микроландшафтов. Мощность торфяной залежи в пределах площадки К1 составила 1,5 м. Залежь сложена преимущественно древесно-травяно-моховыми торфами, степень разложения увеличивается с глубиной от 10 до 50%. Мощность торфяной залежи на площадке К2 составляет 2,35 м. Верхние горизонты торфяной залежи до глубины 0,80 м сложены преимущественно сфагновым, ниже распространены древесно-травяно-моховые торфы. Степень разложения увеличивается с глубиной от 3 до 50%. Торфяная залежь подстилается песчаными отложениями.

Ключевой участок № 2 расположен в пределах болота Усть-Бакcharское на левобережной террасе р. Бакchar. Площадь болота составляет 3,5 км², в том числе осушенная часть – 1,6 км². Болото осушено с целью добычи торфа, расстояние между осушительными каналами составляет 40 м. Полевые исследования проведены в осушенной центральной части болота в пределах сосново-кустарничкового (УБ1) и березово-соснового кустарничково-сфагнового (УБ2) микроландшафтов. Мощность торфяной залежи на площадке УБ1 составляет 3 м, до глубины 1,75 м

сложена верховым сфагновым торфом со степенью разложения 5–15%, ниже следуют слои травяно-мохового и древесно-травяно-мохового торфов со степенью разложения до 40%. Торфяная залежь на площадке УБ2 общей мощностью 1,7 до глубины 1 м сложена сфагновым торфом со степенью разложения 5–15%. Ниже следуют слои пушицево-сфагнового и древесно-травяно-мохового торфов, степень разложения увеличивается до 50%. Минеральное дно болота сложено тяжелым суглинком.

Ключевой участок № 3 расположен в пределах осушенной части Бакcharского болотного массива (отрог Большого Васюганского болота) на Бакchar-Иксинской водораздельной равнине. Площадь болотного массива около 2 600 км², осушенный с целью гидролесомелиорации участок площадью 77 км² расположен в центральной части болотного массива к югу от трассы Томск–Бакchar. Полевые исследования проведены в пределах сосново-кустарничково-сфагновых микроландшафтов на двух площадках в бассейне р. Гавриловка. Мощность торфяной залежи площадки ББ1 составляет 2,5 м. Залежь до глубины 1,75 м сложена сфагновым торфом со степенью разложения 5–25%. Ниже следуют слои травяно-сфагнового, травяного и древесно-травяного торфов, степень разложения увеличивается до 50% в придонном слое. Верхние слои торфяной залежи площадки ББ2 до глубины 1,25 м сложены сфагновым торфом со степенью разложения 5–20%. Ниже следуют слои древесно-травяного торфа, степень разложения увеличивается с глубиной до 40%.

Ключевой участок № 4 расположен в пределах осушенной части Иксинского болотного массива (отрог Большого Васюганского болота) на Икса-

Шегарской водораздельной равнине. Площадь болотного массива составляет около 1 700 км², в том числе осушенная часть занимает около 70 км² в центральной части болотного массива по обе стороны от трассы Томск–Бакчар. Полевые исследования проведены в пределах сосново-кустарничково-сфагновых микроландшафтов на двух площадках к югу от трассы. Мощность торфяной залежи на площадке ИБ1 составляет 3,3 м, до глубины 2,9 м сложена сфагновым торфом со степенью разложения 5–30%. Придонные слои сложены древесно-сфагновым и древесно-травяным торфами, степень разложения увеличивается до 50%. На площадке ИБ2 мощность торфяной залежи снижается до 1,3 м, сложена сфагновым, древесно-сфагновым и травяно-сфагновым торфами. Степень разложения изменяется в пределах 15–40%.

Ключевой участок № 5 расположен в естественной части Бакчарского болотного массива в пределах сосново-кустарничково-сфагнового микроландшафта. Мощность торфяной залежи составляет 2,4 м, до глубины 1 м сложена сфагновым торфом со степенью разложения 5–20%. Ниже по профилю слои торфа сменяются в следующем порядке: травяно-сфагновый, древесно-моховой, травяно-моховой, степень разложения повышается до 30%.

Методы полевых исследований. Полевые исследования и отбор образцов торфа проведены в период с 23 июля до 8 августа 2019 г. Полевые исследования включали в себя:

1. Определение мощности торфяной залежи, выделение стратиграфических горизонтов по видам и степени разложения торфа визуальным методом [von Post, 1922; Тюремнов, 1976] по всей мощности торфяной залежи. Определение степени разложения проведено путем характеристики пластических свойств торфа, содержания растительных остатков, количества и цвета выжимаемой воды. Вид торфа определялся по составу видимых растительных остатков, цвету и степени разложения образцов торфа.

2. Отбор образцов торфа с шагом 5 см до глубины 90 см с использованием торфяного бура для лабораторного определения ботанического состава и физико-технических характеристик торфа. Всего отобрано 162 образца. Глубина отбора образцов обусловлена однородным ботаническим составом торфяной залежи на всех участках до глубины 90 см.

