

УДК 556.566

DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4231

Шифр специальности ВАК 1.6.16

Особенности уровня режима осушенного участка северо-восточных отрогов Васюганского болота

Ю.А. Харанжевская✉

*Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского
федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Россия, г. Томск*

✉ kharan@yandex.ru

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оценки гидрологической роли болот в Западной Сибири и ее трансформации под влиянием осушения и пирогенного фактора. **Цель:** исследование особенностей уровня режима Васюганского болота и закономерностей его изменения под влиянием осушения и пирогенного фактора. **Объекты:** северо-восточный участок Васюганского болота в районе с. Полынянка Бакчарского района Томской области. **Методы.** Гидрологический мониторинг осушенной и естественной части Васюганского болота организован в пределах двух малых модельных водосборов р. Гавриловки и р. Ключ в рамках работы болотного стационара «Васюганский» Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа-филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН. Мониторинг уровня режима проводился в 2022 г. с применением регистраторов Solinst Levellogger (Canada) с периодичностью 1 час. Измерения расходов воды выполнены с применением акустического измерителя скорости потока ОТТ Hydromet в характерные по водности периоды. Методика исследований включала в себя оценку пространственно-временной вариации уровней болотных вод по территории модельного водосбора р. Гавриловки осушенного участка Васюганского болота в сравнении с естественным участком и в зависимости от основных метеорологических факторов, построение кривых связи расходов в реке и уровней болотных вод, расчет гравитационной емкости торфяной залежи болота. Статистический анализ данных проводился с применением непараметрического критерия Уилкоксона, корреляционного и кластерного анализа. **Результаты.** Исследования показали, что осушенный участок Васюганского болота в пределах модельного водосбора р. Гавриловки характеризуется значимой трансформацией гидрологического режима, наблюдается достоверное снижение уровней болотных вод и повышение амплитуды их колебания. Влияние пирогенного фактора выражается в некотором повышении отметок уровней болотных вод в результате выгорания поверхности и выравнивания микрорельефа. Анализ пространственной вариации уровней показал, что характер гидрологического режима зависит не только от вида болотного микроландшафта, уклона поверхности, характера осушения и выгорания поверхности, но и от расположения участка относительно топи выклинивания, зон подпора стока вод, формирующихся вблизи зарастающих осушительных каналов, грунтовых дорог и зон дренирования магистральных каналов и водоприемника. В результате проведенной лесомелиорации и пожара на участке Васюганского болота отмечена активизация процессов разложения растительных остатков, что привело к снижению аккумулирующей емкости верхнего слоя торфяной залежи, что будет способствовать интенсивному сбросу вод с болота, а значит, вероятность возникновения экстремальных гидрологических явлений в условиях увеличения количества атмосферных осадков возрастает.

Ключевые слова: уровень режим, лесомелиорация, пирогенный фактор, влияние, Васюганское болото, Западная Сибирь.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 22-27-00242.

Для цитирования: Харанжевская Ю.А. Особенности уровня режима осушенного участка северо-восточных отрогов Васюганского болота // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 12. – С. 97–108. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4231

UDC 556.566

DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4231

Water table level dynamics in the drained part of the Great Vasyugan Mire

Yu.A. Kharanzhevskaya✉

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

✉ kharan@yandex.ru

Abstract

Relevance. The need to assess mire-river interaction in Western Siberia under the influence of drainage and the pyrogenic factor. **Aim.** To study water table level dynamics in the Great Vasyugan Mire and the patterns of its change under the influence of drainage and the pyrogenic factor. **Objects.** Northeastern part of the Great Vasyugan Mire close to Polynyanka village, Bakchar district, Tomsk region. **Methods.** Hydrological monitoring of drained and pristine part of the Great Vasyugan Mire is organized within the small model catchments of the Gavrilovka River and Klyuch River in the Vasyugan station of the Siberian Research Institute of Agriculture and the Peat branch of the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat RAS. Water table level monitoring was carried out in 2022 using Solinst Levellogger (Canada) with a frequency of 1 hour. River discharge measurements were made in different water periods using an acoustic current meter OTT Hydromet. The research methodology included an assessment of the spatial and temporal variation in water levels over the drained territory of the Great Vasyugan Mire in the Gavrilovka River basin in comparison with pristine part and depending on the main meteorological factors, correlation curves construction of mire water level and river discharges, the specific yield calculation. Statistical analysis of the data was carried out using the nonparametric Wilcoxon test, correlation and cluster analysis. **Results.** The studies shown that the drained area of the Great Vasyugan Mire within the Gavrilovka River basin is characterized by a significant transformation of the hydrological regime; there is a significant decrease in the water levels and an increase in the amplitude of their fluctuations. The influence of the pyrogenic factor is expressed in a certain increase in water levels as a result of the surface burnout and the leveling of microtopography. An analysis of the spatial variation of the water levels showed that it depends on the vegetation type of key sites, the slope of the surface, and the degree of surface burnout. It also depends on the location of the site relative to the lagg area, zones of backwater flow formed near overgrown drainage ditches, dirt roads and main ditch drainage zones. As a result of the forest reclamation and fire event in the study area of the Great Vasyugan Mire, active decomposition of plant residues was noted. This led to a decrease in the storage capacity (specific yield) of the upper peat layer. A decrease of the specific yield will increase the runoff from the mire area, which means the increase of possibility of extreme hydrological events in the conditions of growth in the amount of precipitation.

Keywords: Water table level, forest reclamation, pyrogenic factor, influence, Great Vasyugan mire, Western Siberia.

Acknowledgements: The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 22-27-00242.

For citation: Kharanzhevskaya Yu.A. Water table level dynamics in the drained part of the great Vasyugan mire. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 12, pp. 97–108. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4231

Введение

Болотные экосистемы играют ключевую роль в динамике глобального цикла углерода, аккумулируя его в виде торфяных залежей при непосредственном газообмене с атмосферой. Современные тенденции изменения климата влияют на функционирование болот во всем мире. Проведенные исследования [1, 2] подтвердили, что более высокие температуры и меньшее количество осадков снижает потенциал накопления углерода болотами [3, 4]. Согласно последним климатическим реконструкциям по Западной Сибири [5], сделанным на основе проб, отобранных в пределах Васюганского

болота, отмечается обсыхание поверхности болота, что отражает тенденцию к потеплению последних десятилетий, отмечено также, что болото было активным поглотителем углерода в течение последних 1500 лет, однако его способность связывать углерод снизилась из-за недавнего потепления и может продолжать снижаться из-за продолжающегося изменения климата.

Один из основных элементов управления функцией хранения углерода в болотах – это уровень болотных вод, который благодаря своей способности обеспечивать анаэробные условия, предотвращает возврат углерода в атмосферу [6]. Любое

нарушение, которое вызывает длительные засухи или долгосрочное понижение уровня болотных вод, оказывает отрицательное влияние на функцию хранения углерода болотами и приводит к увеличению эмиссии диоксида углерода [7, 8]. Важным механизмом, с помощью которого болота могут защитить себя от длительных периодов воздействия влаги, является сезонный подъем и опускание поверхности болота, которое обычно происходит при увеличении и уменьшении количества атмосферных осадков, вызывая колебания уровня болотных вод в пределах деятельного горизонта (акротельма) [9].

Болота, обладая существенной поверхностной емкостью, снижают максимальный сток рек, накапливают влагу в водосборном бассейне и расходуют ее на испарение [10]. Но активизация процессов разложения растительных остатков при изменении климата может привести к снижению эффективной пористости верхнего слоя торфяной залежи и уменьшению аккумулирующей емкости болотных массивов. Снижение эффективной пористости верхнего слоя, вероятно, будет способствовать интенсивному сбросу вод с болот, увеличению максимального стока рек, а значит, повысится вероятность возникновения экстремальных гидрологических явлений, и наоборот высокое испарение с болот, связанное с ростом температуры воздуха, вероятно, будет приводить к обратному эффекту, к появлению засушливых периодов летом с отсутствием стока в реках.

