

УДК 550.46

ФОНОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД ВЕРХОВЫХ БОЛОТ В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Потапова Татьяна Михайловна¹,
ptm2000@mail.ru

Марков Михаил Леонидович²,
2019mml@mail.com

Носаль Андрей Павлович³,
Nosal_AP@mail.ru

Савичев Олег Геннадьевич⁴,
OSavichev@mail.ru

¹ Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета,
Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

² Государственный гидрологический институт,
Россия, 199053, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 2-я линия, 23.

³ Российский научно-исследовательский институт водного хозяйства,
Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23.

⁴ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность работы. Установление фоновых физико-химических и геохимических показателей болотных вод является необходимым этапом оценки допустимой антропогенной нагрузки на болота, в том числе допустимых сбросов загрязняющих веществ. Однако до последнего времени подобные сведения, полученные с учетом требований российского природоохранного законодательства, отсутствовали, что и обусловило актуальность исследования.

Цель работы: оценка фоновых показателей эколого-геохимического состояния вод верховых болот в таежной зоне.

Методы исследования: ландшафтно-геохимический и статистические методы, методы определения химического состава болотных вод.

Результаты и выводы. Выполнен анализ данных многолетних гидрохимических наблюдений на верховых болотах таежной зоны на территории Российской Федерации на примере трех типовых и наиболее изученных болот – Ламмин-Суо (Ленинградская область, среднетаежная подзона), Иласского (Архангельская область, северотаежная подзона) и Васюганского (восточный участок, Томская область, южнотаежная подзона). Выбраны характерные показатели состояния исследуемых болотных вод (рН, сумма главных ионов, содержание органических веществ по бихроматной окисляемости, концентрации фосфатов, NH_4^+ , Cl , Fe , Al , Cu , Zn) и определены фоновые значения. На этой основе установлены фоновые значения приоритетных физико-химических и геохимических показателей вод верховых болот на территории Российской Федерации для целей нормирования антропогенного воздействия на верховые болота. Показано, что фоновые значения в ряде случаев существенно больше установленных предельно допустимых концентраций в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения. С учетом этого признаком антропогенного изменения состояния болотной экосистемы могут быть не только еще более высокие (по сравнению с фоновыми) фактические значения гидрохимических показателей, но и относительно заметные их колебания.

Ключевые слова:

Верховые болота, Васюганское болото, Иласское болото, болото Ламмин-Суо, болотные воды, химический состав, фоновые показатели.

Введение

Охрана и рациональное использование водных ресурсов является необходимым условием устойчивого социально-экономического развития, а соответствующие требования к водопользованию – важной составляющей природоохранного законодательства многих стран [1], в том числе Российской Федерации [2]. Эти требования распространяются и на болота – природные образования, согласно [3], занимающие часть земной поверхности и представляющие собой отложения торфа, насыщенные водой и покрытые специфической расти-

тельностью. При этом следует отметить, что болота в Российской Федерации отнесены к поверхностным водным объектам, которые состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии – границы водного объекта [2]. Однако у многих болот нет свободной поверхности. Напротив, поверхность многих болот покрыта древесной растительностью, что не характерно для остальных поверхностных водных объектов. Еще одна особенность – граница болот определяется по нулевой глубине залежи торфа [2], под которым, в свою очередь, понимается органическая горная по-

рода, образующаяся в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержащая не более 50 % минеральных компонентов на сухое вещество [4].

Тем не менее, при всей неоднозначности и несогласованности системы терминов и определений в области изучения и использования болот нет сомнений, что болота – сложные объекты окружающей среды, состояние которых является одновременно показателем, причиной и следствием целого комплекса физических и геохимических процессов [5]. Это определяет общую актуальность исследований болот, в том числе исследований способов нормирования антропогенных воздействий на болота.

В настоящее время достаточно детально проработаны вопросы оценки допустимого воздействия сбросов сточных вод в водоемы и водотоки [1, 6, 7]. Методика такой оценки, по сути, сводится к определению такой концентрации загрязняющего вещества в сточных водах $C_{wst,lim}$, при которой в контрольном створе отсутствует превышение относительно «гидрохимического фона» (если «фоновая» концентрация C_b меньше предельно допустимой C_{lim}) или предельно допустимой концентрации C_{lim} (если $C_b \geq C_{lim}$), что в общем случае соответствует условию [7]:

$$C_{wst,lim} = n(C_{lim}f(C) - C_b) + C_b, \quad (1)$$

где $f(c)$ – функция трансформации вещества в водном объекте; в последние несколько лет на территории Российской Федерации принимается $f(c)=1$; n – кратность разбавления, связанная с концентрациями вещества в сточных водах и исследуемом водном объекте уравнением (2):

$$n = \frac{C_{wst} - C_b}{C_{x,max} - C_b}, \quad (2)$$

где C_{wst} – концентрация вещества в сточных водах; $C_{x,max}$ – максимальная концентрация вещества в контрольном створе.

Очевидно, что один из ключевых параметров уравнений (1, 2), определяющих эффективность нормирования сбросов загрязняющих веществ, – фоновая концентрация, под которой понимается расчетное значение концентрации химического вещества в створе, расположенном выше контролируемых источников этого вещества, полученное с учетом природных и антропогенных неблагоприятных условий [7]. Фактически расчет величины C_b сводится к оценке верхнего предела погрешности определения математического ожидания в период с наибольшими за год содержаниями вещества, которое, в свою очередь, определяется по зависимости от расхода воды или как среднее арифметическое (при отсутствии достоверной связи):

$$C_b = C_{a,mm} + \frac{t_\alpha \sigma}{\sqrt{M}}, \quad (3)$$

где $C_{a,mm}$, σ и M – среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение и объем выборки за месяц (с возможностью расширения временного интервала за счет смежных интервалов, удовле-

творяющих условию статистической однородности) с наибольшими за год содержаниями исследуемого вещества; t_α – коэффициент Стьюдента при уровне значимости $\alpha=5\%$ [8].