3. Определение уровня болотных вод относительно средней поверхности болота с использованием метода линейной таксации [Наставления, 1990].

Методы лабораторных исследований. Лабораторный анализ торфа включал определение следующих характеристик: ботанический состав, степень разложения [ГОСТ 28245–89], зольность [ГОСТ 11306–83], влажность [ГОСТ 11305–2013], насыпная плотность [Chambers et al., 2011]. Оценка значимости различий физико-технических свойств торфа осушенных и естественного болот проведена с ис-

пользованием теста Mann–Whitney (U-test). Классификация площадок по критериям физико-технических свойств торфа выполнена методом кластерного анализа.

Результаты

Ботанический состав торфа. Значения физико-технических показателей определяются ботаническим составом торфа. Наименьшие значения насыпной плотности (0,05 г/см³), зольности (1,9%) и степени разложения (11%) и наибольшая влажность (92%) характерны для фускум торфа. Наличие древесных остатков способствуют увеличению зольности до 6% и уменьшению влажности до 83% при содержании древесины более 50%. Максимальная плотность характерна для древесного и травяного видов торфа (0,1 г/см³). Ботанический состав верхних горизонтов торфа естественного участка до глубины 65 см характеризуется преобладанием балтикум и магелланикум торфов. Последствия осушительной мелиорации проявляются в смене видового состава мхов и увеличении доли древесных остатков в составе верхних горизонтов торфяной залежи. Выявлены различия в характере трансформации ботанического состава торфа, отложившегося до и после осушения между ключевыми участками. На площадках ББ1, К2 отмечена смена балтикум и магелланикум торфов на фускум торф на глубине 25 см. Для площадки УБ2 характерно появление в составе торфа верхних горизонтов гипновых мхов с максимальной долей их присутствия на глубине 15–20 см. Ряд площадок (ИБ2, К1) характеризуется формированием древесного торфа в верхних горизонтах при практически полном отсутствии здесь остатков сфагновых мхов, что может являться индикатором практически полного отсутствия процесса современной аккумуляции торфяной залежи. На остальных площадках трансформация видового состава растений-торфообразователей не выявлена.

Влажность торфа. Среднее значение влажности торфа на всех осушенных участках составило 91,1%. Минимальная влажность (73%) наблюдается в верхнем слое торфа на площадке К1. Кроме того, низкие значения влажности (менее 80%) характерны для слоя торфа 25–35 см площадки К2. Максимальные значения влажности, превышающие 95%, отмечены на площадке ББ1 в слое торфа 30–70 см. Значимые различия влажности торфа между осушенными и естественными болотами характерны для всех ключевых участков, за исключением площадки ББ1 (U-test, $p < 0,05$) (рис. 2).

Минимальное значение средней влажности торфа верхнего горизонта торфяной залежи (до 30 см), составляющее 84%, наблюдается на площадке К1. Более высокие значения влажности верхних горизонтов (84–88%) характерны для площадок К2, УБ1,2, ИБ2. Минимальные значения средней влажности по

глубине 0–90 см отмечены на обеих площадках ключевого участка Колпашево, что объясняется просыханием торфяной залежи на значительную глубину при низком уровне болотных вод (см. табл. 1). Большие значения средней влажности по глубине 0–90 см (92–94%), близкие к естественному участку (95,4%), отмечены на площадках ББ1,2, ИБ1. Для всех объектов, за исключением площадки ББ2, характерно повышение значений влажности с глубиной в верхних слоях до глубины 20–30 см, ниже на большинстве участков наблюдается стабилизация значений влажности.

