

Геоинформатика. 2025. № 2. С. 13–25.
Geoinformatika. 2025;(2):13–25.

Моделирование геобъектов и геопроецессов

Научная статья
 УДК 551.312.2
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-13-25>

Оценка заболоченности речных водосборов Томской области (Российская Федерация) при решении гидрологических и геоэкологических задач

© 2025 г. — Олег Геннадьевич Савичев

Томский политехнический университет; Томск, Россия
 OSavichev@mail.ru

Аннотация: На примере ряда речных водосборов в бассейне р. Обь в границах Томской области разработана и апробирована методика оценки распространенности верховых, переходных и низинных болот. Эта методика основана на учете материалов водного и торфяного кадастров, данных дистанционного зондирования и может использоваться при исследовании гидрологически неизученных или недостаточно изученных рек в таежной зоне Западной Сибири для оценки параметров, необходимых для подбора рек-аналогов; расчетов максимального и минимального водного стока; определения границ болот и зон подтопления. На примере притоков Средней Оби уточнены масштабы заболоченности. С учетом этих данных показано, что, во-первых, на рассматриваемой территории наблюдаются благоприятные условия накопления органических веществ и веществ, связанных с их трансформацией. Во-вторых, хозяйственная деятельность в таежной зоне в настоящее время в ряде случаев способствует переувлажнению земель и, соответственно, дальнейшему заболачиванию территории.

Ключевые слова: *болота; заболоченные земли; границы болот; Западная Сибирь; таежная область.*

Для цитирования: Савичев О.Г. Оценка заболоченности речных водосборов Томской области (Российская Федерация) при решении гидрологических и геоэкологических задач // Геоинформатика. — 2025. — № 2. — С. 13–25. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-13-25>.

Modeling of geological objects and geoproцессes

Original article

Assessment of swampiness of river basins in the Tomsk region (Russian Federation) when solving hydrological and geoecological problems

© 2025 — Oleg G. Savichev

Tomsk Polytechnic University; Tomsk, Russia
 OSavichev@mail.ru

Abstract: A methodology for assessing the prevalence of raised, transitional and lowland swamps has been developed and tested (using the example of a number of river catchments in the Ob River basin within the boundaries of the Tomsk region). This methodology is based on taking into account materials from water and peat cadastres, and remote sensing data. It can be used in the study of hydrologically unstudied or insufficiently studied rivers in the taiga zone of Western Siberia for assessing the parameters necessary for selecting analogue rivers, calculations of maximum and minimum water flow, determining the boundaries of swamps and flood zones. Using the tributaries of the Middle Ob as an example, the scale of swampiness was clarified. Taking these data into account, it is shown that, firstly, there are favorable conditions for the accumulation of organic substances and substances associated with their transformation in the territory under consideration. Secondly, economic activity in the taiga zone currently in a number of cases contributes to waterlogging and, accordingly, further swamping of the territory.

Key words: *swamps; wetlands; boundaries of swamps; Western Siberia; taiga region.*

For citation: Savichev O.G. Assessment of swampiness of river basins in the Tomsk region (Russian Federation) when solving hydrological and geoecological problems. *Geoinformatika*. 2025;(2):13–25. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2025-2-13-25>. In Russ.

Введение

Томская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины на территории площадью 316,9 тыс. км² (по данным [1]; без учета ряда территорий земельный фонд региона оценивается в размере 314,391 тыс. км² [2]). Большая ее часть заболочена [3–6], причем существуют разные оценки, в значительной мере связанные с неодинаковым пониманием термина «болота» и их роли в окружающей среде. Так, в соответствии с определениями [7, ст. 5] болота относятся к поверхностным водным объектам, а согласно [8], это — занимающие часть земной поверхности природные образования в виде насыщенных водой и покрытых специфической растительностью отложений торфа. В свою очередь, торф представляет собой органическую горную породу, образующуюся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержании не более 50 % минеральных компонентов на сухое вещество [9]. Иными словами, по крайней мере часть торфяного болота (болота с отложениями торфа от 0,3 м в неосушенном состоянии; при меньшей глубине выделяются заболоченные земли) может рассматриваться как геологический объект — торфяное месторождение — образование, состоящее из напластований одного или нескольких видов торфа, характеризующееся в своих естественных границах избыточным увлажнением и специфическим растительным покровом, которое по размерам и запасам торфа может быть объектом хозяйственного использования [9, 10].