Оценка чувствительности уровней болотных вод (УБВ) к изменениям климата, проведенная с применением сценариев IPCC RCP4.5 и 8.5, показала, что УБВ остаются стабильными в течение первой половины XXI в., сезонные тенденции после 2050 г. показывают более низкие уровни зимой и заметно большее снижение уровней летом. В частности, было отмечено, что после 2050 г. должны происходить более частые засухи летом и осенью, что приведет к снижению УБВ. Эти прогнозы дополняются оценками рисков засухи на болотах до 2100 г., которые, по всей видимости, возрастут, особенно в переходные сезоны – май–июнь и сентябрь–октябрь [11].

Большой блок исследований по вопросам гидрологической саморегуляции болот в целом и по болотам Западной Сибири в частности проведен учеными Государственного гидрологического института и отражен в целом ряде монографий [10, 12–14]. В настоящее время уже отмечены некоторые тенденции в многолетнем изменении уровня режима и стока с естественных олиготрофных болот Ламмин-Суо (Ленинградская область) и Иласское (Архангельская область) [15, 16], изучены особенности стока с осушенных болот Европейской территории России [17, 18]. Сделаны

выводы о влиянии заболоченности водосборов на сток рек в Западной Сибири [19–21], изучены составляющие водного баланса болот и характер взаимодействия болотных и подземных вод [22], выполнено математическое моделирование гидрологического режима болотного массива [23]. Однако весьма актуальным остается изучение гидрологического режима болот и их роли в формировании стока рек, определение основных показателей гидрологической устойчивости болотных массивов Западной Сибири в условиях изменения климата и антропогенного воздействия.

Объекты и методика исследования

Исследования проводились в пределах северо-восточного осушенного участка Васюганского болота в границах бассейна малой реки Гавриловка (левобережный приток р. Икса, $F=81 \text{ км}^2$), вблизи с. Польшанка Бакчарского района Томской области (рис. 1, табл. 1). В 1980-х гг. на исследуемой территории проведена лесомелиорация, осушение выполнено сетью открытых каналов с расстоянием 160–180 м, норма осушения равна 0,6 м. В настоящее время в пределах исследуемой территории отмечается зарастание осушительных каналов [24, 25]. В 2016 г. произошел пожар и выгорела территория площадью $5,54 \text{ км}^2$, максимальная мощность горелого слоя составила 15 см [26]. В качестве территории сравнения был использован аналогичный естественный участок Васюганского болота, расположенный в 8 км севернее, в границах водосбора малой р. Ключ (правобережный приток р. Бакчар, $F=76 \text{ км}^2$). Наблюдения за уровнем режимом организованы в типичных болотных микроландшафтах (сосново-кустарничково-сфагновый, осоково-сфагновый, грядово-мочажинный комплекс) осушенного участка Васюганского болота в бассейне р. Гавриловки и в аналогичных им микроландшафтах естественного участка болота в бассейне р. Ключ.

Измерения уровней болотных и речных вод производились с применением регистраторов Solinst Levellogger (Canada) с периодичностью 1 час в 2022 г. Измерения расходов воды выполнены с применением акустического измерителя скорости потока OTT Hydromet (Германия) методом «скорость–площадь» на гидрометрическом посту, организованном на р. Гавриловке. Гидрометрические работы проводились в характерные периоды водности реки в 2022 г.

Методика исследований включала в себя построение кривых связи расходов р. Гавриловки и уровней болотных вод, корреляционный, кластерный анализ и оценку значимости различий в уровне режиме естественного и осушенного участков Васюганского болота по непараметрическому критерию

рию Уилкоксона при уровне значимости $p=5\%$ в Statistica 10. Критерий основан на ранжировании величины изменения признака (n), абсолютные значения ненулевых разностей (n) упорядочиваются в порядке возрастания и определяются их ранги (R). Критерий Уилкоксон рассчитывается по формуле

$$Z = \frac{|T - \frac{n(n+1)}{4}|}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}$$

где T – статистика критерия, равная наименьшему значению суммы рангов для отрицательных (R_n) и положительных разностей (R_p) [27].

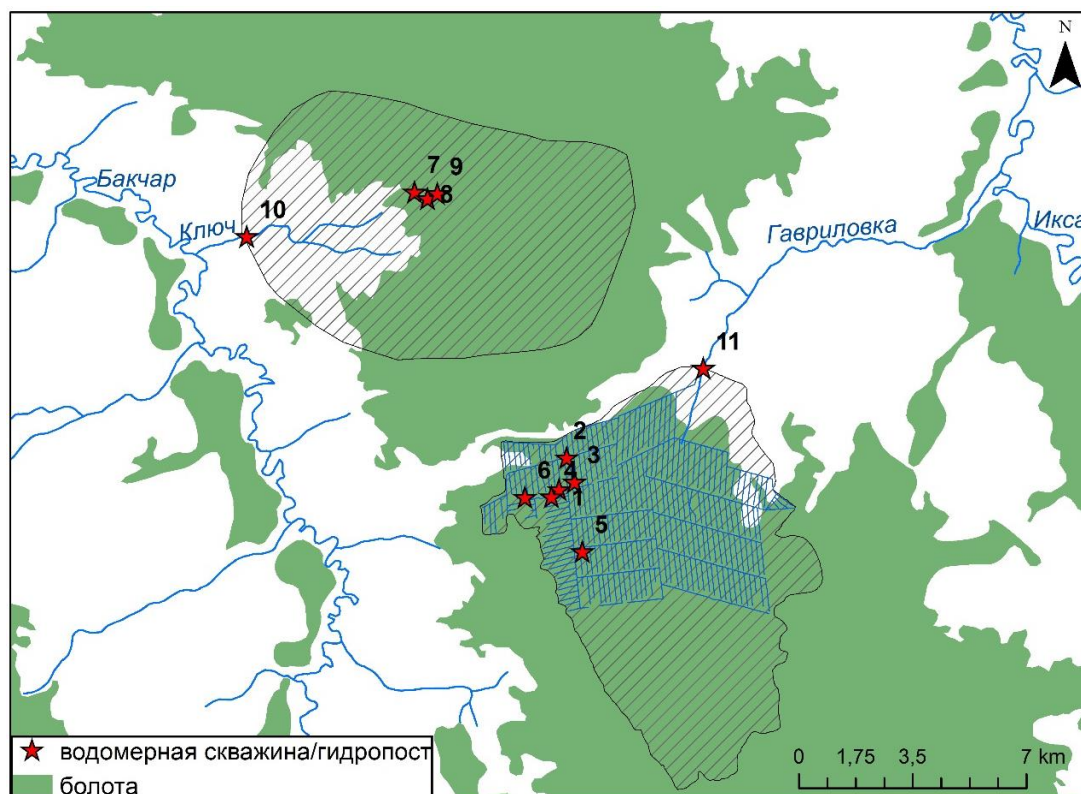


Рис. 1. Схема расположения территории исследования (1 – РГ, 2 – РГ2, 3 – РГЗ, 4 – ПГ2, 5 – ТГ, 6 – Д2, 7 – ПЗ, 8 – П5, 9 – Д1, 10 – гидропост на р. Ключ, 11 – гидропост на р. Гавриловке)