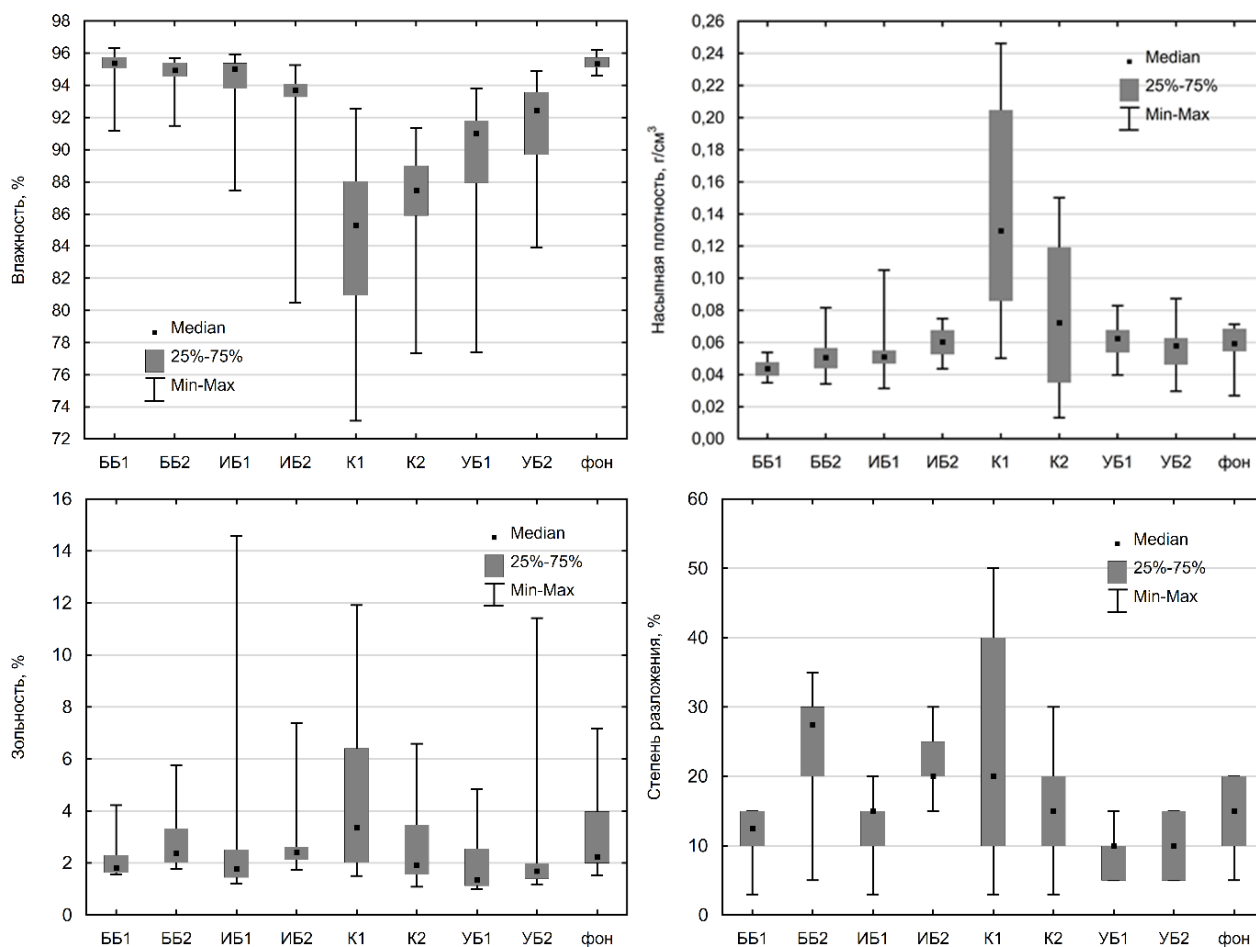


Рис. 2 Сравнение свойств торфа между ключевыми участками

Fig. 2 Comparison of peat properties between key sites

Насыпная плотность торфа. Плотность торфа осушенных болот изменяется в пределах 0,01–0,25 г/см³. По результатам кластерного анализа (см. рис. 3) в отдельную группу выделяются обе площадки ключевого участка Колпашево, для которого характерны высокие значения и максимальные амплитуды колебаний плотности торфа (0,13–0,20 г/см³). Отмечено значимое превышение средней плотности над фоновым участком в 2,3 раза. При этом в приповерхностном слое торфяной залежи (5–10 см) на площадке К2 отмечено минимальное зна-

чение плотности среди ключевых участков, что, вероятно, объясняется высокой продуктивностью сфагновых мхов. Максимальные значения плотности наблюдаются на площадке К1 на глубинах 65–90 см. Это объясняется увеличением доли древесных остатков в ботаническом составе торфа на данной глубине, а также может быть связано с продолжающимся уплотнением торфяной залежи не только приповерхностных горизонтов, но и в более глубоких слоях в связи с низкими значениями уровня болотных вод.

Второй кластер объединяет все остальные площадки, включая фоновый участок. Значимые различия в значениях плотности в слое торфа 0–90 см между фоновыми и осушенными участками характерны для площадок ББ1,2, ИБ 1, К1. При этом плотность может отличаться как в большую, так и меньшую сторону (см. рис. 2). Меньшая плотность торфа на осушенных болотах в сравнении с фоновым может объясняться меньшей плотностью фукум торфа в сравнении с магелланикум и балтикум.

На осушенных болотах в верхнем слое торфа отмечаются тенденции к увеличению значений плотности от поверхности в среднем до глубины 25 см. Горизонты максимальных значений плотности в пределах верхних слоев торфяной залежи различаются между участками и в большинстве случаев соответствуют глубинам 15–25 см. Увеличение плотности на данных глубинах на одних ключевых участках соответствует слою торфа с увеличением доли древесных остатков в составе сфагнового торфа

(например, ИБ1), на других увеличение плотности объясняется сменой сфагнового торфа на гипновый, вероятно, отложившийся во время максимального влияния осушительной мелиорации в первые годы после осушения (например УБ2). На площадках ключевого участка ББ увеличение плотности торфа на глубинах 15–25 см не связано с существенным изменением ботанического состава торфа и, вероятно, произошло путем механического уплотнения торфяной залежи в период низкого уровня болотных вод в первые годы после осушения. На площадках УБ1 и ИБ2 максимальные значения плотности отмечены в поверхностном слое и на глубине 5–10 см соответственно, что может свидетельствовать об отсутствии процессов современной аккумуляции торфа или их минимальной скорости. На естественном болоте слой торфа с повышенной плотностью не выделяется, плотность здесь закономерно увеличивается с глубиной от 0,02 г/см³ в приповерхностном слое до 0,065 г/см³ на глубине 70–90 см.