К этому следует добавить, что, во-первых, согласно определению и классификации водных объектов [7, ст. 5], поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии, что предполагает наличие акватории — водного пространства в пределах естественных, искусственных или условных границ [7, ст.1]. Однако у болот в общем случае нет открытого водного пространства, что (с учетом характера движения болотных вод) позволяет отнести болота если и к водным объектам, то не к поверхностным, а подземным (но не к «верховодке» [11], поскольку болотные воды являются неотъемлемым компонентом болот по определению). Во-вторых, болота покрыты специфической растительностью, включая древесную (согласно [12], при проведении гидрологических исследований в площадь болот включаются леса и кустарники), в связи с чем в естественном состоянии обычно относятся к лесному фонду [13], в том числе к лесным угодьям, а то, что ниже охоча (до минерального грунта), в почво- и лесоведении рассматривается как торфяные почвы [14, 15].

Таким образом, разными специалистами болото одновременно понимается как водный (официально — поверхностный, косвенно при проведении

инженерно-геологических изысканий — подземный), геологический, лесной и почвенный объект, границы которого устанавливаются по нулевой глубине торфяной залежи [7, ст. 5]. То есть болотом следует считать, используя терминологию [9], и собственно торфяные болота, и заболоченные земли. При этом границы болот (как поверхностных водных объектов) рекомендуется определять с учетом геологической информации о торфяных месторождениях [16]. Соответственно, при столь различных подходах даже к определению термина «болото» неизбежны различия в оценках территорий, занятых болотами (торфяными месторождениями, торфяными болотами, заболоченными землями). Так, согласно [2], в рамках оценки современного состояния земельного фонда заболоченность территории Томской области составляет 29,2 % от площади 314,391 тыс. км², т. е. 91 802 км², а по [1] — 28,95 % от площади 316,9 тыс. км², или 91 755 км². В то же время, в соответствии с [17, 18], площадь выявленных и разведанных запасов торфа в нулевых границах торфяных месторождений составляет 112 595 км², или 35,5 % от площади 316,9 тыс. км².

Геолого-разведочные работы на торф весьма трудо- и финансовозатратные, причем основная их часть была выполнена до 1990 г., а более 70 % разведанных запасов имеют прогнозную категорию [5, 17–20]. С учетом этого в 2000-е гг. в ОГУП «Томскгеомониторинг» (в настоящее время — в Сибирском региональном центре ФГБУ «Гидроспецгеология» и АО «Томскгеомониторинг»), Томском политехническом университете (ТПУ), Томском государственном университете (ТГУ), ООО «ИН-ГЕОТЕХ» под общим руководством В.А. Льготина и В.А. Базанова были проведены работы по дешифрированию данных дистанционного зондирования (ДДЗ) на основе съемки с искусственного спутника Земли (ИСЗ) Landsat [21–24]. Основной объем работ по дешифрированию выполнен А.А. Скугаревым (дешифрирование космоснимков и подготовка картографического материала) и В.А. Базановым (методология выделения болот) при участии автора статьи в части выявления, обоснования и апробации гидрологических и гидрохимических критериев [21, 22, 24].

Полученные при этом оценки основаны на использовании геоботанического подхода и в наибольшей степени, по сравнению с другими подходами, соответствуют указаниям [7] по определению границ болот по нулевой глубине торфяной залежи (при оценке запасов торфа, с одной стороны, используются результаты промерных работ, но, с другой стороны, лишь на относительно небольшой площади категории запасов А и В, а в остальных случаях учитываются результаты анализа аэрофотоснимков и топографических карт с достаточной большой погрешностью). В результате было показано, что суммарная площадь болот на

территории Томской области оценивается в размере 116 153 км², или 36,6 % (от площади региона 316,9 тыс. км²). Именно эта оценка (с округлением — 37 %) достаточно часто и приводится при рассмотрении болот Томской области. Кроме того, были оценены площади, занятые болотами разного типа: верховыми — 53 492 км² (16,9 %); переходными — 48 934 км² (15,4 %); низинными — 13 727 км² (4,3 %) [23].

