

УДК 556.314.6(282.256.1)
DOI: 10.18799/24131830/2023/10/4379
Шифр специальности ВАК 1.6.6, 1.6.16
Научная статья

Изменения гидрогеологических условий при заболачивании юго-востока Западно-Сибирской равнины

О.Г. Савичев¹✉

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, г. Томск

✉ OSavichev@mail.ru

Аннотация. *Актуальность.* Определяется необходимостью понимания механизмов взаимодействия подземных, болотных и речных вод в условиях сильной заболоченности в таежной зоне Западной Сибири для решения целого ряда научных и инженерных задач как в настоящее время, так и в перспективе. *Цель.* Количественная оценка изменения уровней подземных (грунтовых) вод в характерные периоды заболачивания юго-востока Западно-Сибирской равнины: 1) начало интенсивного распространения торфяных болот с мощностью торфяной залежи 0,3 м и более; 2) масштабная олиготрофизация болот. *Методы.* Математического моделирования, статистические методы. *Результаты и выводы.* Проведен анализ структуры торфяной залежи в южной части водосбора реки Чая (приток реки Обь). Показано, что масштабное формирование торфяных болот (с мощностью торфа 0,3 м и более) на рассматриваемой территории происходило примерно 4 тыс. лет назад, а олиготрофизация торфяной залежи (в региональном масштабе) – примерно 2,0...1,5 тыс. лет назад. В обоих случаях основная часть болот, предположительно, могла быть отнесена к низинному типу, но, по сравнению с современным периодом, в первом случае их общая площадь была меньше в 2 раза, а во втором – больше в 1,7 раза. С учетом этих оценок определены средние значения инфильтрации Inf и коэффициентов фильтрации K_f , получена зависимость отношения Inf/K_f от площади низинных болот и выполнены расчеты уровней подземных (грунтовых) вод в настоящее время и для сроков 1,7 и 4,1 тыс. лет назад. Показано, что при олиготрофизации торфяной залежи (примерно 2,0...1,5 тыс. лет назад) с высокой вероятностью ухудшился водообмен между болотами и подземными водоносными горизонтами и выросли уровни подземных вод. Начало интенсивного регионального заболачивания (около 4 тыс. лет назад) происходило на фоне интенсивных водно-эрозионных процессов, в результате которых отмечено накопление речного аллювия, сопровождающееся подъемом уровней речных, а затем и подземных вод.

Ключевые слова: подземные, болотные и речные воды, юго-восток Западно-Сибирской равнины, отношение инфильтрации к коэффициенту фильтрации, уровенный режим подземных вод

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 23-27-00039).

Для цитирования: Савичев О.Г. Изменения гидрогеологических условий при заболачивании юго-востока Западно-Сибирской равнины. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2023, Т. 334, № 10, С. 187–198. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/4379>

Конфликт интересов: отсутствует.

UDC 556.314.6(282.256.1)
DOI: 10.18799/24131830/2023/10/4379
Scientific paper

Changes in hydrogeological conditions during bogging in the southeast of the West Siberian plain

O.G. Savichev¹✉

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

✉ OSavichev@mail.ru

Abstract. Relevance. Determined by the need to understand the mechanisms of interaction between groundwater, swamp and river waters in conditions of severe swampiness in the taiga zone of Western Siberia to solve a number of scientific and engineering problems both at present and in the future. **Aim.** Quantitative assessment of changes in the levels of groundwaters during the characteristic periods of swamping of the southeast of the West Siberian Plain: (1) the beginning of an intensive spread of peat swamps with a peat deposit thickness of 0.3 m or more; (2) oligotrophization of swamps. **Methods.** Methods of mathematical modeling, statistical methods. **Results and conclusions.** The author has carried out the analysis of peat deposit structure in the southern part of the Chaya river (a tributary of the Ob river) catchment area. The large-scale formation of peat swamps (with a peat thickness of 0.3 m or more) in the area under consideration occurred approximately 4 thousand years ago; the oligotrophization of the peat deposit (on a regional scale) occurred approximately 2.0...1.5 thousand years ago. In both cases, the main part of the swamps presumably could be attributed to the lowland type, but compared with the modern period in the first case their total area was two times less, and in the second was 1 to 7 times more. Taking into account these estimates, the average values of infiltration Inf and filtration coefficients K_f were determined, the ratio Inf/K_f dependence on the area of low-moor peat swamps was obtained, and groundwater levels were calculated at the present time and for periods of 1.7 and 4.1 thousand years ago. During the oligotrophization of the peat deposit (approximately 2.0...1.5 thousand years ago), with a high probability, there was a deterioration in water exchange between swamps and underground aquifers and an increase in groundwater levels. The beginning of intensive regional swamping (about 4 thousand years ago) occurred against the background of intense water-erosion processes. This results in accumulation of river alluvium accompanied by a rise in the levels of river water and then groundwater.