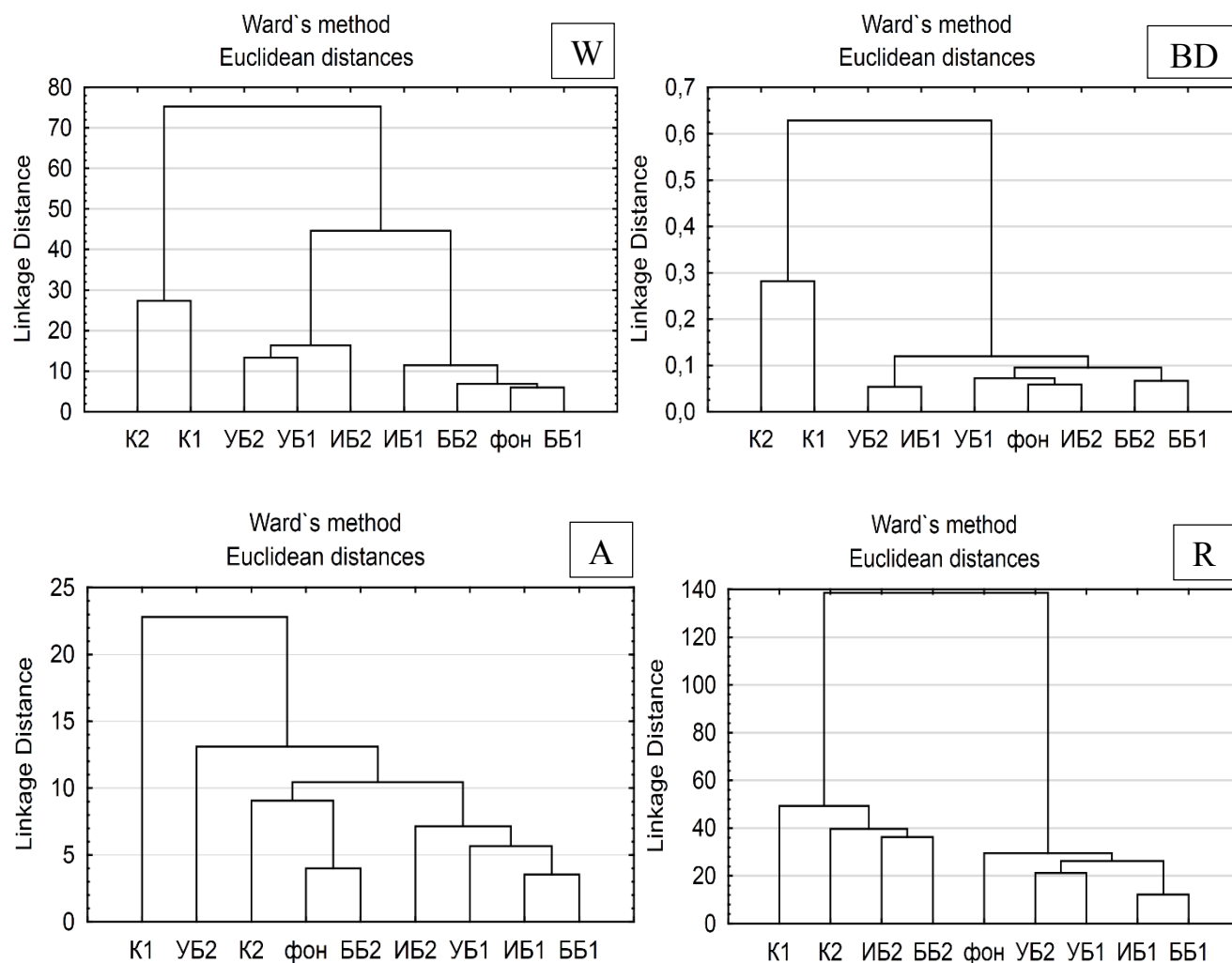


Рис. 3 Результаты кластерного анализа по показателям физико-технических свойств торфа

W – влажность, BD – насыпная плотность, A – зольность, R – степень разложения

Fig. 3 Results of cluster analysis by indicators of physical and technical peat properties

W – water content, BD – bulk density, A – ash content, R – peat decomposition degree