Ряды гидрохимических наблюдений на болотах на территории Российской Федерации весьма ограничены, особенно в случае верховых болот, под которыми, согласно [4], понимаются торфяные болота с преобладанием залежи (не менее половины объема), сложенной торфами, образовавшимися преимущественно из растительности олиготрофного типа (в ботаническом составе верховых торфов не должно быть более 10 % остатков растительности евтрофного типа). Соответственно, существует ряд нерешенных вопросов методики определения фоновых концентраций растворенных, коллоидных и взвешенных веществ в водах верховых болот, в том числе связанных с определением наихудших гидрохимических и гидрологических условий на верховых болотах. Все это и определило цель исследования – оценку фоновых геохимических показателей болотных вод деятельного горизонта торфяной залежи верховых болот таежной зоны в пределах Российской Федерации, а также основные задачи в рамках обоснования методики определения фоновых геохимических показателей болотных вод верховых болот: 1) выявление периодов с наиболее высокими содержаниями веществ в болотных водах деятельного горизонта торфяной залежи и наихудшими гидрологическими условиями; 2) выявление веществ различного генезиса и обоснование перечня нормируемых показателей.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны наиболее изученные участки верховых болот, расположенных на территории Архангельской (Иласский болотный массив в северотаежной подзоне), Ленинградской (болото Ламмин-Суо в среднетаежной подзоне) и Томской области (Васюганский болотный массив в южно-таежной подзоне, восточный участок у с. Поляненька Бакчарского района). На болотах Иласском и Ламмин-Суо в течение относительно длительного периода функционировали болотные посты. Там же проводились гидрохимические наблюдения специалистами Государственного гидрологического института (ГГИ) Росгидромета и Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) [9–12]. На восточном участке Васюганского болотного массива в течение нескольких десятилетий проводятся комплексные геоботанические, гидрологические и геохимические исследования специалистами Сибирского научно-исследовательского института торфа (СибНИИТ), Томского государственного университета (ТГУ), Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН, Томского политехнического университета (ТПУ) и ряда других организаций [13–17]. Подробное описание исследуемых участков болот приведено в [9, 12, 14,

17]. Также привлекались опубликованные материалы гидрохимических обобщений по другим верховым болотам Северной Евразии [18–22].

Отбор проб болотных вод проводился из деятельного горизонта торфяной залежи с учетом требований [23, 24]. Отбирались пробы болотных вод не только с участков с преобладанием верховой торфяной залежи, но и переходной, поскольку верховые участки очень редко непосредственно граничат с суходолами. Соответственно, отбор проб в пределах переходных участков может привести к необъективной оценке фонового состояния именно верховых болот.

Обобщение данных производилось с учетом выбраковки экстремальных значений по методике [8] и при условии использования одинаковых или сопоставимых методов: рН – потенциометрический; концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , CO_2 , перманганатная (ПО) и бихроматная (БО) окисляемости – титриметрический; SO_4^{2-} – турбидиметрический; Si , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , фосфаты, Fe – фотометрический, масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой с использованием масс-спектрометра NexION 300D; Na^+ , K^+ – ионная хроматография; Zn, Cu, Al – инверсионно-вольтамперометрический, атомно-абсорбционный, масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой. Лабораторные работы выполнялись в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербургского государственного (СПбГУ) и Томского политехнического (ТПУ) университетов, АО «Томскгеомониторинг» по аттестованным методикам.

Результаты исследования

Воды деятельного горизонта изученных верховых болот в среднем за многолетний период – с малой и очень малой минерализацией, по величине рН – кислые и слабокислые, с повышенным содержанием органических веществ (ОВ) по перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости (табл. 1). Значительная часть ОВ представлена гуминовыми (ГК) и фульвокислотами (ФК) [17], вследствие чего достаточно сложно использовать существующие геохимические классификации, основанные на сравнении эквивалентных концентраций главных ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Среди катионов обычно преобладает Ca^{2+} , а среди анионов – HCO_3^- , SO_4^{2-} и ФК.

В течение года наиболее низкие значения рН и суммы главных ионов Σ_{mi} (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) в ряде случаев приурочены к весенне-летнему половодью, когда в болотные воды поступают кислые и слабокислые ультрапресные снеготалые воды и усиливается вынос органических кислот из деятельного горизонта торфяной залежи. Но аналогичные изменения могут происходить и в результате выпадения дождей в летне-осенний период и оттепелей в зимний. Во внутригодовом изменении концентраций органических и биогенных (соединения N, P, Si) веществ, железа и микроэлементов ярко выраженных тенденций в целом не выявлено, но также отмечена существен-

ная изменчивость в течение года и в различных внутриболотных экосистемах.

В качестве наиболее общей закономерности можно лишь отметить некоторое уменьшение геохимических показателей болотных вод при увеличении интенсивности водообмена. Например, для переходных участков окраины Васюганского болота у с. Полынянка, где в весенние месяцы уровень болотных вод, по данным Ю.А. Харанжевской [25], может быть выше средней поверхности болота (рисунок) и наблюдается сброс воды на границу с суходолом, отмечено более заметное, по сравнению в грядово-мочажинным комплексом (ГМК) и сосново-сфагново-кустарничковым болотом (региональное название – «рям»), уменьшение рН, Σ_{mi} , содержаний Si, Fe, NH_4^+ (табл. 1).

При этом следует отметить, что воды деятельного горизонта верховых болот, по сравнению с соответствующими показателями переходных и низинных болот, отличаются наименьшими значениями рН, суммарного содержания главных ионов и наибольшими значениями окисляемости. Сопоставление материалов гидрохимических наблюдений на болотах Российской Федерации, в разной степени затронутых хозяйственной деятельностью, показало, что антропогенное воздействие на химический состав вод верховых болот связано, прежде всего: 1) с аварийными сбросами нефтегазоводяной эмульсии и минерализованных вод, используемых в системе поддержания пластового давления (ППД) при добыче и транспортировке углеводородов в Западной Сибири и на севере европейской территории Российской Федерации (ЕТР); 2) поверхностным и подповерхностным стоком с производственных территорий нефтегазодобывающих и нефтегазотранспортных предприятий.