Fig. 1. Study area (1 – RG, 2 – RG2, 3 – RG3, 4 – PG2, 5 – TG, 6 – D2, 7 – P3, 8 – P5, 9 – D1, 10 – gauging station on the Klyuch River, 11 – gauging station on the Gavrilovka River)

Таблица 1. Характеристика ключевых участков в пределах Васюганского болота

Table 1. Key sites in the area of the Great Vasyugan Mire

Участок Site	Координаты Coordinates	Водосбор Basin	Антропогенная нагрузка Human impact
Сосново-кустарничково-сфагновый (РГ) Pine dwarf-shrub <i>Sphagnum</i> (RG)	56°53' 25,8", 82°40' 50,5"	р. Гавриловка Gavrilovka river	гидролесомелиорация forest hydromelioration
Сосново-кустарничково-сфагновый (РГ2) Pine dwarf-shrub <i>Sphagnum</i> (RG2)	56°53' 57,10", 82°41' 05,95"		
Сосново-кустарничково-сфагновый (РГЗ) Pine dwarf-shrub <i>Sphagnum</i> (RG3)	56°53' 32,7", 82°41' 19"		гидролесомелиорация, частично выгоревший в 2016 г. forest hydromelioration, partially burned-out in 2016
Сосново-кустарничково-сфагновый (ПГ2) Pine dwarf-shrub <i>Sphagnum</i> (PG2)	56°53' 18,6", 82°40' 36,7"		
Осоково-сфагновая топь (ТГ) Sedge <i>Sphagnum</i> lagg (TG)	56°52' 23,6", 82°41' 30,1"		
Грядово-мочажинный комплекс (Д2) Hummock-hollow complex (D2)	56°53' 18,8", 82°39' 48,6"	р. Ключ Klyuch river	гидролесомелиорация forest hydromelioration
Сосново-кустарничково-сфагновый (ПЗ) Pine dwarf-shrub <i>Sphagnum</i> (P3)	56°58' 24, 3", 82°36' 41,2"		
Осоково-сфагновая топь (П5) Sedge <i>Sphagnum</i> lagg (P5)	56°58' 17, 3", 82°37' 04,5"		
Грядово-мочажинный комплекс (Д1) Hummock-hollow complex (D1)	56°58' 22,1", 82°37' 22,4"		естественный участок natural sector

Кластерный анализ выполнен на основе ежедневных данных по уровням болотных вод за 2022 г. с применением иерархического метода Уорда и расчетом евклидова расстояния. Корреляционный анализ проводился путем расчета матрицы коэффициентов корреляции между ежедневными уровнями болотных вод, температурой воздуха, количеством атмосферных осадков и расходами р. Гавриловки.

Для характеристики степени трансформации аккумулярующей емкости болотного массива под влиянием осушения и пирогенного фактора была рассчитана гравитационная емкость (specific yield), характеризующая величину водоотдачи торфяной залежи болота. Для расчетов были использованы данные, полученные с интервалом 1 час, по уровням болотных вод с регистраторов Solinst Levellogger (Canada) в 9 болотных микроландшафтах и по атмосферным осадкам с осадкомеров Rain Collector II фирмы Davis Instruments (USA), установленных на водосборах р. Гавриловки и р. Ключ в точках П5 и ПГ2, РГ соответственно. Для этого был рассмотрен 21 случай выпадения атмосферных осадков в период с мая по сентябрь 2022 г. Гравитационная емкость (S_y) была определена согласно [28] по соотношению количества выпавших атмосферных осадков (P) и величины следующего за этим подъема уровня болотных вод (Δh):

$$S_y = \frac{P}{\Delta h}.$$

Расчет S_y проводился в предположении, что временной лаг между окончанием выпадения атмосферных осадков и максимальным повышением уровня воды достаточно мал для начала испарения и формирования стока вод в торфяной залежи.

Оценка вариации уровней болотных вод в зависимости от основных метеорологических факторов (температуры и атмосферных осадков) также проводилась с применением методики, предложенной в [29], которая включала в себя оценку месячной кумулятивной суммы повышения (monthly cumulative increase – MCI) и понижения уровня (monthly cumulative decrease – MCD) при выпадении атмосферных осадков. В дальнейшем были построены корреляционные зависимости MCI/MCD с месячной суммой осадков и среднемесячной температурой воздуха по данным метеостанции у с. Бакчар.

Результаты и обсуждение

Анализ данных показал достоверные различия (по непараметрическому критерию Уилкоксона) в уровнях болотных вод естественного и осушенного участков Васюганского болота. Под влиянием осушения отмечается существенное снижение уровней – на 20–30 см, и повышение амплитуды колебания в 1,3–1,8 раз в сосново-кустарничково-

сфагновых микроландшафтах, в 2,5–3 раза на грядово-мочажинном комплексе и пирогенном участке. Под влиянием пирогенного фактора отмечается повышение отметок уровней ближе к поверхности болота за счет ее выгорания и выравнивания микрорельефа. Анализ пространственной вариации уровней болотных вод в среднем за 2022 г. показал, что отмечается более высокий уровень болотных вод на топи (–10 см) и соседнем с ней участке (РГ3) сосново-кустарничково-сфагнового микроландшафта (–18 см), снижение до –27...–41 см наблюдается на грядово-мочажинном комплексе (Д2) и остальных сосново-кустарничково-сфагновых микроландшафтах (РГ, РГ2), в том числе на пирогенном участке (ПГ2).

Анализ результатов расчета гравитационной емкости S_y торфяной залежи за май–сентябрь 2022 г. показал достоверное (в 1,3 раза) снижение S_y в пределах сосново-кустарничково-сфагновых микроландшафтов (РГ, РГ2, РГ3) осушенного участка в сравнении с естественным участком Васюганского болота (П3) (рис. 2, 3). Снижение величины гравитационной емкости S_y , отражающей водоотдачу торфяной залежи, означает, что реакция уровня болотных вод на атмосферные осадки будет весьма интенсивной, тогда как высокий S_y говорит нам о том, что реакция уровня болотных вод на дождь будет сравнительно слабой и продолжительной. Наибольшее снижение среднесезонных S_y (до 0,43) отмечено в микроландшафте (РГ), располагающемся в зоне подпора от грунтовой дороги и зарастающих каналов, тогда как в остальных микроландшафтах величины S_y сопоставимы. В 19 % случаев в основном в периоды восстановления уровней после засухи было отмечено $S_y > 1$, и связано это с обсыханием торфяной залежи либо свидетельствует о существовании подпорного режима. В сезонной динамике на участках РГ, РГ2, РГ3 отмечается повышение S_y от мая к периоду летних дождей в июле и снижение в августе и сентябре. В пределах естественного участка (П3) отмечается монотонное повышение S_y к концу сезона. Пирогенный участок (ПГ2) характеризуется более значимой амплитудой колебания уровней (38 см) и существенным снижением среднесезонных значений S_y до 0,24, что в 2,5 раза ниже величин, характерных для естественного участка Васюганского болота. Превышение величины $S_y > 1$ отмечалось только 1 раз в июне в период восстановления уровней. В сезонной динамике минимальные величины S_y отмечаются в мае (0,12) и увеличиваются в 2–4 раза в июле–августе в сравнении с маем, а в сентябре гравитационная емкость снижается.

На участке осоково-сфагновой топи (ТГ) гравитационная емкость ($S_y=0,62$) в 1,2 раза превышает величины, характерные для естественного участка

Васюганского болота, что определяется генетическими особенностями топи выклинивания, формирующей исток р. Гавриловки. При этом в 50 % случаев отмечается $S_y > 1$, что свидетельствует о течении воды по поверхности торфяной залежи и/или колебании поверхности болота. Для сравнения на топи естественного участка Васюганского болота отмечается всего 6 случаев из 21, когда $S_y > 1$. В сезонной динамике отмечается увеличение S_y в июле в период ливневых осадков и снижение в конце сезона.