Зольность торфа. Среднее значение зольности для осушенных болот ключевых участков составляет 2,7% и изменяется в пределах от 1,0 (К2 на глубине 5–10 см) до 12% (К1 на глубине 75–80 см). Значимые различия между значениями зольности осушенных и фоновых участков характерны для площадок ИБ1, УБ1,2 (см. рис. 2). По результатам кластерного анализа в отдельный кластер объединяются площадки УБ2 и ИБ1, отличающиеся большими амплитудами колебаний зольности по глубине в сравнении с остальными участками. Площадка К1, характеризующаяся максимальным средним значением зольности по глубине (4,1%), не вошла ни в один из выделенных кластеров. В один подкластер с фоновым участком вошла площадка ББ2. Для большинства осушенных участков является характерным увеличение зольности на глубине от 10 (ИБ 2) до 35 см (К2). На площадке УБ1 максимальное значение зольности отмечено в поверхностном слое торфа, что является индикатором отсутствия процесса современной аккумуляции торфа (см. рис. 3).

Степень разложения. Степень разложения торфа осушенных болот изменяется в пределах 3–45% со средним значением 16%. Максимальные значения степени разложения характерны для слоя торфа глубже 75 см на отдельных ключевых участках и согласуются со сменой ботанического состава торфа со сфагнового на древесно-сфагновый. Для всех участков отмечено увеличение степени разложения с глубиной. Резкое увеличение степени разложения с 3–5 до 15–20% происходит в слое торфа на глубине 20–30 см. Значимые превышения степени разложения осушенных болот над естественным характерны только для площадок УБ1,2 и К1. На остальных болотах отмечаются незначимые различия в степени разложения как в большую, так и в меньшую сторону в сравнении с фоновой площадкой (см. рис. 2).

Обсуждение

Осушение болот приводит к изменению структуры и физических свойств торфяной залежи. В результате снижения уровня болотных вод значительная часть отложений попадает в зону аэрации, происходят осадка и уплотнение торфа, увеличение насыпной плотности в первую очередь верхних горизонтов залежи [Иванов, 1975]. Усиленное разложение органического вещества может привести к изменению питательного режима и видового состава растительного покрова, увеличению выбросов углекислого газа в атмосферу [Zajac et al., 2018]. Пониженное содержание влаги в верхнем слое торфа тормозит развитие сфагновых мхов, являющихся основными растениями-торфообразователями, в результате чего аккумуляция торфяной залежи на осушенных болотах снижается [Mäkilä et al., 2018].

Основными характеристиками, отражающими трансформацию торфяной залежи в результате осушения, являются насыпная плотность, степень разложения, влажность и зольность торфа. В частности, определение насыпной плотности торфа имеет важное значение для исследований, требующих количественного определения компонентов биогеохимического цикла. Плотность органического вещества (беззольная насыпная плотность) является индикатором процессов разложения торфа и прошлых условий влажности поверхности. Хорошо сохранившийся торф имеет тенденцию к низкой плотности органического вещества, и отложения такого торфа, вероятно, происходили во влажных условиях, способствующих быстрому захоронению органического вещества [Chambers et al., 2011]. Для естественных верховых болот является характерным увеличение зольности, степени разложения и плотности торфа с глубиной [Романов, 1961]. На осушенных и самовосстанавливающихся болотах данные закономерности нарушаются.

Результаты исследования показали, что наименьшими значениями влажности характеризуется ключевой участок Колпашево, средними – Усть-Бакчар, высокими – Бакчарский и Иксинский болотные массивы. Влажность торфа главным образом определяется расстоянием между осушительными каналами и удаленностью площадки от магистрального канала. Наиболее близкое состояние к естественному болоту по критерию влажности торфа характерно для ключевого участка в пределах осушенной части Бакчарского болотного массива. Насыпная плотность торфа характеризует скорость аккумуляции торфа и находится в прямой зависимости с зольностью и степенью разложения. Увеличение плотности в слое торфа на глубинах до 25 см соответствует периоду формирования свойств верхнего горизонта торфяной залежи во время максимального влияния осушения и связанной с ним осадки торфяной залежи в слоях торфа, расположенных выше уровня болотных вод. Динамика значений зольности по глубине с максимальным значением в слое 15–35 см является индикатором трансформации слоя торфа, находящегося на поверхности в период первых лет после осушения и в целом согласуется с закономерностями изменения плотности по глубине.

По результатам исследования выявлено, что слой торфа, сформированный после проведения осушительной мелиорации, изменяется от 0 до 25–30 см на разных ключевых участках. Анализ закономерностей изменения показателей плотности и зольности с глубиной показал, что на шести из восьми рассмотренных осушенных площадок наблюдается процесс современной аккумуляции торфа, ее максимальная скорость характерна для площадок ББ1, ИБ1, УБ2. Максимальное значение плотности и зольности в поверхностном слое, наличие в нем значительной

доли древесных остатков могут свидетельствовать об отсутствии современной аккумуляции торфа и даже продолжающейся деградации торфяной залежи, что наиболее выражено на площадке УБ1 и в меньшей степени проявляется на площадке ИБ2, где максимальные значения плотности и зольности отмечены на глубине 5–10 см.