Keywords: groundwater, swamp and river waters, southeast of the West Siberian Plain, ratio of infiltration to filtration coefficient, groundwater level regime

Acknowledgements: The research was carried out using the RSF grant (project no. 23-27-00039).

For citation: Savichev O.G. Changes in hydrogeological conditions during bogging in the southeast of the West Siberian plain. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 10, pp. 187–198. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/10/4379>

Conflict of interest: none.

Введение

Западно-Сибирская равнина характеризуется очень высокой заболоченностью, которая возрастает и в настоящее время [1–8]. По оценкам некоторых авторов [9, 10], вертикальный прирост торфяной залежи в таежной зоне составляет в среднем до 0,8 мм/год. Соответственно, можно ожидать изменения состояния остальных компонентов окружающей среды, так или иначе связанных с болотными экосистемами, в том числе и подземных вод. При этом очевидна взаимосвязь между процессами формирования режима подземных вод и болотных экосистем (далее будет использоваться термин «болотные процессы», подразумевающий комплекс взаимосвязанных событий возникновения, эволюции и деградации болот).

Этой проблемой в разное время и на примере разных регионов мира занимались многие исследователи, которым удалось получить ряд важных результатов в области гидрогеохимии, гидрогеодинамики и болотной гидрологии [11–17]. Но все же остались недостаточно раскрытыми вопросы взаимодействия подземных и болотных вод [10, 17–23]. В том числе, до сих пор не совсем понятны направленность и механизм пространственно-временных изменений фильтрационных свойств пограничных слоев болот, геомиграционных потоков и элементов водного и геохимического балансов в процессе эволюции болот, что и определило тематику соответствующих исследований в Томском политехническом университете в последние два десятилетия [17, 22, 24]. Ниже рассмотрены результаты одного из этапов этих исследований, выполненного с целью реконструкции гидрогеологических условий в восточной части современного Васюганского болота (в географическом отношении – на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, в левобережной части бассейна реки Оби на участке ее среднего течения, в

административном отношении – в южной части Томской области) и их сопоставления с этапами болотных процессов.

Объекты и методика исследования

Общая идея исследования основана на использовании взаимосвязей между режимом подземных и поверхностных вод [25, 26] и заключается в: 1) построении кривой поверхности грунтовых вод по нормали к направлению регионального подземного стока на участках с различной степенью и характером заболоченности; 2) выявлении связей между гидрогеологическими параметрами и характеристиками болотных процессов; 3) восстановлении с помощью этих зависимостей горизонта подземных вод в верхней части гидрогеологического разреза при смене ключевых этапов болотного процесса в Западной Сибири (безнапорных и слабонапорных вод преимущественно в четвертичных отложениях либо в гидравлически связанных отложениях четвертичного, неогенового и палеогенового возрастов, соответствующих по условиям залегания категории «грунтовые воды»).

С учётом этого был намечен профиль с запада-северо-запада на восток-юго-восток, пересекающий южную часть водосбора р. Чаи (левый приток р. Оби), включая ее притоки – рр. Андарма, Галка, Тетеренка, Бакчар и Икса, водосбор р. Шегарка (левый приток р. Оби), и примыкающий к р. Обь у с. Мельниково и п. Победа (рис. 1, табл. 1). В левобережной части долины р. Оби расположено низинное (по водно-минеральному питанию евтрофное) Обское болото длиной немного более 100 км и шириной до 7 км со средней толщиной торфяной залежи около 4,5 м [19, 24].

...