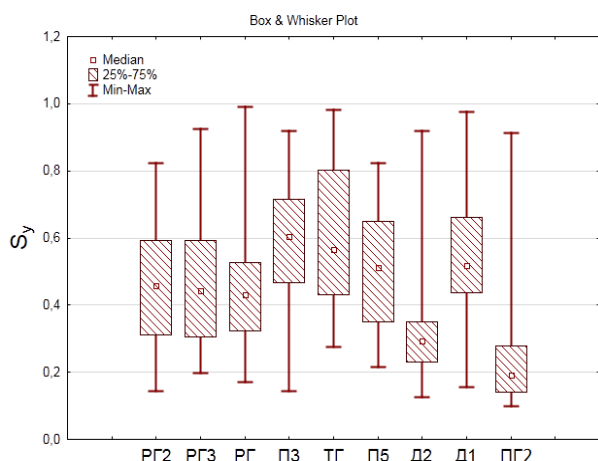


Рис. 2. Гравитационная емкость торфяной залежи микроландшафтов осушенного (РГ, РГ2, РГ3, ТГ, Д2, ПГ2) и естественного (П3, П5, Д1) участков Васюганского болота в среднем за май–сентябрь 2022 г.

Fig. 2. Specific yield for drained (RG, RG2, RG3, TG, D2, PG2) and pristine (P3, P5, D1) part of the Great Vasyugan Mire on average for May–September 2022

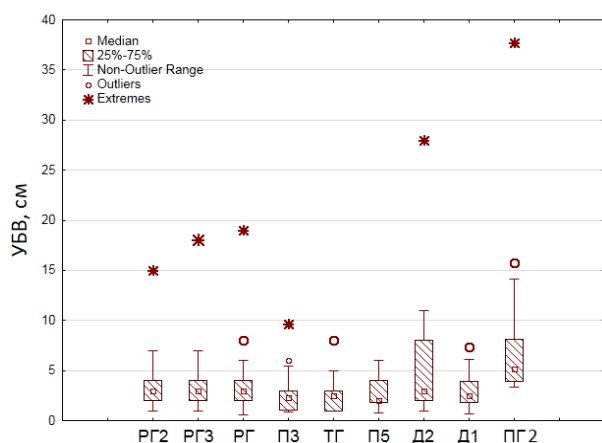


Рис. 3. Величина подъема уровней при выпадении атмосферных осадков на осушенных и естественных участках Васюганского болота в период с мая по сентябрь 2022 г.

Fig. 3. Magnitude of water level rise during precipitation in the drained and pristine areas of the Great Vasyugan Mire in the period from May to September 2022

Анализ данных по грядово-мочажинному комплексу (Д2) показал, что S_y был в среднем в 1,6 раза ниже, чем в пределах естественного участка (Д1), и составил 0,36. Что согласуется со значительной амплитудой уровней 28 см, тогда как на Д1 она составила всего 7 см. В сезонной динамике отмечаются более высокие значения S_y в мае, в июне отмечается некоторое снижение S_y с последующим повышением во второй половине сезона и максимумом в августе. Тогда как в пределах Д1 более высокие значения S_y отмечены в июле.

Проведенный кластерный анализ полученных нами данных по уровням болотных вод позволил выделить 2 кластера и 4 подкластера (рис. 4). В первый кластер выделились топяные участки (ТГ и П5) и грядово-мочажинный комплекс (Д1) естественной части Васюганского болота, а также сосново-кустарничково-сфагновые микроландшафты (РГ3 и П3). В целом объединение в первый кластер микроландшафтов РГ3, ТГ осушенного участка Васюганского болота с микроландшафтами естественного участка свидетельствует о наименьшей трансформации их гидрологического режима. Тогда как во второй кластер объединились микроландшафты Д2, РГ2, РГ и пирогенный участок ПГ2, гидрологический режим которых сильно нарушен под влиянием осушения–и пирогенного фактора. При этом следует отметить, что в отдельный подкластер выделились участки ПГ2 и РГ, расположенные в зоне подпора от зарастающего канала и грунтовой дороги, препятствующей стоку вод с водораздельной части.

Анализ сезонной динамики уровней вод Васюганского болота показывает, что весной 2022 г. в период снеготаяния отмечаются наиболее высокие отметки уровней – в среднем от –18 до –5 см (рис. 5). Значительная амплитуда уровней весной, которую можно отметить для РГ, РГ2, ПГ2 и Д2, связана преимущественно с более поздним оттаиванием этих участков и, соответственно, с запаздыванием подъема уровней воды. В летне-осенний период 2022 г. отмечается снижение уровней на 2–10 см, а в пределах грядово-мочажинного комплекса отмечается обратная тенденция, уровни в среднем повышаются, что связано с существенной реакцией на выпадающие атмосферные осадки и значительными колебаниями уровней. В зимний период, в условиях формирования снежного покрова и промерзания торфяной залежи, практически на всех участках, за исключением П5, ТГ, Д1, отмечается снижение уровней болотных вод до –22...–58 см. Следует отметить, что периоды появления экстремальных уровней болотных вод различаются по исследуемым участкам. Так, на рьях (РГ, РГ2, П3) и в пределах грядово-мочажинного комплекса Д2 наибольшее снижение уровней отмечается зимой, а минимальные уровни –

в марте, перед началом снеготаяния. В качестве исключения следует отметить участок РГ3, который представлен также сосново-кустарничково-сфагновым микроландшафтом, но находится в зоне влияния топи и поэтому характеризуется сходными с топью тенденциями в уровненом режиме. Минимальные отметки уровней на топи (ТГ), РГ3 и пиро-

генном участке отмечены в июле, а на естественном участке Васюганского болота в пунктах П5 и Д1 – в июне. Максимальные отметки уровней на всех участках отмечаются в апреле 2022 г., за исключением грядово-мочажинного комплекса, в пределах которого максимум отмечен в августе 2022 г.

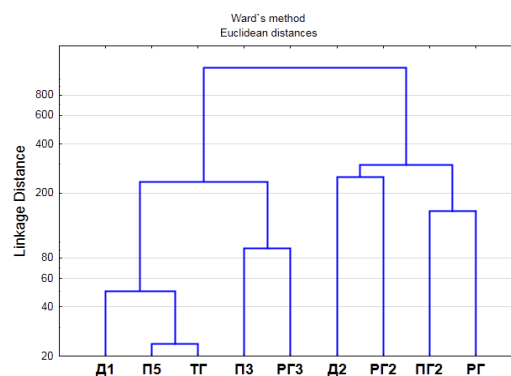
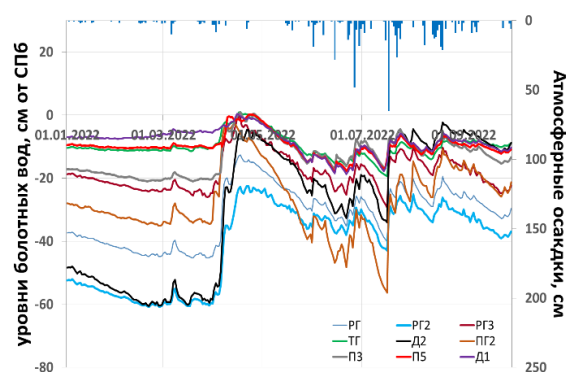


Рис. 4. Пространственные вариации уровней болотных вод осушенного и естественного участков Васюганского болота в 2022 г.