При решении многих научных и практических задач требуется учитывать не только общую заболоченность и даже дифференцию болот по типам, но и ряд других требований. Так, при решении ряда гидрологических задач принято определять заболоченность согласно [12, 25, 26] с учетом следующего: 1) основные картографические материалы — топографические карты Российской Федерации крупного масштаба (1 : 10 000–1 : 100 000), а также топографические планы местности и различные современные тематические карты наиболее крупного масштаба; 2) рекомендуется привлекать (при наличии) более современные и подробные материалы аэрофотосъемки, в том числе, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) или космических снимков; примерное соотношение масштаба карт с пространственным разрешением космических снимков: 1 : 10 000 и крупнее — от 0,3 до 2 м; 1 : 25 000 — 1 : 50 000 — свыше 2 м и до 15 м; 1 : 100 000 — свыше 15 м и до 30 м; мельче 100 000 — свыше 30 м; 3) относительная заболоченность водосбора вычисляется в процентах от общей площади водосбора с разделением болот на верховые и низинные (отметим, что критерии выделения верховых и низинных болот явно не сформулированы, но, очевидно, не совпадают с критериями выделения верховой, низинной, переходной и смешанной торфяной залежи согласно [9]); заболоченность приводится с округлением до 5 %; 4) для определения относительной заболоченности водосбора в площадь болот включаются непроходимые, труднопроходимые, проходимые болота и заболоченные земли как оконтуренные, так и не оконтуренные точечным пунктиром черного цвета; 5) величины заболоченности водосбора приводятся с округлением до 5 %, отдельные мелкие заболоченные участки размером не более 0,5 км² и узкие заболоченные поймы рек и озер, не оконтуренные на картах, при определении заболоченности водосборов площадью более 10 км² не учитываются; 6) в площадь болот включаются также леса и кустарники и внутриболотные озера; 7) при анализе ДДЗ используются дешифровочные признаки болот согласно [27, 28].

Также отметим, что указанный выше подход в составе гидрологических исследований до сих пор применялся для определения заболоченности не по субъектам Российской Федерации (ранее — бывшего СССР), а по водосборам ограниченного числа гидрологически изученных рек [29], что не позволя-

ет непосредственно сопоставить результаты его использования с оценками в рамках ведения земельного и торфяного кадастров. Тем не менее даже при изучении одних и тех же объектов очевидно, что различия неизбежны вследствие несовпадения в терминологической базе и способах их выявления и учета болот. Кроме того, остается требование [16] о привлечении геологической информации о торфяных месторождениях, что не сформулировано как необходимое условие непосредственно в [12]. Все это, с учетом рекомендаций по картированию торфяных ресурсов [20, 27], и определило цель рассматриваемого исследования — разработку методики и уточнение масштабов заболоченности речных водосборов на территории Томской области с использованием ДДЗ, материалов водного реестра и торфяного кадастра на основе совмещенных указаний [7, 12, 16, 26, 28, 30].