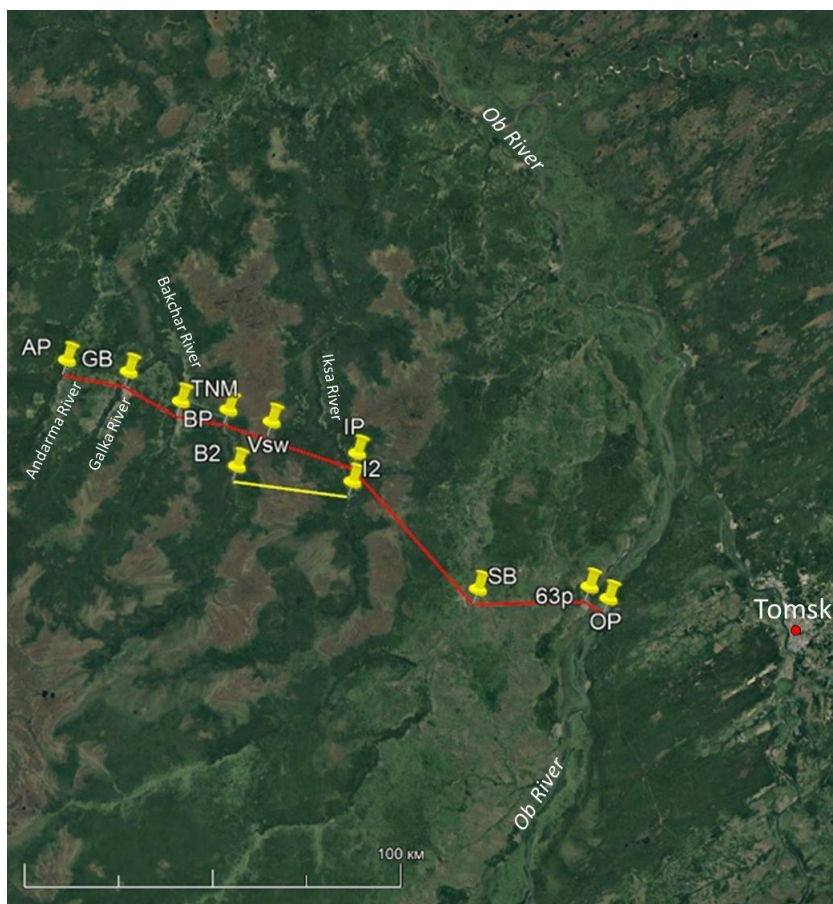


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений (табл. 1); основной расчетный профиль AP–OP проходит через посты: AP – р. Андарма у с. Паньчево; GB – р. Галка у с. Бакчар; TNM – р. Тетеренка у урочища Ново-Макаровка; BP – р. Бакчар у с. Полюнянка; Vsw – участок гидрогеохимических наблюдений ТПУ на Васюганском болоте; IP – р. Икса у с. Плотниково; SB – р. Шегарка у с. Боборыкино; 63р – гидрогеологическая скважина в с. Мельниково; OP – р. Обь у п. Победа; вспомогательный профиль B2–I2 (рис. 2) проходит через створы на р. Бакчар (B2) и Икса (I2); гидрогеохимические наблюдения на Обском болоте проводятся на участке 63р–OP (снимок Google Earth)

Fig. 1. Scheme of location of observation points (table 1); the main design profile AP–OP passes through the posts: AP is the Andarma river at Panychevo; GB is the Galka river at Bakchar; TNM is the Teterenka river at Novo-Makarovka; BP is the Bakchar river at Polynyanka; Vsw is site of hydrogeochemical observations of TPU in the Vasyugan bog; IP is the Iksa river at Plotnikovo; SB is the Shegarka river at Boborykino; 63p is the hydrogeological well at Melnikovo; OP is the Ob river at Pobeda; auxiliary profile B2–I2 (Fig. 2) passes through the alignments on the Bakchar (B2) and Iksa (I2) rivers; hydrogeochemical observations in the Ob swamp are carried out at the site 63p–OP (image from Google Earth)

...

По материалам указанных постов были определены среднемноголетние уровни и расходы воды согласно [43] с приведением к периоду с 1967 по 2005 гг. по рекам-аналогам (наиболее длинные ряды для р. Шегарки у с. Боборыкино и Иксы у с. Плотниково). Полученные значения использовались для расчета поверхности грунтовых вод при допущениях: 1) движение грунтовых вод между реками p_1 и p_2 в среднем за месячные интервалы рассматривается как условно стационарный процесс; 2) этот процесс описывается уравнением Дюпюи (1), а коэффициенты фильтрации K_f и инфильтрации Inf в каждой точке расчетного профиля близки к соответствующим средним значениям [20, 26]:

$$H_{gr,x} = \sqrt{H_{r,1}^2 - \frac{H_{r,1}^2 - H_{r,2}^2}{L_{12}} \cdot x + \frac{Inf}{K_f} \cdot (L_{12} - x) \cdot x}, \quad (1)$$