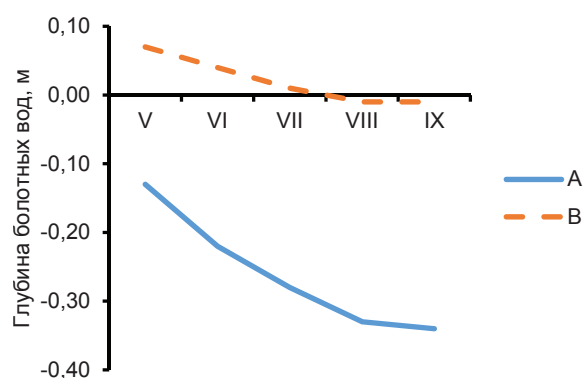


Рисунок. Среднемесячные значения (1998–2003 гг.) глубины залегания болотных вод относительно средней поверхности Васюганского болота у с. Полынянка на участках преобладания внутриболотных экосистем: А) верховой сосново-сфагново-кустарничковой; В – переходной сфагново-осоковой топи (по данным Ю.А. Харанжевской [25])

Figure. Monthly average values (1998–2003) of bog water depths concerning average surface of the Vasyugan bog at Polynyanka settlement on sites of ecosystems: А) oligotrophic pine-sphagnum-shrub; В – mesotrophic moss-grass (the data of Yu.A. Kharanzhevskaya [25])

Таблица 1. Средние арифметические значения физико-химических и геохимических показателей вод деятельного горизонта Васюганского и Иласского болот и погрешности их определения при уровне значимости 5 %

Table 1. Average values of physical, chemical and geochemical parameters of bog waters (active horizon) of the Vasyugan and the Ilasskoye bogs and an error of their definition for significance value 5 %

Болото Vog	Показатель Index	Объект Object	Весеннее половодье Spring flood	Летняя межень Summer low water	Осенний паводок Autumn rain flow	Летне-осенний период Summer-au- tumn period	Зимняя межень Winter low water	Год Year
Восточный участок Васюганского болота. Период наблюдений: 2003–2017 гг. Количество проб 32...52 Eastern part of the Vasyugan bog. Observation period: 2003–2017. Number of samples 32–52	рН	ПУ MSOB	3,89±0,12	–	–	4,70±0,89	4,02±0,61	4,24±0,39
		Рям гуам	3,95±0,13	–	–	4,49±0,32	4,28±0,34	4,31±0,26
		ГМК HRC	–	–	–	5,25±0,59	4,73±0,36	4,89±0,39
	$\Sigma_{ми}$, мг/дм ³ mg/dm ³	ПУ MSOB	16,3±10,3	–	–	31,5±14,3	19,7±5,80	22,8±5,80
		Рям гуам	21,8±9,6	–	–	20,8±4,8	19,4±3,4	20,3±2,7
		ГМК HRC	–	–	–	30,5±3,0	22,3±5,3	24,8±3,9
	Cl ⁻ , то же	ПУ MSOB	1,2±0,1	–	–	2,5±0,6	2,7±0,9	2,4±0,5
		Рям гуам	1,7±0,6	–	–	2,0±0,4	0,7±0,7	2,1±0,5
		ГМК HRC	–	–	–	1,9±0,7	1,6±0,6	1,7±0,5
	NH ₄ ⁺ , -//-	ПУ MSOB	2,870±0,639	–	–	4,428±2,494	5,692±2,887	4,932±1,467
		Рям гуам	4,328±1,360	–	–	3,695±1,721	4,625±1,971	4,197±1,820
		ГМК HRC	–	–	–	1,393±0,078	3,022±2,788	2,534±1,854
	P*, -//-	ПУ MSOB	0,017±0,015	–	–	0,020±0,015	0,083±0,098	0,055±0,049
		Рям гуам	0,019±0,011	–	–	0,032±0,016	0,083±0,044	0,067±0,033
		ГМК HRC	–	–	–	0,018±0,011	0,092±0,073	0,070±0,052
	Si, -//-	ПУ MSOB	1,61±1,23	–	–	2,82±0,69	5,62±1,84	4,14±1,09
		Рям гуам	3,89±3,15	–	–	2,61±0,66	3,57±0,65	3,37±0,67
		ГМК HRC	–	–	–	2,33±0,77	2,86±0,87	2,70±0,69
	Fe, -//-	ПУ MSOB	1,317±0,509	–	–	2,431±1,218	2,551±0,822	2,367±0,539
		Рям гуам	2,003±0,510	–	–	2,096±0,347	1,759±0,488	1,810±0,342
		ГМК HRC	–	–	–	2,310±0,270	1,328±0,474	1,622±0,430
	Al, мкг/дм ³ mkg/dm ³	ПУ MSOB	–	–	–	294,9±102,1	750,4±668,8	627,6±482,7
		Рям гуам	–	–	–	236,2±105,8	537,6±185,7	494,5±160,3
		ГМК HRC	–	–	–	284,8±20,7	762,3±430,6	656,2±335,8
Cu, то же	ПУ MSOB	–	–	–	1,1±0,4	3,7±1,45	2,6±1,0	
	Рям гуам	–	–	–	2,9±0,9	4,8±2,0	4,2±1,4	
	ГМК HRC	–	–	–	1,5±0,3	3,7±1,9	3,1±1,4	
Zn, -//-	ПУ MSOB	–	–	–	17,3±7,0	53,7±31,9	36,2±19,7	
	Рям гуам	–	–	–	21,2±2,5	37,8±12,5	31,7±9,5	
	ГМК HRC	–	–	–	17,2±3,7	69,0±50,1	53,5±25,4	
ПО, мгО/дм ³ РО, мгО/дм ³	ПУ MSOB	48,87±3,90	–	–	102,51±41,58	96,58±19,89	93,07±16,71	
	Рям гуам	88,20±4,56	–	–	97,59±14,88	100,74±10,50	96,48±8,31	
	ГМК HRC	–	–	–	136,11±54,11	92,86±12,83	105,84±29,46	
БО, мгО/дм ³ ДО, мгО/дм ³	ПУ MSOB	75,25±6,28	–	–	248,93±167,88	170,78±20,88	185,25±61,64	
	Рям гуам	110,53±13,52	–	–	158,95±41,39	163,51±23,47	152,44±22,61	
	ГМК HRC	–	–	–	278,73±2,64	123,19±43,56	169,85±108,84	
Иласский болотный массив. Период наблюдений: 1993–2015 г. Количество проб – 30–50 The Ilasskoye bog. Observation period: 1993–2015. Number of samples 30–50	рН	ГМК HRC	4,50±0,11	4,45±0,07	4,36±0,08	–	4,29±0,09	4,38±0,08
	$\Sigma_{ми}$, мг/дм ³ mg/dm ³		27±2,2	29±2,4	25±1,8	–	29±6,3	26±3,2
	Cl ⁻ , то же		5,3±1,6	4,2±1,3	4,0±1,5	–	4,7±1,7	4,5±1,3
	NH ₄ ⁺ , -//-		0,30±0,12	0,20±0,08	0,10±0,05	–	0,20±0,07	0,16±0,09
	P*, -//-		0,015±0,010	0,023±0,014	0,015±0,011	–	0,025±0,012	0,020±0,013
	Si, -//-		2,30±0,23	2,05±0,26	2,53±0,39	–	1,13±0,14	1,95±0,23
	Fe, -//-		2,07±0,23	3,12±0,15	3,10±0,17	–	1,83±0,25	2,62±0,27
	БО, мгО/дм ³ ДО, мгО/дм ³		193±53	240±47	203±31	–	172±29	199±33