Fig. 4. Spatial variations of water levels in drained and pristine parts of the Great Vasyugan Mire in 2022

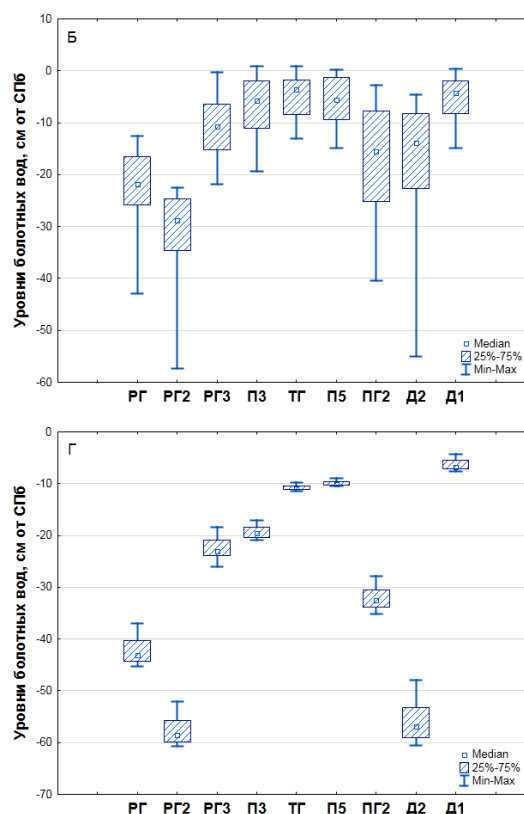
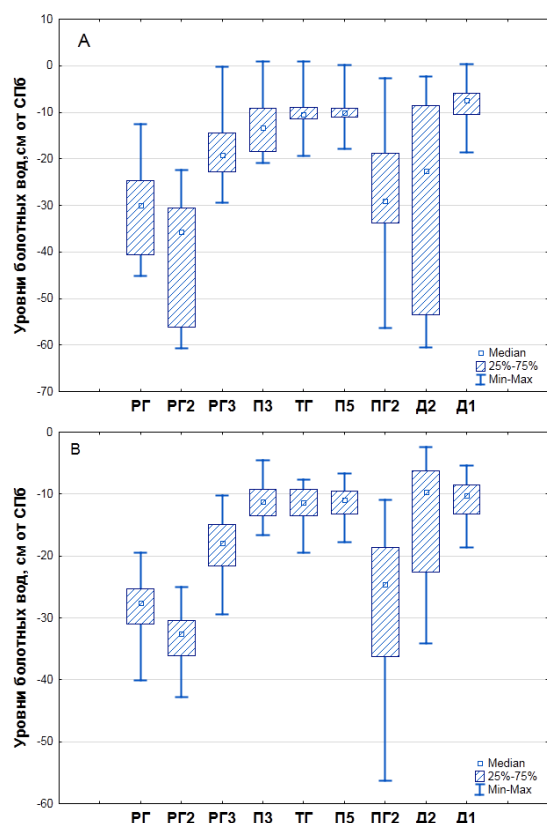


Рис. 5. Пространственно-временная вариация уровней болотных вод в типичных микроландшафтах естественного и осушенного участков Васюганского болота в среднем за 2022 г. (январь–сентябрь, А), весенний период (апрель–май, Б), лето–осень (июнь–сентябрь, В) и зимний период (январь–март, Г)

Fig. 5. Spatial and temporal variation of water levels in typical areas of the pristine and drained parts of the Great Vasyugan Mire on average for 2022 (January–September, А), spring (April–May, Б), summer–autumn (June–September, В) and winter period (January–March, Г)

Сопоставляя полученные результаты с опубликованными материалами, следует отметить, что в целом полученные нами уровни схожи с данными, приведенными по Финляндии [30], где на основе анализа 38 сфагновых болот исследуется влияние осушения и последующего восстановления на динамику уровней. Отмечается, что уровни на осушенном болоте существенно ниже, чем на его естественном участке, а наиболее низкие уровни отмечены вблизи каналов. В работе сделан вывод о том, что восстановление болота может привести к восстановлению естественного гидрологического режима через 10 лет [30]. Также сходные отметки уровней, амплитуда и сезонные тенденции отмечены на болотах Канады [29], однако превышений поверхности болота в весенний период, как это отмечается в пределах исследуемых участков Васюганского болота, не наблюдается. Сделанный нами вывод о снижении уровней в результате осушения и повышении амплитуды колебания уровней после осушения также согласуется с результатами, полученными в Польше на основе анализа 9 скважин, установленных на болотах с разной степенью деградации в результате осушения [31]. Сопоставляя наши результаты с данными по уровням вод на болотах Англии [32], можно отметить, что осушенный участок Васюганского болота имеет более значимую амплитуду, но сходные средние и минимальные отметки уровней.

Анализ наших данных показал наличие тесных корреляционных связей уровней болотных вод и расходов р. Гавриловки для всех исследуемых участков, за исключением Д2 ($r=0,33$), для которого характерна наибольшая трансформация уровня

режима (табл. 2). Кроме того, отмечены значимые корреляционные зависимости уровней естественного участка Васюганского болота от расходов воды р. Гавриловки. Корреляция уровней болотных вод с температурой воздуха отрицательная, а наиболее высокие коэффициенты корреляции отмечены для осоково-сфагновых микроландшафтов (ТГ, П5), грядово-мочажинного комплекса (Д1) и пирогенного участка (ПГ2). Статистический анализ также показал практически полное отсутствие тесных корреляционных зависимостей уровней болотных вод от атмосферных осадков. Поэтому для понимания роли метеорологических факторов в формировании уровня режима в 2022 г. рассчитаны величины суммарного за месяц снижения (MCD) и повышения (MCI) уровней болотных вод.

Анализ полученного массива данных показывает достаточно тесную корреляцию MCD со среднемесячной температурой воздуха по микроландшафтам РГ, ТГ, Д2 и ПГ2 ($r=0,60-0,70$) и умеренную для РГ2, РГ3, П5, П3 ($r=0,55-0,59$) (рис. 6). Корреляция MCI с месячной суммой атмосферных осадков более высокая, умеренная отмечена только для топи естественного участка Васюганского болота (П5), что определяется колебанием поверхности торфяной залежи, снижающим амплитуду уровней. Наиболее высокие коэффициенты корреляции MCI ($r=0,83-0,85$) с месячной суммой осадков отмечены для участков РГ, РГ3, ПГ2, а снижение коэффициентов корреляции отмечено для РГ2, ТГ, Д2, а также для микроландшафтов естественного участка Васюганского болота (П3 и Д1).

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции уровней болотных вод, расходов р. Гавриловки и метеорологических характеристик за апрель–сентябрь 2022 г.