Заключение

В результате исследования показано, что оценка скорости аккумуляции возможна путем определения глубины слоя торфа, сформированного в период после осушения, на основе анализа физико-технических характеристик и ботанического состава торфа. Индикаторами данного слоя являются повышение значений зольности и плотности торфа относительно средних значений по глубине 0–90 см, смена видового состава мхов в ботаническом составе торфяной залежи, связанная с появлением менее влаголюбивых видов сфагновых и гипновых мхов, а также увеличение доли древесных остатков в слое торфа, сформированного после осушения. Анализ трансформации физико-технических свойств торфа осушенных болот в пределах ключевых участков показал,

что состояние торфяной залежи, наиболее близкое к естественному болоту, характерно для ключевых участков в пределах Иксинского и Бакчарского болотных массивов, большие различия характерны для Усть-Бакчарского и болота в окрестностях г. Колпашево. Отмечено, что в пределах одного болотного массива могут наблюдаться значительные различия в характере трансформации в результате осушения, что может быть связано с исходным состоянием болот и расположением площадок в пределах осушительной сети. Данная особенность наиболее выражена на ключевых участках Усть-Бакчарское и Колпашево.

Полученные в рамках выполнения исследования результаты будут использованы для выявления взаимосвязей между характеристиками растительного покрова и верхним горизонтом торфяной залежи, разработки классификации ключевых участков по степени нарушенности и интенсивности самовосстановления функций болот как основы для создания обучающих выборок для дешифрирования осушенных болот и проведения геоинформационного моделирования процессов аккумуляции / деградации торфяной залежи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 19-77-00010.

ЛИТЕРАТУРА

- Бамбалов Н.Н., Ракович В.А.** Геоэкологическое обоснование восстановления природных и хозяйственных функций нарушенных болот // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2007. № 1. С. 28–38.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швеи Н.В.** Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России : свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394.
- Возобновляемые** ресурсы тепловлагообеспеченности Западно-Сибирской равнины и динамика их характеристик / И.В. Карнацевич, О.В. Мезенцева, Ж.А. Тусупбеков, Г.Г. Бикбулатова; под общ. ред. О.В. Мезенцевой. Омск : Изд-во ОмГАУ, 2007. 268 с.
- Геолого-гидрогеологическое строение** и полезные ископаемые листа О-44-29. Томск, 1964. Т. 1. 527 с.
- Геолого-гидрогеологическое строение** и полезные ископаемые Колпашевского Приобья. Томск, 1965. Т. 1. 403 с.
- ГОСТ 11305–2013.** Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги. М. : Стандартинформ, 2014. 8 с.
- ГОСТ 11306–83.** Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М. : Гос. стандарт Союза ССР, 1983. 8 с.
- ГОСТ 28245–89.** Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. 2-е изд. М. : Стандартинформ, 2006. 7 с.
- Иванов К.Е.** Водобмен в болотных ландшафтах. Л. : Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
- Наставления** гидрометеорологическим станциям и постам. Л. : Гидрометеиздат, 1990. Вып. 8: Гидрометеорологические наблюдения на болотах. 360 с.
- Романов В.В.** Гидрофизика болот. Л. : Гидрометеиздат, 1961. 360 с.
- Синюткина А.А.** Оценка состояния и пространственного размещения антропогенно измененных болотных геосистем Томской области // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 25–26 апреля 2013 г.). Красноярск, 2013. С. 85–88
- Синюткина А.А., Гашкова Л.П., Малолетко А.А., Магур М.Г., Харанжевская Ю.А.** Трансформация поверхности и растительного покрова осушенных верховых болот юго-востока Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 43. С. 196–223.
- Тюренов С.Н.** Торфяные месторождения. М. : Недра, 1976. 488 с.
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B.** Spectral analysis of wetland using multi-source optical satellite imagery // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2018. 144. P. 119–136.
- 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). P. 1–23. DOI: 10.19189/MaP.2016.OMB.253
- Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z.** Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeoecological studies of climate and peatland carbon dynamic // Mires and Peat. 2011. V. 7. Article 07. P. 1–10.
- Keaney A., McKinley J., Graham C., Robinson M., Ruffell A.** Spatial statistics to estimate peat thickness using airborne radiometric data // Spatial Statistics. 2013. V. 5. P. 3–24.

Knox S.H., Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. Using digital camera and Landsat imagery with eddy covariance data to model gross primary production in restored wetlands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. V. 237. P. 233–245.

Mäkilä M., Säävuori H., Grundström A., Suomi T. Sphagnum decay patterns and bog microtopography in south-eastern Finland // *Mires and Peat*. 2018. V. 21. Article 13. P. 1–12.