Таблица 2. Средний химический состав вод жидкой фракции шламовых амбаров и хозяйственно-бытовых сточных вод в пределах заболоченных территорий Сибири [26], мг/дм³

Table 2. Average chemical composition of liquid fraction of waste products of oil wells drilling and sewage within the limits of boggy territories of Siberia [26], mg/dm³

Показатель Index	Шламовые амбары Waste product of drilling	Хозяйственно- бытовые стоки Sewage
pH (единицы pH) units pH	8,00±0,59	7,59±0,06
Σ_{mi}	7211,8±1436,7	830,8±79,3
Ca ²⁺	248,4±115,1	68,6±6,7
Mg ²⁺	31,8±7,7	18,7±3,3
Na ⁺	2124,8±1344,1	82,2±13,0
K ⁺	202,2±142,7	11,6±1,6
HCO ₃ ⁻	338,3±106,1	536,4±21,8
CO ₃ ²⁻	3,8±2,3	–
SO ₄ ²⁻	388,1±313,3	34,1±3,8
Cl ⁻	3874,4±2291,8	79,2±9,3
NO ₃ ⁻	4,96±1,72	2,57±0,42
NO ₂	0,026±0,017	0,247±0,045
NH ₄ ⁺	1,60±0,54	45,54±3,68
Фосфаты Phosphates	0,68±0,30	4,68±0,71
Si	7,32±2,03	11,71±1,57
БО/DO	364,69±57,61	278,10±60,55
Нефтепродукты Oil products	0,511±0,108	1,579±0,546
Fe	19,277±11,740	2,852±0,459
Cu	0,0072±0,0046	0,0059±0,0010
Zn	0,0336±0,0170	0,0116±0,0028

Эти два вида воздействий обусловлены размещением огромного количества подобных объектов, либо промышленных и магистральных нефте- и газопроводов именно на болотах. Сброс иных производственных или хозяйственно-бытовых стоков на болота возможен (например, сброс производственных сточных вод при предполагаемой добыче ос-

адочных железных руд), но он преимущественно осуществляется на низинных или переходных болотах. Также возможно выпадение загрязняющих веществ из атмосферного воздуха с атмосферными осадками и путем сухого осаждения, но отличить такой вид воздействия от последствий выщелачивания и растворения в болотной среде частиц атмосферного аэрозоля природного происхождения чрезвычайно сложно, принимая во внимание погрешности используемых в настоящее время методов отбора и анализа проб.

Сравнение показателей химического состава сточных [26] и болотных вод показало, что, во-первых, сточные воды (и производственные, и хозяйственно-бытовые), фактически или потенциально поступающие в верховые болота северных регионов, содержат (могут содержать) значительно больше растворенных солей по сухому остатку, натрия, хлоридов, сульфатов, фосфатов и ионов аммония, а pH стоков часто заметно больше, чем в болотных водах. Содержания прочих изученных веществ в сточных водах сопоставимы с соответствующими показателями болотных вод (табл. 2).

Обсуждение результатов исследования

Анализ полученных материалов показал, что в качестве расчетного периода для определения фоновых геохимических показателей вод непосредственно верховых болот может быть использован весь годичный интервал. В случае переходных и низинных болот возможно использование менее продолжительного интервала с наиболее высокими значениями геохимических показателей, например зимней и летне-осенней межени при расчете фоновых содержаний Σ_{mi} и весенне-летнего паводья при оценке фоновых значений pH.

Однако при этом следует отметить, что, во-первых, повышение уровней болотных вод на несколько сантиметров не является показателем улучшения показателей их качества. Во-вторых, геохимические показатели болотных вод практически всегда заметно больше предельно-допустимых зна-

Примечание: прочерк означает отсутствие данных, количество проб менее трёх или отсутствие привязки к паводкам (выделением характерных подпериодов внутри летне-осеннего периода); ПУ – переходный участок на окраине верхового болота; рям – верховое сосново-сфагново-кустарничковое болото; ГМК – верховой грядово-мочажинный комплекс; Σ_{mi} – сумма главных ионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻); P* – фосфор фосфатов; ПО – перманганатная окисляемость; БО – перманганатная окисляемость; в таблице приведены значения среднего арифметического и погрешностей их расчета δ , определяемых по формуле:

$$\delta = \frac{t_{\alpha} \sigma}{\sqrt{M}}$$
, где σ и M – среднее квадратичное отклонение и объем выборки; t_{α} – коэффициент Стьюдента при уровне значимости $\alpha=5\%$ [8].

Note: the crossed out section means absence of the data or quantity of samples less than three; MSOB is the mesotrophic border of an oligotrophic bog; ryam (Russian) is the oligotrophic, pine-shrub-sphagnum bog; HRC is the hollow-ridge complex – mire type which combines low elongated ridges and hollows between them; Σ_{mi} is the sum of concentration of the main ions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻); P* is the phosphorus of phosphates; PO is the permanganate oxidability (chemical oxygen consumption with potassium permanganate/permanganate index); DO is the dichromate oxidability; in the table the values of average arithmetic and errors of their defini-

tion δ , determined under the formula are resulted: $\delta = \frac{t_{\alpha} \sigma}{\sqrt{M}}$, where σ и M are the standard deviation and the volume of sample; t_{α} is the Student factor for significance value 5 % [8].