Table 2. Correlation matrix for water levels, Gavrilovka River discharges and meteorological characteristics for April–September 2022

Гидрометеорологические характеристики Hydrometeorological characteristics	РГ RG	РГ2 RG2	РГ3 RG3	ПГ2 PG2	П3 P3	ТГ TG	П5 P5	Д2 D2	Д1 D1
Атмосферные осадки, мм/Precipitation, mm	-0,02	0,01	-0,07	-0,11	-0,03	-0,20	-0,13	-0,02	-0,13
Температура воздуха, °C/Temperature, °C	-0,20	0,12	-0,25	-0,54	-0,24	-0,58	-0,52	-0,01	-0,54
Расходы р. Гавриловки, м³/с/Gavrilovka River discharge, m³/s	0,72	0,57	0,74	0,52	0,77	0,77	0,76	0,33	0,68

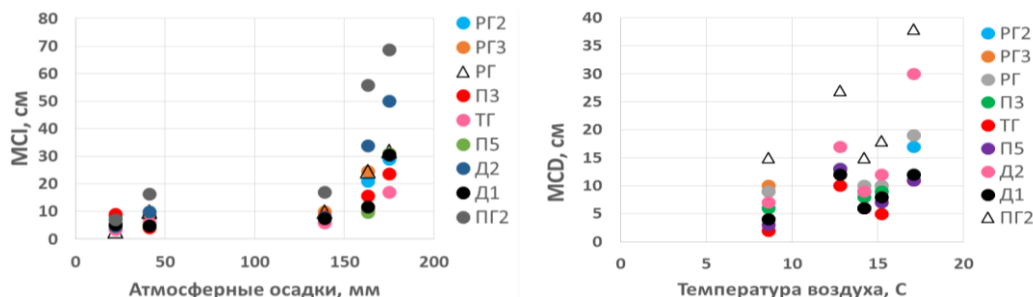


Рис. 6. Зависимость месячной кумулятивной суммы повышения (MCI) и понижения (MCD) уровней болотных вод с суммой атмосферных осадков за месяц и среднемесячной температурой воздуха за май–сентябрь 2022 г.

Fig. 6. Monthly cumulative sum of increase (MCI) and decrease (MCD) of water levels in relation with the monthly sum of atmospheric precipitation and the average monthly air temperature for May–September 2022

Анализ кривых связей уровней болотных вод и расходов р. Гавриловки показал, что мощность деятельного слоя торфяной залежи, при которой отмечается снижение расходов воды в р. Гавриловке, варьирует по территории исследуемого участка Васюганского болота и изменяется от 20 см в пределах топи выклинивания (ТГ) до 60 см в сосново-кустарничково-сфагновых микроландшафтах (преимущественно РГ2, ПГ2) и грядово-мочажинном комплексе (Д2) (рис. 7). В работе [31] отмечено, что вариабельность уровней болотных вод зависит от локализации участка исследований и степени деградации болота в результате осушения. Результаты 15-летних исследований стока с осушенных олиготрофных и мезотрофных болот в европейской части России показывают, что объем стока и внутригодовое его распределение зависят от интенсивности осушения, от расстояния между каналами, а также от водопроницаемости торфа и ее изменения по глубине торфяной залежи и во времени [17].

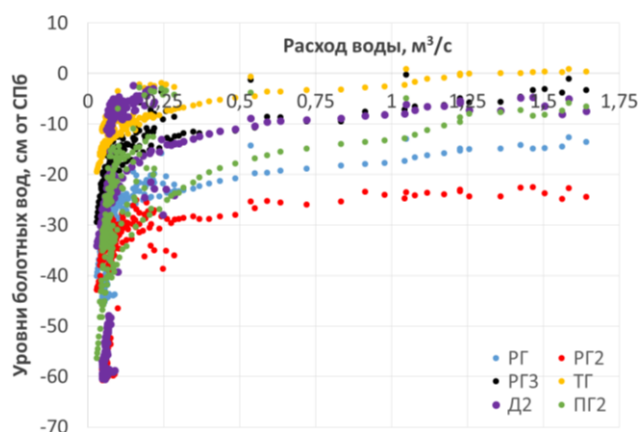


Рис. 7. Кривые связи уровней болотных вод и расходов р. Гавриловки за 2022 г.

Fig. 7. Curves of mire water table levels and discharges of the Gavrilovka River in 2022

Заключение

Исследования показали, что под влиянием осушения и пирогенного фактора отмечается снижение уровней болотных вод на 20–30 см и повыше-

ние амплитуды их колебания в 1,3–3 раза. Кластерный анализ разделил все исследуемые участки Васюганского болота на 2 кластера по характеру уровня режима. Анализ данных показал наличие тесных корреляционных связей уровней болотных вод и расходов р. Гавриловки для всех исследуемых участков. Практически во всех микроландшафтах (за исключением топи) осушенного участка Васюганского болота отмечается снижение величины S_y , что и способствует повышению амплитуды колебания уровней в ответ на атмосферные осадки. Наибольшая трансформация гидрологического режима и аккумулярующей емкости торфяной залежи по величине S_y отмечена на пирогенном участке, а также в пределах грядово-мочажинного комплекса. Исследования показали, что зарастающие каналы и грунтовые дороги создают подпор болотных вод на участках болота вблизи них и повышают интенсивность реакции уровней на атмосферные осадки. Однако значительное снижение уровней в зимний период и более существенное промерзание торфяной залежи осушенного участка Васюганского болота в сравнении с естественным способствует снижению интенсивности колебания уровней в весенний период, а обсыхание торфяной залежи летом на участках, расположенных вблизи крупных магистральных каналов, приводит к уменьшению величины стока с болота.

Таким образом, в результате проведенной лесомелиорации и пожара на участке Васюганского болота отмечена активизация процессов разложения растительных остатков, что привело к снижению аккумулярующей емкости торфяной залежи и изменению гидрологического режима болота. В перспективе снижение аккумулярующей емкости будет способствовать интенсивному сбросу вод с болот, а значит, вероятность возникновения экстремальных гидрологических явлений в условиях увеличения количества атмосферных осадков возрастает. Однако изменения гидрологического режима Васюганского болота неоднородны по территории модельного водосбора и для полного понимания влияния осушения болот на сток рек требуются дальнейшие детальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Persistent high temperature and low precipitation reduce peat carbon accumulation / L. Bragazza, A. Buttler, B.J.M. Robroek, R. Albrecht, C. Zaccone, V.E.J. Jassey, C. Signarbieux // *Global Change Biology*. – 2016. – V. 22. – P. 4114–4123.
2. Vascular plants promote ancient peatland carbon loss with climate warming / T.N. Walker, M.H. Garnett, S.E. Ward, S. Oakley, R.D. Bardgett, N.J. Ostle // *Global Change Biology*. – 2016. – V. 22 (5). – P. 1880–1889.
3. High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback / T. Ise, A. Dunn, S. Wofsy, P.R. Moorcroft // *Nature Geoscience*. – 2008. – № 1. – P. 763–766. URL: <https://doi.org/10.1038/ngeo331> (дата обращения 15.04.2023).
4. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss / M.R. Turetsky, B. Benscoter, S. Page, G. Rein, G.R. van der Werf, A. Watts // *Nature Geosciences*. – 2015. – V. 8. – P. 11–14.
5. 2000 years of variability in hydroclimate and carbon accumulation in western Siberia and the relationship with large-scale atmospheric circulation: a multi-proxy peat record / A. Feurdean, M. Galka, G. Florescu, A.-C. Diaconu, I. Tanțău, S. Kirpotin, S.M. Hutchinson // *Quaternary Science Reviews*. – 2019. – 105948. DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.105948