Walter J., Hamann G., Lück E., Klingenfuss C., Zeitz J. Stratigraphy and soil properties of fens: Geophysical case studies from northeastern Germany // *Catena*. 2016. V. 142. P. 112–125.

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. P. 278–286. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.018

von Post L. The Swedish Revolution of the Geological Survey, and some of its findings // *The Swedish Mosque Society Association's Journal*. 1922. V. 1. P. 1–27.

Zajac E., Zarzycki J., Ryzek M. Substrate quality and spontaneous revegetation of extracted peatland: case study of an abandoned Polish mountain bog // *Mires and Peat*. 2018. V. 21. Article 12. P. 1–14.

Автор:

Синюткина Анна Алексеевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиала СФНЦА РАН, Томск, Россия.

E-mail: ankalaeva@yandex.ru

Geosphere Research, 2020, 1, 78–87. DOI: 10.17223/25421379/14/6

A.A. Sinyutkina

*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat-branch of Siberian Federal Scientific Centre
of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia*

ESTIMATION OF THE RAISED BOGS PEAT DEPOSIT TRANSFORMATION OF WEST SIBERIA SOUTH-EASTERN PART

The research was carried out with the financial support of the RSF in the framework of the scientific project No. 19-77-00010.

The estimates ambiguity of the consequences of both mires drainage and restoration in terms of greenhouse gas emissions and the rate of modern peat accumulation, potential fire hazard, and biodiversity dynamics makes it necessary to conduct research on the current state and trends of self-recovery of biosphere functions of drained raised bogs in the southern taiga subzone of West Siberia. The goal of this work is to assess the intensity of peat accumulation and the degree of transformation of peat deposits within the drained raised bogs the South-Eastern part of West Siberia based on the analysis of the physical properties and botanical composition of peat.

The objects under study are 8 key sites in drained and similar natural pine-shrub-sphagnum raised bog. The species composition is characterized by the dominance of *Pinus sylvestris*, *Ledum palustre*, *Chamaedaphne caliculata* and sphagnum mosses. The area under study were drained in 1980 by a network of open channels for the purpose of forest melioration and peat extraction. The lack of planting and repair of the drainage network has led to the development of self-recovery processes in drained mires.

Field studies of the sites included the access of peat deposit depths, selecting stratigraphic layer by type and degree of decomposition of peat by visual method; sampling peat in steps of 5 cm to a depth of 90 cm using a Russian peat corer. Laboratory analysis of peat included determination of the following characteristics: Botanical composition, degree of decomposition, ash content, water content, bulk density. We take analyzed a total of 162 peat samples. The significance of differences in the physical properties of peat in drained and natural bogs was assessed using the Mann-Whitney test (U-test). Classification of sites by criteria of physical properties of peat was performed by cluster analysis.

The consequences of drainage are manifested in a change in the species composition of mosses and an increase in the proportion of wood residues in the peat deposit upper layer. On two sites, the change of balticum and magellanicum peat to fuscum peat at a depth of 25 cm was noted. The other site is characterized by the appearance of upper layer of green mosses in the peat composition with a maximum share of their presence at a depth of 15–20 cm. Two sites are characterized by the formation of wood peat in the upper layer, with almost complete absence of sphagnum moss residues here, which can be an indicator of the almost complete absence of the process of peat deposits modern accumulation.

As a result of the study, it is shown that the bulk density of peat characterizes the rate of accumulation of peat and is directly related to the ash content and the degree of decomposition. The increase in density in the peat layer at depths up to 25 cm corresponds to the period of peat accumulation during the maximum effect of drainage. The change in ash content with depth and a maximum value in the layer of 15–35 cm is an indicator of the transformation of the peat layer located on the surface during the first years after drainage, and is generally consistent with the laws of bulk density changes in depth.

According to the results of the study, it was found that the peat layer formed after drainage reclamation changes from 0 to 25–30 cm in different key sites. In 6 of the 8 studied sites, the process of modern peat accumulation is observed; in two sites, the rate of peat accumulation is minimal or completely absent.

Keywords: hydromelioration, bog self-restoration, Tomsk region, water content, ash content, degree of peat decomposition, plant macrofossil, bulk density.