где $H_{r,1}$ и $H_{r,2}$ – уровни воды смежных рек p_1 и p_2 ; $H_{gr,x}$ – уровень подземных вод на расстоянии x от уреза реки p_1 ; L_{12} – расстояние между урезами рек p_1 и p_2 ; K_f – средний по профилю коэффициент фильтрации; Inf – средняя по профилю инфильтрация, принимаемая в среднем за многолетний период ориентировочно равной подземной составляющей речного стока, которая, в свою очередь, оценивается как среднее взвешенное из модулей годового подземного стока смежных рек M_1 и M_2 (2)–(4):

$$Inf \approx K_a \cdot \left(M_1 \cdot \frac{x}{L_{12}} + M_2 \cdot \frac{L_{12} - x}{L_{12}} \right). \quad (2)$$

$$M_j = \frac{\sum_{k=1}^{12} M_{j,k}}{12}, \quad (3)$$

$$M_{j,k} = \begin{cases} M_{j,k}, & k = 1, 2, 3, 12 \\ M_{j,3} + (M_{j,12} - M_{j,3}) \cdot \frac{k-3}{12-3}, & k > 3, k < 12 \end{cases} \quad (4)$$

где k – номер месяца календарного года; $k = 1, 2, 3, 12$ (декабрь–март) – период зимней межени, когда речной сток определяется в основном притоком подземных вод; j – номер реки; K_a – коэффициент размерности.

Тогда коэффициент фильтрации K_f может быть найден из уравнений (5), (6) по известным значениям уровней воды в смежных реках p_1 и p_2 при условии минимума функции (7):

$$K_f = \frac{Inf}{K_f} = \frac{H_x^2 - H_1^2}{(L_{12} - x) \cdot x} + \frac{H_1^2 - H_2^2}{(L_{12} - x) \cdot L_{12}}, \quad (5)$$

$$K_f = \frac{Inf}{K_f}, \quad (6)$$

$$K_r = \frac{100 \cdot |\min(H_{sf,i} - H_{gr,i}) - \Delta|}{\Delta} \rightarrow 0, \quad (7)$$

где Δ – минимальная глубина грунтовых вод в междуречье p_1 – p_2 ; i – номер расчетной точки между реками p_1 и p_2 ; $H_{sf,i}$ и $H_{gr,i}$ – высотные отметки поверхности водосбора и расчетных уровней грунтовых вод. Значения K_I и Δ определялись подбором в среде MS Excel методом общего понижающего градиента.

...

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ структуры вспомогательного профиля В2–I2 показал, что при максимальной глубине торфяной залежи 3,6 м и скорости ее прироста 0,8 мм/год (согласно [2, 5, 9, 10]) продолжительность болотных процессов на рассматриваемой территории в пределах северо-восточной окраины Васюганского болотного комплекса составляет около 4,5 тыс. лет, а в его в центральной части – 9...10 тыс. лет [5, 9, 10]. Если рассматривать мощность торфяной залежи 0,3 м как отметку, приуроченную к началу интенсивного распространения торфяных болот, то оно (начало интенсивного распространения торфяных болот) было приурочено примерно к сроку 4,1 тыс. лет назад. Обе временные оценки примерно соответствуют периоду сухого потепления [9, 44, 45] с атмосферным увлажнением чуть меньше современного и несколько более высокой температурой приземных слоев атмосферного воздуха [40, 42] и в целом согласуются с общей картиной эволюции Васюганского болотного комплекса [2, 3, 9, 21]. Если перенести пропорции профиля В2–I2 (рис. 2) на основной профиль (рис. 1), то в первом приближении можно принять, что примерно 3...5 тыс. лет назад на рассматриваемой территории болота были в основном низинными, а их суммарная площадь была вдвое меньше площади низинных болот в настоящее время (непосредственно для расчетов принят срок 4,1 тыс. лет назад).

...

Таблица 2. Результаты опробования подземных и речных вод в водосборе р. Бакчар 11.03.2023 г.