6. Hydrology-mediated differential response of carbon accumulation to late Holocene climate change at two peatlands in South central Alaska / E.S. Klein, R.K. Booth, Z. Yu, B.G. Mark, N.D. Stansell // *Quaternary Science Reviews*. – 2013. – V. 64. – P. 61–75.
7. Northern peatlands, greenhouse gas exchange and climate change / M. Strack, J.M. Waddington, M. Turetsky, N.T. Roulet, K.A. Byrne // *Peatlands and Climate Change* / Ed. by M. Strack. – Finland: International Peat Society, 2008. – P. 44–69.
8. Tundra shrubification and tree-line advance amplify arctic climate warming: results from an individual-based dynamic vegetation model / W. Zhang, P.A. Miller, B. Smith, R. Wania, T. Koenigk, R. Doscher // *Environmental Research Letters*. – 2013. – V. 8. – 034023.
9. Fritz C., Campbell D.I., Schipper L.A. Oscillating peat surface levels in a restiad peatland, New Zealand – magnitude and spatio-temporal variability // *Hydrological Processes*. – 2008. – V. 22 (17). – P. 3264–3274. DOI: 10.1002/hyp.6912
10. Иванов К.Е. Водобмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
11. Statistical hydrology for evaluating peatland water table sensitivity to simple environmental variables and climate changes application to the mid-latitude/altitude Frasne peatland (Jura Mountains, France) / B. Guillaume, A. Ponçot, B. Pohl, A. Lhosmot, M. Steinmann et al. // *Science of the Total Environment*. – 2021. – V. 754. – 141931.
12. Болота Западной Сибири: их строение и гидрологический режим / К.Е. Иванов, С.М. Новиков, Е.А. Романова и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
13. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под ред. С.М. Новикова. – СПб: ВВМ, 2009. – 536 с.
14. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо) / под ред. С.М. Новикова, В.И. Батуева. – СПб.: Свое издательство, 2019. – 448 с.
15. Батуев В.И., Калужный И.Л. Анализ факторов, определяющих многолетнее изменение стока с олиготрофных болот // *Водное хозяйство*. – 2020. – № 6. – С. 28–46.
16. Калужный И.Л., Лавров С.А., Романюк К.Д. Изменение водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов // *Водные ресурсы*. – 2012. – Т. 39. – № 1. – С. 13–25.
17. Бабиков Б.В. Гидрологическая роль болот и водное питание рек // *Лесной журнал*. – 2018. – № 5. – С. 38–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38
18. Бабиков Б.В. Водорегулирующие свойства осушенных лесов и водное питание рек // *Лисино. 200 лет служения лесам России*. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 181–187.
19. Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А. О влиянии заболоченности и лесистости водосборов на водный сток рек таёжной зоны Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета*. – 2011. – № 344. – С. 200–203.
20. Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А. Исследование роли болот в формировании стока рек бассейна Средней Оби // *География и природные ресурсы*. – 2017. – № 3. – С. 97–109. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2017-3(97-109)
21. Assessing mire-river interaction in a pristine Siberian bog-dominated watershed – case study of a part of the Great Vasyugan Mire, Russia / Yu. Kharanzhevskaya, A. Maloletko, A. Sinyutkina, M. Gielczewski, T. Kirschey, R. Michałowski, D. Mirosław-Świątek, T. Okruszko, P. Osuch, P. Trandziuk, M. Grygoruk // *Journal of Hydrology*. – 2020. – 125315. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125315
22. Савичев О.Г., Ян Хэнь. Гидрогеологические и гидрологические условия функционирования Обского и Баксинского болот (юго-восток Западно-Сибирской равнины) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332. – № 4. – С. 43–56.
23. Bleuten W., Zarov E., Schmitz O. A high-resolution transient 3- dimensional hydrological model of an extensive undisturbed bog complex in West Siberia // *Mires and Peat*. – 2020. – V. 26. – P. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1769>
24. Effects of long-term drainage on vegetation, surface topography, hydrology and water chemistry of north-eastern part of Great Vasyugan Mire (Western Siberia) / A.A. Maloletko, A.A. Sinyutkina, L.P. Gashkova, Yu.A. Kharanzhevskaya, M.G. Magur, E.S. Voistina, E.S. Ivanova, L.A. Chudinovskaya, A.A. Khaustova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2018. – V. 211 (1). – 012033. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/211/1/012033> (дата обращения 15.04.2023).
25. Sinyutkina A.A. Drainage consequences and self-restoration of drained raised bogs in the south-eastern part of Western Siberia: Peat accumulation and vegetation dynamics // *Catena*. – 2021. – № 205. – 105464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105464> (дата обращения 15.04.2023).
26. Post-fire ecological consequences within the drained site of the Great Vasyugan Mire: retrospective water-thermal regime and pyrogenic disturbance estimation / A.A. Sinyutkina, L.P. Gashkova, N.G. Koronotova, A.A. Maloletko, N.P. Mironycheva-Tokareva, I.V. Russkikh, O.V. Serebrennikova, E.B. Strel'nikova, E.K. Vishnyakova, Yu.A. Kharanzhevskaya // *IOP Conference Series: Earth Environmental Sciences*. – 2020. – V. 408. – 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012037.
27. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. – М.: Форум, 2011. – 464 с.
28. Bourgault M.-A., Larocque M., Garneau M. Quantification of peatland water storage capacity using the water table fluctuation method // *Hydrological Processes*. – 2017. – № 31 (5). – P. 1184–1195. DOI: 10.1002/hyp.11116
29. Bourgault M.-A., Larocque M., Garneau M. How do hydrogeological setting and meteorological conditions influence water table depth and fluctuations in ombrotrophic peatlands? // *Journal of Hydrology X*. – 2019. – 100032. DOI: 10.1016/j.hydroa.2019.100032
30. The effects of long-term drainage and subsequent restoration on water table level and pore water chemistry in boreal peatlands / T. Haapalehto, J.S. Kotiaho, R. Matilainen, T. Tahvanainen // *Journal of Hydrology*. – 2014. – V. 519. – P. 1493–1505. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.013
31. Intra-annual groundwater levels and water temperature patterns in raised bogs affected by human impact in mountain areas in Poland / M. Drewnik, A. Rajwa-Kuligiewicz, M. Stolarczyk, S. Kucharzyk, M. Żelazny // *Science of The Total Environment*. – 2018. – V. 624. – P. 991–1003. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.203

32. Water table dynamics in undisturbed, drained and restored blanket peat / J. Holden, Z.E. Wallage, S.N. Lane, A.T. McDonald // *Journal of Hydrology*. – 2011. – V. 402 (1-2). – P. 103–114. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.010