чений, установленных для хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования. Это происходит уже без каких-либо признаков антропогенного воздействия на болото, поскольку необходимым признаком болота, согласно [3, 4], является наличие торфа и болотных вод. Соответственно, болотные воды по определению всегда содержат большое количество ОВ, продуктов их разложения (например, NH_4^+ и NO_2^-) и взаимодействия органических веществ с металлами. Так, в составе ОВ торфяных болот на территории Российской Федерации, включая Васюганское болото, выделены фракции гуминовых кислот, связанные с кальцием [14], а исследования форм миграции химических элементов в торфах, минеральных почвах и природных водах в разных регионах мира позволили ряду авторов сделать вывод о нахождении значительной части тяжелых металлов и редкоземельных элементов в виде соединений с ФК и фосфатами [27–30].

Наиболее распространенное (фактически или потенциально) химическое воздействие на воды верховых болот на территории Российской Федерации связано с деятельностью нефтегазодобывающих и нефтегазотранспортных предприятий, в результате которой в болота могут поступать нефтепродукты и соленые воды системы поддержания

пластового давления. Способ поступления – преимущественно при авариях, либо с поверхностным стоком с производственных площадок. Идентификация такого загрязнения может быть достаточно эффективно проведена путем определения БО, сухого остатка и ионов Cl^- . Последний показатель является достоверным показателем и хозяйственно-бытового загрязнения (повышенное содержание в стоках поваренной соли и дезинфекция стоков с использованием хлора или гипохлорита натрия).

С учетом указанных выше фактов целесообразно максимально широкое определение фоновых значений следующих показателей вод верховых болот: 1) для идентификации загрязнения – рН, минерализация болотных вод по сухому остатку или сумме главных ионов (в предположении, что при определении сухого остатка теряется около половины содержания HCO_3^- , но возможно дополнительное увеличение суммы солей за счет остатков трудноокисляемых органических веществ), бихроматная окисляемость БО, концентрации Cl^- ; 2) для оценки эффективности восстановления нарушенных верховых болот – рН, минерализация по сухому остатку или $\Sigma_{\text{ми}}$, БО. Анализ на нефтепродукты, видимо, следует проводить при обследовании шламовых амбаров и мест аварий на нефте- и газопроводах. Прочие вещества исследуются при дополни-

Таблица 3. Фоновые значения показателей вод деятельного горизонта тестовых верховых болот и погрешности их определения при уровне значимости 5 %

Table 3. Background values of parameters of bogs active horizon waters and errors of their definition at significance value 5 %

Показатель Index	Экосистема Ecosystem	Болотный массив Ламмин-Суо The Lammine-Sua bog	Иласский болотный массив The Ilasskoye bog	Восточный участок Васюганского болота East site of the Vasyugan bog	Обобщенные фоновые значения Result
рН	Рям/Ryam	4,08±0,12	–	4,31±0,26	4,35±0,17
	ГМК/HRC	4,80±0,16	4,38±0,08	4,89±0,39	
$\Sigma_{\text{ми}}$, мг/дм ³ mg/dm ³	Рям/Ryam	18,0±3,5	–	20,3±2,7	25±3,5
	ГМК/HRC	21,0±4,7	26±3,2	24,8±3,9	
Cl^- , то же	Рям/Ryam	4,0±1,5**	–	2,1±0,5	3,1±1,2
	ГМК/HRC		4,5±1,3	1,7±0,5	
NH_4^+ , –//–	Рям/Ryam	1,10±0,76	–	4,20±1,82	1,65±1,23
	ГМК/HRC		0,16±0,09	2,53±1,85	
P*, –//–	Рям/Ryam	0,01±0,009	–	0,067±0,033	0,05±0,03
	ГМК/HRC		0,020±0,013	0,070±0,052	
Si, –//–	Рям/Ryam	–	–	3,37±0,67	2,42±0,53
	ГМК/HRC		1,95±0,23	2,70±0,69	
Fe, –//–	Рям/Ryam	0,51±0,23	–	1,81±0,34	1,96±0,74
	ГМК/HRC		1,32±0,54	1,62±0,43	
Cu, то же	Рям/Ryam	4,5±1,7	–	4,2±1,4	3,8±1,2
	ГМК/HRC		4,4±1,6	3,1±1,4	
Zn, –//–	Рям/Ryam	22,5±6,8	–	31,7±9,5	37,6±15,4
	ГМК/HRC		33,5±15,2	53,5±25,4	
БО, мгО/дм ³ DO, mg/dm ³	Рям/Ryam	140±56	–	152±23	160±32
	ГМК/HRC		199±33	170±109	

Примечания: *Фоновые значения получены как обобщенные среднемноголетние значения основных компонентов химического состава болотных вод для трех болотных массивов; **приведены среднемноголетние значения по всем исследованным болотным микроландшафтам, включая рям и ГМК.

Notes: *Background values are received as average values for three bogs; **average values on all investigated bog ecosystems are resulted.

тельном обосновании нормативов антропогенного воздействия на болота и природоохранных мероприятий. Фоновые значения гидрохимических показателей вод болот Ламмин-Суо, Иласского и Васюганского, вычисленные по уравнению (3) для годового интервала в целом, приведены в табл. 3.

Сопоставление полученных фоновых характеристик исследованных верховых болот показало, что, во-первых, в водах олиготрофных болот, территориально удаленных друг от друга, диапазоны колебаний основных гидрохимических показателей (рН, Σ_{mi} , содержания главных ионов и органических веществ по БО) находится в близких пределах и их различия с учетом погрешности определения не являются статистически значимыми. При этом средние величины общей минерализации вод (по Σ_{mi}) исследованных болот варьируют в достаточно узком интервале и соответствуют водам с очень малой минерализацией (не более 30 мг/дм³). Значения рН обычно изменяются в диапазоне 4,08–4,89 и в целом соответствуют кислым водам. Значения бихроматной окисляемости изменяются в пределах 140–199 мгО/дм³, что позволяет отнести воды верховых болот к категории высокоумифицированных вод.