REFERENCES

- Bambalov N.N., Rakovich V.A. *Geoekologicheskoe obosnovanie vosstanovleniya prirodnnykh i khozyaystvennykh funktsiy narushennykh bolot* [Geoecological justification of restoration of natural and economic functions of disturbed mires] // Environmental Geoscience. 2007. № 1. pp. 28–38. In Russian
- Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. «*Opisanie massiva dannykh mesyachnykh summ osadkov na stantsiyakh rossii*». *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh* № 2015620394 [Description of the data array of monthly precipitation amounts at Russian stations". Certificate of state registration of the database]. In Russian
- Vozobnovlyаемыe resursy teplovlagooobespechennosti Zapadno-Sibirskoy ravniny i dinamika ikh kharakteristik* [Renewable resources of heat and water supply in the West Siberian plain and dynamics of their characteristics]: I.V. Karnatsevich, O.V. Mezentsева, Zh.A. Tusupbekov, G.G. Bikbulatova; edit by. O.V. Mezentsevoy. Omsk: FGOU VPO OmGAU Publ., 2007. 268 p. In Russian
- Geologo-gidrogeologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye lista O-44-29* [Geological and hydrogeological structure and minerals of the o-44-29 sheet]. V. 1. Tomsk, 1964. 527 p. In Russian
- Geologo-gidrogeologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Kolpashevskogo Priob'ya* [Geological and hydro-geological structure and mineral resources of the Kolpashevo Ob]. V. 1. Tomsk, 1965. 403 p. In Russian
- GOST 11305–2013. Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya vlagi* [GOST 11305–2013 Peat and products of its processing. Methods for determining moisture content]. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 7 p. In Russian
- GOST 11306–83. Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zol'nosti* [GOST 11306–83 Peat and products of its processing. Methods for determining ash content]. Moscow: State standard of the USSR, 1983. 7 p. In Russian
- GOST 28245–89. Torf. Metody opredeleniya botanicheskogo sostava i stepeni razlozheniya* [GOST 28245–89 Peat. Methods for determining the Botanical composition and degree of decomposition]. 2nd ed. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 7 p. In Russian
- GOST 28245-89 Peat. Methods for determining the Botanical composition and degree of decomposition. 2nd ed. Moscow: Standartinform Publ., 2006. 7 p. In Russian*
- Ivanov K.E. *Vodoobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water exchange in the mire landscapes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975. 280 p. In Russian
- Nastavleniya gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Gidrometeorologicheskie nablyudeniya na bolotakh* [Manual for hydrometeorological stations and centers. V. 8. Hydro-meteorological observations in the mires]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1990. 360 p. In Russian
- Romanov V.V. *Gidrofizika bolot* [Hydrophysics of mires]. Leningrad: Hydrometeorological Publ., 1961. 360 p. In Russian
- Sinyutkina A.A. *Otsenka sostoyaniya i prostranstvennogo razmeshcheniya antropogennno izmenennykh bolotnykh geosistem Tomskoy oblasti* [Assessment of the state and spatial location of anthropogenic disturbed mire geosystems in the Tomsk region] // *Geografiya i geoekologiya na sluzhbe nauki i innovatsionnogo obrazovaniya: materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Geography and geoecology in the service of science and innovative education: materials of the VIII all-Russian scientific and practical conference with international participation] (Krasnoyarsk, 25-26 April 2013). Krasnoyarsk. 2013. pp. 85–88. In Russian
- Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Maloletko A.A., Magur M.G., Kharanzhevskaya Y.A. 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. V. 43. PP. 196-223. doi: 10.17223/19988591/43/10. In Russian
- Tyuremnov S.N. *Torfyanye mestorozhdeniya* [Peatlands]. Moscow: Nedra Publ, 1976, 488p. In Russian
- Amani M., Salehi B., Mahdavi S., Brisco B. Spectral analysis of wetland using multi-source optical satellite imagery // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. 144. pp. 119–136.
- 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. V. 19 (12). pp. 1–23. doi: 10.19189/MaP.2016.OMB.253.
- Chambers F. M., Beilman D. W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeoecological studies of climate and peatland carbon dynamic // *Mires and Peat*, 2011. V. 7. Article 07 pp. 1–10.
- Keaney A., McKinley J., Graham C., Robinson M., Ruffell A. Spatial statistics to estimate peat thickness using airborne radiometric data. 2013. *Spatial Statistics*. 5. pp. 3–24.
- Knox S.H. Dronova I., Sturtevant C., Oikawa P.Y., Matthes J.H., Verfaillie J., Baldocchi D. Using digital camera and Landsat imagery with eddy covariance data to model gross primary production in restored wetlands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017. 237-238. pp. 233–245.
- Mäkilä M., Säävuori H., Grundström A. Suomi T. Sphagnum decay patterns and bog microtopography in south-eastern Finland // *Mires and Peat*. 2018. V. 21. Article 13. pp. 1–12.
- Walter J., Hamann G., Lück E., Klingenfuss C., Zeitz J. Stratigraphy and soil properties of fens: Geophysical case studies from northeastern Germany *Catena*. 2016. 142. pp. 112–125.
- 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.
- von Post L. The Swedish Revolution of the Geological Survey, and some of its findings // *The Swedish Museum Society Association's Journal*. 1922 V. 1. pp. 1–27.
- Zajac E., Zarzycki J., Ryzek M. Substrate quality and spontaneous revegetation of extracted peatland: case study of an abandoned Polish mountain bog // *Mires and Peat*. 2018. V. 21. Article 12, pp. 1–14.

Author:

Sinyutkina Anna Alekseevna, Cand. Sci. (Geography), Senior Researcher, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat-branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia.
E-mail: ankalaeva@yandex.ru