Table 2. Results of testing groundwater and river waters in the catchment area of the Bakchar river, March 11, 2023

№ рис. 1 Fig. 1 no.	Объект/Object	Широта Latitude	Долгота Longi-tude	pH, ед. pH units of pH	Сумма главных ионов Sum of the main ions	Cl ⁻
					мг/дм ³ /mg/dm ³	
ВР	р. Бакчар/the Bakchar river	56,999	82,339	7,50	680,4	12,2
ВР(г1)	Подземные воды в с. Поротниково (глубина 5 м) Groundwater at Porotnikovo (depth 5 m)	57,007	82,353	7,69	761,9	2,6
ГВ	р. Галка/the Galka river	57,040	82,067	7,47	713,2	20,3
ГВ(г1)	Подземные воды в с. Бакчар (глубина 6 м)/Groundwater at Bakchar (depth 6 m)	57,017	82,083	7,22	707,0	29,7

Примечание: сумма главных ионов – сумма концентраций Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl⁻; определение химического состава вод выполнено в гидрогеохимической лаборатории ТПУ.

Note: the sum of the main ions is the sum of the concentrations of Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl⁻; water chemical composition was determined in the hydrogeochemical laboratory of the Tomsk polytechnic university.

...

Заключение

Полученные оценки (особенно временные) являются приближенными и характеризуют, прежде всего, рассмотренный профиль (рис. 1) в южной части водосбора р. Чай. Тем не

менее анализ выполненных расчетов позволил сделать следующие выводы:

- 1) заболачивание данной территории является закономерным процессом, обусловленным не только избыточным увлажнением и низкими значениями коэффициентов фильтрации, но и конфигурацией речной сети, которая, в свою очередь, определяется комплексом гидроклиматических, геоморфологических и геологических процессов как на этапе первичного заболачивания, так и в предшествующие геологические периоды;
- 2) процессы заболачивания (аккумуляции органического вещества) взаимосвязаны с противоположно направленными процессами водной эрозии; минеральное вещество с поверхности водосборов поступает в речную сеть и накапливается на участках речных русел, вызывая постепенное изменение условий взаимодействия речных и подземных вод с тенденцией роста уровней последних;
- 3) по мере олиготрофизации болот и сокращения доли низинных болот уменьшается водообмен между болотами и подземными водоносными горизонтами, а уровни подземных вод возрастают и в ряде случаев могут «подпирать» подстилающие болота минеральные грунты с низкими фильтрационными свойствами; в дальнейшем условия заболачивания все сильнее определяются влиянием капиллярных явлений, что требует проведения дополнительных исследований в этой области;
- 4) указанные выше особенности должны учитываться при осуществлении хозяйственной деятельности на заболоченных территориях, особенно при проведении рекультивации верховых болот;
- 5) сильнейшая заболоченность Западно-Сибирской равнины – уникальное сочетание различных природных процессов, возникших в среднем и позднем голоцене и в ряде случаев не ослабляющихся, а, напротив, усиливающихся хозяйственной деятельностью; к этому явлению нужно подходить осторожно и взвешенно, с учетом возможности глобальных последствий дальнейшей эволюции болотных экосистем и связанных с ними речных систем и подземных водоносных горизонтов; но необходимо понимать, что изменения неизбежны независимо от характера и степени антропогенных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Карта торфяных месторождений Западной Сибири*. Масштаб 1:1000000: объяснительная записка. Под ред. Р.Г. Матухина. Новосибирск: Изд-во СО РАН: Филиал «Гео», 2000. 33 с. **карта**
2. *Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение*. О.Л. Лисс, Л.И. Абрамова, Н.А. Аветов, Н.А. Березина, Л.И. Инишева, Т.В. Курнишкова, З.А. Слука, Т.Ю. Толпышева, Н.К. Шведчикова. Под ред. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с. **книга**
3. 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*. Eds. J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D.F. Whigham. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. Vol. 190. P. 315–341. **книга на английском языке**
4. Chlachula J. *Climate history and early peopling of Siberia, Earth and Environmental sciences*. Ed. by Dr. Imran Ahmad Dar. Rijeka, Croatia: InTech Europe, University Campus, 2011. P. 495–538. URL: <http://www.intechopen.com/books/earth-and-environmental-sciences/climate-history-and-early-peopling-of-siberia> (дата обращения 15.08.2023). **эл. источник**
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, Vol. 586, P. 319–327. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001. **статья из журнала на английском языке**
6. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. *Накопление углерода в торфяных залежах Большого*