Во-вторых, анализ рассмотренных выборок на однородность с использованием критериев Стьюдента и Фишера (при уровне значимости 5 %) показал, что данные по верховым болотам: Иласскому, Васюганскому (восточный участок) и Ламмин-Суо, в целом статистически однородны, что позволило объединить три выборки в одну и определить обобщенные фоновые значения физико-химических и геохимических показателей вод верховых болот. С учетом репрезентативности изученных верховых болот эти данные могут быть использова-

ны для оценки допустимого воздействия на верховые болота на всей территории Российской Федерации в пределах таежной зоны.

Заключение

В результате анализа многолетних гидрохимических наблюдений на болотах Архангельской, Ленинградской и Томской областей определены: 1) перечень приоритетных показателей эколого-геохимического состояния вод верховых болот, отражающих основные природные и антропогенные условия формирования их химического состава (рН, минерализация по сумме главных ионов Σ_{mi} , органические вещества по бихроматной окисляемости, концентрации фосфатов, NH_4^+ , Fe, Si, Al, Cu, Zn); 2) фоновые значения приоритетных физико-химических и геохимических показателей вод верховых болот, пригодные для нормирования антропогенных воздействий на верховые болота таежной зоны на территории Российской Федерации.

Фоновые значения показателей эколого-геохимического состояния вод верховых болот существенно больше установленных предельно допустимых концентраций в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения. С учетом этого признаком антропогенного изменения состояния болотной экосистемы могут быть не только еще более высокие их фактические значения, но и относительно заметные колебания. Например, концентрации Cl^- , превышающие фон в три и более раза, могут свидетельствовать о сбросе подсланевых вод на нефтепромыслах; рН более 6 – об изменении трофности болота (в результате загрязнения, осушения, изменения водного режима) и так далее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Loucks D.P., Van Beek E. Water Resources Systems Planning and Management. An introduction to Methods, Models and Applications. – Turin: UNESCO, 2005. – 680 p.
2. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 29.07.2017 г.). Принят Гос. Думой 12.04.2006 г. Одобрен Советом Федерации 26.05.2006 г. – М.: Кремль, 2006. – 47 с.
3. ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения. Дата введения 01.01.1975 г. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 65 с.
4. ГОСТ 21123–85. Торф. Термины и определения. Дата введения 01.07.1986 г. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 85 с.
5. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status / S. Hu, Zh. Niu, Y. Chen, L. Li, H. Zhang // Science of the Total Environment. – 2017. – V. 586. – P. 319–327. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001> 0048–9697 (accessed 31 October 2017).
6. Benedini M., Tsakiris G. Water Quality Modelling for Rivers and Streams. – Dordrecht: Springer, 2013. – 288 p.
7. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей (с изменениями от 29.07.2014 г.). Утв. Приказом Мин. природных ресурсов России от 17.12.2007 г. № 333. – М.: МПР России, 2014. – 35 с.
8. РД 52.24.622–2017. Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов сбросов сточных вод. Дата введения 14.06.2017 г. – М.: Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2017. – 96 с.
9. Калужный И.Л., Лавров С.А., Романюк К.Д. Водные ресурсы и режим водных объектов изменения водного режима болот Севера и Северо-Запада России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы. – 2012. – Т. 39. – № 1. – С. 13–25.
10. Калужный И.Л., Левандовская Л.Н. Гидрохимический режим и химический состав вод олиготрофных болотных массивов // Труды ГГИ. – 1974. – Вып. 222. – С. 99–118.
11. Потапова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот // Вестник СПбГУ. – 2006. – Сер. 7. – Вып. 2. – С. 85–95.
12. Потапова Т.М. Основные факторы формирования химического состава вод немелиорированных олиготрофных болот // Гидрохимические материалы. – 1991. – Т. 110. – С. 3–16.
13. Imisheva L.I. Vasyugan mire. Natural conditions, structure and functioning. – Tomsk: Tomsk state ped. univ., 2011. – 158 p.
14. Савичева О.Г., Инишева Л.И. Биологическая активность торфяных болот // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 5. – С. 607–614.

15. Inisheva L.I., Golovchenko A.V., Szajdak L.W. Distribution of organic compounds in the system of geochemically linked mires (the spurs of Vasuygan mire) // *Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Lecture Notes in Earth System Sciences.* – Switzerland: Springer, 2016. – P. 289–307.
16. Иванова Е.С., Харанжевская Ю.А., Миронов А.А. Латеральное распределение и миграция химических элементов в водах болот бассейнов рек Бакчар и Икса (Западная Сибирь) // *Вестник Московского университета. Серия 5: География.* – 2017. – № 4. – С. 55–64.
17. Савичев О.Г., Мазуров А.К. Временные изменения химического состава вод в восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* – 2018. – Т. 329. – № 2. – С. 38–48.
18. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // *География и природные ресурсы.* – 2006. – № 1. – С. 63–70.
19. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / под редакцией С.М. Новикова. – СПб.: ВВМ, 2009. – 536 с.
20. Eurasian Mires of the Southern Taiga Belt: Modern Features and Response to Holocene Palaeoclimate / T. Minayeva, W. Bleuten, A. Sirin, E.D. Lapshina // *Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies.* V. 190 / Eds. J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D.F. Whigham. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. – P. 315–341.
21. Kolpakova M.N., Naymushina O.S. Zonal Features of Bog and Lake Water Chemistry Along a Transect from Boreal to Arid Landscapes in The South of Western Siberia, Russia // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* – 2016. – V. 44. – P. 1–6.
22. Transformation of organo-ferric peat colloids by a heterotrophic bacterium / O.V. Oleinikova, L.S. Shirokova, O.S. Pokrovsky, O.Y. Drozdova, S.A. Lapitskiy, A.Y. Bychkov, E. Gérard // *Geochimica et cosmochimica acta.* – 2017. – V. 205. – P. 313–330.
23. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Изд. 3-е. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 360 с.
24. Weight W.D. *Hydrogeology Field Manual.* 2-nd ed. – USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. – 751 p.
25. Харанжевская Ю.А. Подземный сток бассейна р. Чая (западная Сибирь) и его многолетняя изменчивость: автореф. дис. ... канд. наук. – Томск, 2011. – 20 с.
26. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Геохимические условия размещения и утилизации отходов бурения в торфяно-болотных геосистемах Сибири // *Вестник Томск. гос. ун-та.* – 2013. – № 375. – С. 183–186.
27. Ephraim J.H., Allard B. *Metal Ion Binding by Humic Substances // Modelling in Aquatic Chemistry / Eds. I. Grenthe, I. Puigdomenech.* – Paris, France: OECD, Nuclear Energy Agency, 1997. – P. 207–244.
28. Solubility, Mobility, and Bioaccumulation of Trace Elements: Abiotic Processes in the Rhizosphere / B. Robinson, N. Bolan, S. Mahimairaja, B. Clothier // *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / edited by M.N.V. Prasad, Ravi Naidu, Kenneth S. Sajwan.* – New York, USA: Taylor & Francis Group, 2006. – P. 97–110.
29. In situ porewater uranium concentrations in a contaminated wetland: Effect of seasons and sediment depth / D.I. Kaplan, S.W. Buettner, Li Dien, Huang Shan, P.G. Koster van Groos, P.R. Jaffe, J.C. Seaman // *Applied Geochemistry.* – 2017. – V. 85. – P. 128–136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.11.017> 0883–292 (дата обращения 31.10.2017).
30. Modes of occurrence of rare earth elements in peat from Western Siberia / S.I. Arbuzov, S.G. Maslov, R.B. Finkelman, A.M. Mezhibor, S.S. Ilenok, M.G. Blokhin, E.V. Peregudina // *Journal of Geochemical Exploration.* – 2018. – V. 184. – P. 40–48.