REFERENCES

1. Bragazza L., Buttler A., Robroek B.J.M., Albrecht R., Zaccane C., Jassey V.E.J., Signarbieux C. Persistent high temperature and low precipitation reduce peat carbon accumulation. *Global Change Biology*, 2016, vol. 22, pp. 4114–4123.
2. Walker T.N., Garnett M.H., Ward S.E., Oakley S., Bardgett R.D., Ostle N.J. Vascular plants promote ancient peatland carbon loss with climate warming. *Global Change Biology*, 2016, vol. 22 (5), pp. 1880–1889.
3. Ise T., Dunn A., Wofsy S., Moorcroft P.R. High sensitivity of peat decomposition to climate change through water-table feedback. *Nature Geoscience*, 2008, no. 1, pp. 763–766. Available at: <https://doi.org/10.1038/ngeo331> (accessed 15 April 2023).
4. Turetsky M.R., Benscoter B., Page S., Rein G., Van der Werf G.R., Watts A. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 2015, vol. 8, pp. 11–14.
5. Feurdean A., Galka M., Florescu G., Diaconu A.-C., Tanțău I., Kirpotin S., Hutchinson S.M. 2000 years of variability in hydroclimate and carbon accumulation in western Siberia and the relationship with large-scale atmospheric circulation: a multi-proxy peat record. *Quaternary Science Reviews*, 2019, 105948. DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.105948
6. Klein E.S., Booth R.K., Yu Z., Mark B.G., Stansell N.D. Hydrology-mediated differential response of carbon accumulation to late Holocene climate change at two peatlands in South central Alaska. *Quaternary Science Review*, 2013, vol. 64, pp. 61–75.
7. Strack M., Waddington J.M., Turetsky M., Roulet N.T., Byrne K.A. Northern peatlands, greenhouse gas exchange and climate change. *Peatlands and Climate Change*. Ed. by M. Strack. Finland, International Peat Society, 2008. pp. 44–69.
8. Zhang W., Miller P.A., Smith B., Wania R., Koenig T., Doscher R. Tundra shrubification and tree-line advance amplify arctic climate warming: results from an individual-based dynamic vegetation model. *Environmental Research Letters*, 2013, vol. 8, 034023.
9. Fritz C., Campbell D.I., Schipper L.A. Oscillating peat surface levels in a restiad peatland, New Zealand-magnitude and spatiotemporal variability. *Hydrological Processes*, 2008, vol. 22 (17), pp. 3264–3274. DOI: 10.1002/hyp.6912
10. Ivanov K.E. *Vodooobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water exchange in mire landscapes]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 280 p.
11. Guillaume B., Ponçot A., Pohl B., Lhosmot A., Steinmann M. Statistical hydrology for evaluating peatland water table sensitivity to simple environmental variables and climate changes application to the mid-latitude/altitude Frasnian peatland (Jura Mountains, France). *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 754, 141931.
12. Ivanov K.E., Novikov S.M., Romanova E.A. *Bolota Zapadnoy Sibiri: ikh stroenie i gidrologicheskiy rezhim* [Peatlands of Western Siberia: their structure and hydrological regime]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. 447 p.
13. *Gidrologiya zabolochennykh territoriy zony mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri* [Hydrology of mires in the permafrost zone of Western Siberia]. Ed. by S.M. Novikov. St. Petersburg, VVM Publ., 2009. 536 p.
14. *Gidrometeorologicheskiy rezhim i vodny balans verkhovykh bolot Severo-Zapada Rossii (na primere bolota Lammin-Suo)* [Hydrometeorological regime and water balance of raised bogs in the North-West of Russia (on the example of the Lammin-Suo bog)]. Eds. S.M. Novikov, V.I. Batuev. St. Petersburg, Svoe izdatelstvo Publ., 2019. 448 p.
15. Batuev V.I., Kalyuzhny I.L. Analiz faktorov, opredelyayushchikh mnogoletnee izmenenie stoka s oligotrofnykh bolot [Analysis of the factors, determining the long-term change in runoff from oligotrophic bogs]. *Water industry of Russia*, 2020, 6, pp. 28–46.
16. Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A., Romanyuk K.D. Izmenenie vodnogo rezhima bolot severa i severo-zapada Rossii pod vliyaniem klimaticheskikh faktorov [Changes in the water regime of mires in the north and north-west of Russia under the influence of climatic factors]. *Water resources*, 2012, vol. 39, no. 1, pp. 13–25.
17. Babikov B.V. Gidrologicheskaya rol bolot i vodnoe pitanie rek [Hydrological role of mires in water supply of rivers]. *Forest Journal*, 2018, no. 5, pp. 38–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38
18. Babikov B.V. Vodoreguliruyushchie svoystva osushennykh lesov i vodnoe pitanie rek [Water-regulating properties of drained forests and water supply of rivers]. *Lisino. 200 let sluzheniya lesam Rosii* [Lisino. 200 years of the forests serving of Russia]. St. Petersburg, SPbGLTA Publ., 2009. pp. 181–187.
19. Savichev O.G., Bazanov V.A., Skogarev A.A. O vliyaniy zabolochennosti i lesistosti vodosborov na vodny stok rek taezhnoy zony Zapadnoy Sibiri [On the impact of peatlands area and forest cover of watersheds on the water runoff of rivers in the taiga zone of Western Siberia]. *Bulletin of the Tomsk State University*, 2011, no. 344, pp. 200–203.
20. Kharanzhevskaya Yu.A., Sinyutkina A.A. Investigating the role of bogs in the streamflow formation within the Middle Ob Basin. *Geography and Natural Resources*, 2017, vol. 38, no. 3, pp. 256–266. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2017-3(97-109)
21. Kharanzhevskaya Y., Maloletko A., Sinyutkina A., Gielczewski M., Kirschey T., Michałowski R., Mirosław-Świątek D., Okruszko T., Osuch P., Trandziuk P., Grygoruk M. Assessing mire-river interaction in a pristine Siberian bog-dominated watershed – case study of a part of the Great Vasyugan Mire, Russia. *Journal of Hydrology*, 2020, 125315. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125315
22. Savichev O.G., Yang Hen. Hydrogeological and hydrological conditions of the functioning of the Ob and Baksa fens (southeast of the West Siberian Plain). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 4, pp. 43–56. In Rus.
23. Bleuten W., Zarov E., Schmitz O. A high-resolution transient 3-dimensional hydrological model of an extensive undisturbed bog complex in West Siberia. *Mires and Peat*, 2020, vol. 26, pp. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1769>
24. Maloletko A.A., Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Kharanzhevskaya Yu.A., Magur M.G., Voistinova E.S., Ivanova E.S., Chudinovskaya L.A., Khaustova A.A. Effects of long-term drainage on vegetation, surface topography, hydrology and water chemistry of north-eastern part of Great Vasyugan Mire (Western Siberia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 211 (1), 012033 available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/211/1/012033> (accessed 15 April 2023).

25. Sinyutkina A.A. Drainage consequences and self-restoration of drained raised bogs in the south-eastern part of Western Siberia: peat accumulation and vegetation dynamics. *Catena*, 2021, no. 205, 105464. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105464> (accessed 15 April 2023).
26. Sinyutkina A.A., Gashkova L.P., Koronatova N.G., Maloletko A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Russkikh I.V., Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Vishnyakova E.K. Kharanzhevskaya Yu.A. Post-fire ecological consequences within the drained site of the Great Vasyugan Mire: retrospective water-thermal regime and pyrogenic disturbance estimation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 408, 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012037
27. Vukolov E.A. *Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsiy s ispolzovaniem paketov STATISTICA i EXCEL* [Basics of statistical analysis. Manual on statistical methods and operations research using STATISTICA and EXCEL Packages]. Moscow, Forum Publ., 2011. 464 p.
28. Bourgault M.-A., Larocque M., Garneau M. Quantification of peatland water storage capacity using the water table fluctuation method. *Hydrological Processes*, 2017, no. 31 (5), pp. 1184–1195. DOI: 10.1002/hyp.11116
29. Bourgault M.-A., Larocque M., Garneau M. How do hydrogeological setting and meteorological conditions influence water table depth and fluctuations in ombrotrophic peatlands? *Journal of Hydrology*, 2019, X, 100032. DOI: 10.1016/j.hydroa.2019.100032
30. Haapalehto T., Kotiaho J. S., Matilainen R., Tahvanainen T. The effects of long-term drainage and subsequent restoration on water table level and pore water chemistry in boreal peatlands. *Journal of Hydrology*, 2014, vol. 519, pp. 1493–1505. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.013
31. Drewnik M., Rajwa-Kuligiewicz A., Stolarczyk M., Kucharzyk S., Żelazny M. Intra-annual groundwater levels and water temperature patterns in raised bogs affected by human impact in mountain areas in Poland. *Science of the Total Environment*, 2018, vol. 624, pp. 991–1003. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.203
32. Holden J., Wallage Z.E., Lane S.N., McDonald A.T. Water table dynamics in undisturbed, drained and restored blanket peat. *Journal of Hydrology*, 2011, vol. 402 (1–2), pp. 103–114. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.010

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Юлия Александровна Харанжевская, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Россия, 634050, г. Томск, ул. Гагарина, 3. kharan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9945-0129>

Поступила в редакцию: 10.05.2023

Поступила после рецензирования: 26.05.2023

Принята к публикации: 22.11.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yulia A. Kharanzhevskaya, Cand. Sc., senior researcher, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, 3 Gagarin street, Tomsk, 634050, Russian Federation. kharan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9945-0129>

Received: 10.05.2023

Revised: 26.05.2023

Accepted: 22.11.2023