- Васюганского болота. Большое Васюганское болото.* Томск: ИОА СО РАН, 2002. С. 174–186. **статья в сборнике**
7. Савичев О.Г., Ян Х., Чжоу Д. Гидрогеодинамические и гидрогеохимические условия самоочищения вод Обского болота (Западная Сибирь). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 2022, Т. 333, № 4, С. 115–125. DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3656. **статья из русскоязычного журнала или из журнала на другом иностранном языке (не на английском)**
 8. *ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения.* М.: Госстандарт СССР, 1988. 47 с. **ГОСТ**
 9. Мойсеева Ю.А. *Изменения подземного стока таежной зоны Западной Сибири в голоцене: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук.* Томск, 2018. 22 с. **автореферат диссертации/диссертация**
 10. *СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.* М.: Госстрой России, 2004. 72 с. **свод правил**
 11. Создание электронной версии карты четвертичных отложений томской области масштаба 1:500000. Ю.В. Макушин, Н.Г. Глущенко, Н.И. Глущенко, Е.К. Панаева. *Геоинформатика-2000: Труды Международн. научно-практ. конф.* Томск, 12–14 сентября 2000. Томск: Томск. гос. ун-т, 2000. С. 142–144. **материалы конференции**
 12. *Способ выделения геохимических аномалий на основе анализа химического состава речных отложений:* пат. № 2548608, Российская Федерация, С2; заявл. 26.07.2013; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. 8 с. **патент**

REFERENCES

1. *Map of peat deposits in Western Siberia. Scale 1:1000000: explanatory note.* Ed. by R.G. Matukhin. Novosibirsk, SB RAS Publ. house, Branch «Geo», 2000. 33 p. (In Russ.) **карта**
2. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A. *Bog of Western Siberia and their conservation value.* Tula, Grif i K° Publ., 2001. 584 p. (In Russ.) **книга**
3. 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.* Eds. J.T.A. Verhoeven, B. Beltman, R. Bobbink, D.F. Whigham. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2006. Vol. 190, pp. 315–341. **книга на английском языке**
4. Chlachula J. *Climate history and early peopling of Siberia, earth and environmental sciences.* Ed. Dr. Imran Ahmad Dar. Rijeka, Croatia, InTech Europe, University Campus, 2011. pp. 495–538. Available at: <http://www.intechopen.com/books/earth-and-environmental-sciences/climate-history-and-early-peopling-of-siberi> (accessed 15 August 2023). **эл. источник**
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. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.001. **статья из журнала на английском языке**
6. Pologova N.N., Lapshina E.D. Carbon accumulation in peat bog deposits of the Great Vasyugan bog. *Great Vasyugan Bog. Current status and development.* Tomsk, Institute of Atmospheric Optics SB RAS Publ., 2002. pp. 174–179. (In Russ.) **статья в сборнике**
7. Savichev O.G., Yang H., Zhou D. Hydrogeodynamic and hydrogeochemical conditions of self-clearance of the Obskoe fen water (Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 4, pp. 115–125. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2022/4/3656. **статья из русскоязычного журнала или из журнала на другом иностранном языке (не на английском)**
8. *SS 19179-73. Land hydrology. Terms and definitions.* Moscow, Gosstandart of the USSR Publ., 1988. 47 p. (In Russ.) **ГОСТ**

9. Moiseeva Yu.A. Changes in the underground runoff of the taiga zone of Western Siberia in the Holocene. Cand. Diss. Tomsk, 2018. 22 p. (In Russ.) **автореферат диссертации/диссертация**
10. SP 33-101-2003. *Code of rules for design and construction. Determination of the main calculated hydrological characteristics*. Moscow, Gosstroy of Russia Publ., 2004. 72 p. (In Russ.) **свод правил**
11. Makushin Yu.V., Glushchenko N.G., Glushchenko N.I., Panaeva E.K. Creation of an electronic version of the map of Quaternary deposits of the Tomsk region at a scale of 1:500000. *Geoinformatics-2000. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Tomsk, September 12–14, 2000. Tomsk, Tomsk State University Publ., 2000. pp. 142–144. (In Russ.) **материалы конференции**
12. Savichev O.G., Domarenko V.A., Reshetko M.V. *Method of allocation of geochemical anomalies on the basis of the analysis of a chemical composition of river sediments*. Patent RF, no. 2548608, 2015. (In Russ.) **патент**

Информация об авторе

Олег Геннадьевич Савичев, доктор географических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; OSavichev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9561-953X>

Information about the author

Oleg G. Savichev, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; OSavichev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9561-953X>

Поступила в редакцию: 06.08.2023

Поступила после рецензирования: 25.08.2023

Принята к публикации: 14.09.2023

Received: 06.08.2023

Revised: 25.08.2023

Accepted: 14.09.2023