Поступила 29.05.2018 г.

Информация об авторах

Потапова Т.М., кандидат химических наук, доцент Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета.

Марков М.Л., кандидат географических наук, руководитель отдела экспериментальных гидрологических исследований и математического моделирования Государственного гидрологического института.

Носаль А.П., доктор географических наук, заведующий отделом гидроэкологических исследований Российского научно-исследовательского института водного хозяйства.

Савичев О.Г., доктор географических наук, профессор Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 550.46

BACKGROUND PARAMETERS OF ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONDITION OF WATERS OF OLIGOTROPHIC BOGS IN THE TAIGA ZONE IN THE RUSSIAN FEDERATION

Tatyana M. Potapova¹,
ptm2000@mail.ru

Mikhail L. Markov²,
2019mml@mail.com

Andrey P. Nosal³,
Nosal_AP@mail.ru

Oleg G. Savichev⁴,
OSavichev@mail.ru

¹ St.-Petersburg State University,
7/9, Universitetskaya embankment, Saint Petersburg, 199034, Russia.

² State Hydrological Institute,
23, Vasilyevsky Island, 2nd line, Saint Petersburg, 199053, Russia.

³ Russian Scientific Research Institute of Water Management,
23, Mira street, Ekaterinburg, 620049, Russia.

⁴ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

Relevance. Definition of background physical, chemical and geochemical parameters of bog waters is a necessary stage in determining allowable anthropogenous loading on bogs, including allowable dumps of polluting substances. However, until recently similar data were absent that determines the relevance of this research.

The aim of the research is to define the background parameters of ecological and geochemical condition of bog waters in taiga zone.

Methods: landscape-geochemical and statistical methods, methods of determining chemical composition of bog waters.

Results and conclusions. The authors have analyzed the data on chemical composition of oligotrophic bogs of taiga zone in the territory of the Russian Federation by the example of three typical and the most studied bogs – Lammine-Suo (Leningrad region, middle taiga subzone), Ilaskoye (Arkhangelsk region, northern taiga subzone) and Vasyuganskoye (east site, Tomsk region, southern taiga subzone). The characteristic parameters of condition of the researched bog waters (pH, the sum of the main ions, dichromate oxidability, concentration of phosphates, NH_4^+ , Cl^- , Fe, Al, Cu, Zn) were chosen and background values were determined. Considering these data, the background values of priority physical, chemical and geochemical parameters of oligotrophic bog waters were established on territories of the Russian Federation for normalization of anthropogenous influence on bogs. The background values in some cases are essentially higher than the established maximum permissible concentrations in water bodies for economic and drinking assignment and fish economy. Considering this fact, higher actual values and even rather appreciable fluctuations of these parameters may be the attribute of anthropogenous change of bog ecological system condition.

Key words:

Oligotrophic bogs, the Vasyuganskoye bog, the Ilaskoye bog, the Lammine-Suo bog, bog waters, chemical composition, background parameters.

REFERENCES

1. Loucks D.P., Van Beek E. *Water Resources Systems Planning and Management. An introduction to Methods, Models and applications*. Turin, UNESCO, 2005. 680 p.
2. *Vodny kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Water Code of the Russian Federation]. Changes at 29.07.2017. Moscow, Kremlin, 2006. 47 p.
3. *GOST 19179–73. Gidrologiya sushy. Terminy i opredeleniya* [State Standard 19179–7. Hydrology of land. Terms and definitions]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1988. 65 p.
4. *GOST 21123–85. Torf. Terminy i opredeleniya* [State Standard 21123–85. Peat. Terms and definitions]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1985. 85 p.
5. Hu S., Niu Zh., Chen Y., Li L., Zhang H. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 586, pp. 319–327. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.001> 0048–9697 (accessed 31 October 2017).
6. Benedini M., Tsakiris G. *Water Quality Modelling for Rivers and Streams*. Dordrecht, Springer, 2013. 288 p.
7. *Metodika razrabotki normativov dopustimykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnyye obyekty dlya vodopolzovateley* [Methodology for developing standards for permissible discharges of substances and microorganisms into water bodies for water users]. 17.12.2007. № 333. Moscow, Ministry of Nature Resources of Russia, 2014. 35 p.
8. RD 52.24.622–2017. *Poryadok provedeniya rascheta usloynykh fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektoy dlya ustanovleniya normativov sbrosov stochnykh vod* [Procedure for calculating the background concentrations of chemicals in water bodies for establishing for wastewater discharges]. 14.06.2017. Moscow, Rostov-na-Donu, Rosgidromet, FGBU «SCHI» Publ., 2017. 96 p.

9. Kalyuzhny I.L., Lavrov S.A., Romanyuk K.D. Water resources and the regime of water bodies for changing the water regime of the marshes of the North and North-West of Russia under the influence of climatic factors. *Water resources*, 2012, vol. 39, no. 1, pp. 13–25. In Rus.
10. Kalyuzhny I.L., Levandovskaya L.N. Gidrokhimicheskiy rezhim i khimicheskiy sostav vod oligotrofnykh bolotnykh massivov [Hydrochemical regime and chemical composition of waters of oligotrophic bog massifs]. *Trudy GGI*, 1974, vol. 222, pp. 99–118.
11. Potapova T.M., Novikov S.M. Assessment of anthropogenic changes in the chemical composition of wetlands and the flow of dissolved substances from the territory of natural and reclaimed upland bogs. *Vestnik SPbGU*, 2006, Ser. 7, vol. 2, pp. 85–95. In Rus.
12. Potapova T.M. The main factors of the formation of the chemical composition of the waters of non-meliorated oligotrophic bogs. *Gidrokhimicheskiye materialy*, 1991, vol. 110, pp. 3–16. In Rus.
13. Inisheva L.I. *Vasyugan mire. Natural conditions, structure and functioning*. Tomsk, Tomsk state ped. univ., 2011. 158 p.
14. Savicheva O.G., Inisheva L.I. Biologicheskaya aktivnost torfyanykh bolot [Biological activity of peat bogs]. *Contemporary Problems of Ecology*, 2000, no. 5, pp. 607–614.
15. Inisheva L.I., Golovchenko A.V., Szajdak L.W. Distribution of organic compounds in the system of geochemically linked mires (the spurs of Vasyugan mire). *Biogenic-Abiogenic Interactions in Natural and Anthropogenic Systems. Lecture Notes in Earth System Sciences*. Switzerland, Springer, 2016. pp. 289–307.
16. Ivanova Ye.S., Kharanzhevskaya Yu.A., Mironov A.A. Lateral distribution and migration of chemical elements in the waters of the swamps of the basins of the Bakchar and Iksha rivers (Western Siberia). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya*, 2017, no. 4, pp. 55–64. In Rus.
17. Savichev O.G., Mazurov A.K. Changes of chemical composition of waters in East Part of the Vasyugan Mire (Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 2, pp. 38–48. In Rus.
18. Moskovchenko D.V. Biogeochemical features of the upper marshes of Western Siberia. *Geography and Natural Resources*, 2006, no. 1, pp. 63–70. In Rus.
19. *Gidrologiya zabolochennykh territoriy zony mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri* [Hydrology of wetlands in the permafrost zone of Western Siberia]. Ed. by S.M. Novikov. St-Petersburg, VVM Publ., 2009. 536 p.
20. Minayeva T., Bleuten W., Sirin A., Lapshina E.D. Eurasian Mires of the Southern Taiga Belt: Modern Features and Response to Holocene Palaeoclimate. *Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies*. Vol. 190. Eds. J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D.F. Whigham. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006. pp. 315–341.
21. Kolpakova M.N., Naymushina O.S. Zonal Features of Bog and Lake Water Chemistry Along a Transect from Boreal to Arid Landscapes in The South of Western Siberia, Russia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 44, pp. 1–6.
22. Oleinikova O.V., Shirokova L.S., Pokrovsky O.S., Drozdova O.Y., Lapitskiy S.A., Bychkov A.Y., Gérard E. Transformation of organo-ferric peat colloids by a heterotrophic bacterium. *Geochimica et cosmochimica acta*, 2017, vol. 205, pp. 313–330.
23. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Vol. 8. Gidrometeorologicheskie nablyudeniya na bolotakh* [Manual for hydrometeorological stations and posts. Iss. 8. Hydrometeorological observations in swamps]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990. 360 p.
24. Weight W.D. *Hydrogeology Field Manual*. 2-nd ed. USA, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008. 751 p.
25. Kharanzhevskaya Yu.A. *Podzemnyy stok basseyna r. Chaya (Zapadnaya Sibir) i ego mnogoletnyaya izmenchivost*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Ground flow of the Chaya river basin (Western Siberia) and its long-term variability. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 20 p.
26. Savichev O.G., Bernatonis P.V., Bernatonis V.K. Geochemical conditions of location and utilization of drilling wastes in peat-bog geosystems of Siberia. *Vestnik Tomsk. gos. un-ta*, 2013, no. 375, pp. 183–186. In Rus.
27. Ephraim J.H., Allard B. Metal Ion Binding by Humic Substances. *Modelling in Aquatic Chemistry*. Eds. I. Grenthe, I. Puigdomenech. Paris, France, OECD, Nuclear Energy Agency, 1997. pp. 207–244.
28. Robinson B., Bolan N., Mahimairaja S., Clothier B. Solubility, Mobility, and Bioaccumulation of Trace Elements: Abiotic Processes in the Rhizosphere. *Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation*. Eds. M.N.V. Prasad, Ravi Naidu, Kenneth S. Sajwan. New York, USA, Taylor & Francis Group, 2006. pp. 97–110.
29. Kaplan D.I., Buettner S.W., Li Dien, Huang Shan, Koster van Groos P.G., Jaffe P.R., Seaman J.C. In situ porewater uranium concentrations in a contaminated wetland: Effect of seasons and sediment depth. *Applied Geochemistry*, 2017, vol. 85, pp. 128–136. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.11.017> 0883–292 (accessed 31 October 2017).
30. Arbuzov S.I., Maslov S.G., Finkelman R.B., Mezhibor A.M., Ilenok S.S., Blokhin M.G., Peregudina E.V. Modes of occurrence of rare earth elements in peat from Western Siberia. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, no. 10, pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.10.012> (accessed 12 October 2017).

Received: 29 May 2018.

Information about the authors

Tatyana M. Potapova, Cand. Sc., senior lecturer, St.-Petersburg State University.

Mikhail L. Markov, Cand. Sc., head of a department, State Hydrological Institute.

Andrey P. Nosal, Dr. Sc., head of the department, Russian Scientific Research Institute of Water Management.

Oleg G. Savichev, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.