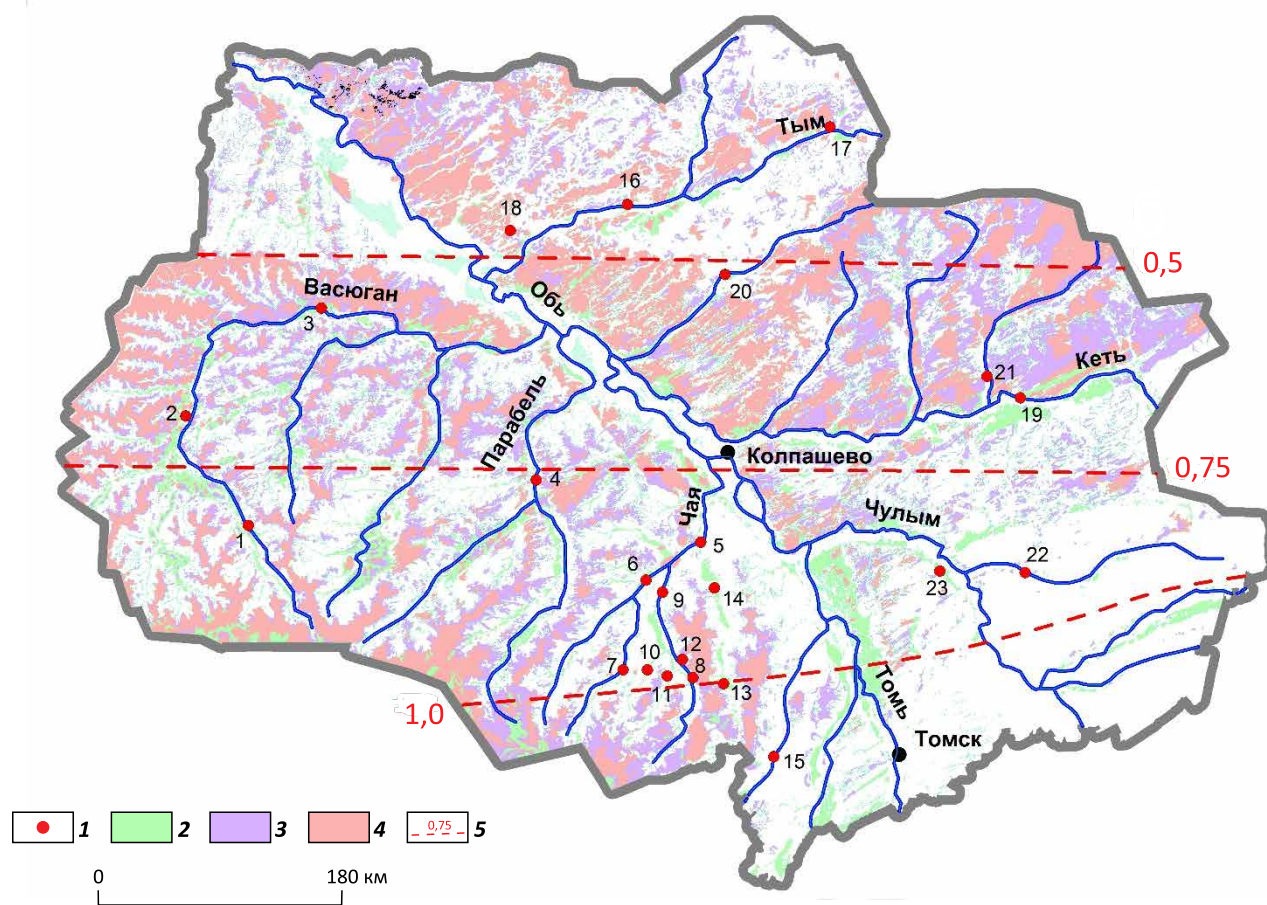
Исходные данные и методика исследований

Исходными данными послужили материалы исследований болотных процессов и условий затопления речных долин в Томской области [21–24], выполненных в АО «Томскгеомониторинг», ТГУ и ТПУ в 2000–2023 гг. при непосредственном участии автора статьи. Пункты гидрологических наблюдений Росгидромета, информация по которым использовалась в работе, указаны на рисунке. Выбор пунктов обусловлен целью исследования и доступными материалами геолого-разведочных работ на торф в пределах исследуемых водосборов. Методика исследования включала в себя:

1) оценку распространения верховых, низинных и переходных болот в водосборах ряда притоков р. Обь по карте болот масштаба 1 : 200 000 [23]; карта болот (см. рисунок) разработана В.А. Базановым и А.А. Скугаревым при участии автора статьи и ряда сотрудников ТГУ и АО «Томскгеомониторинг» с использованием данных многозональной съемки ИСЗ Landsat 7 с разрешением 7 и уровнем обработки L1G, включающем геометрическую и радиометрическую коррекцию изображений и привязку в картографическую проекцию с учетом полевых обследований и материалов торфяного кадастра [21, 22, 24]; определение границ водосборов (с учетом указаний [12]) и распространности болот в их пределах выполнена непосредственно автором статьи в ГИС MapInfo; всего изучено 23 реки, из которых для 20 были получены совмещенные оценки заболоченности в результате анализа ДДЗ и материалов торфяного кадастра (водосборы трех водотоков частично выходят за пределы Томской области, в связи с чем о них имеются только сведения в торфяном кадастре); также отметим, что из 23 рек 3 объекта (в исследуемых створах), согласно [8], соответствуют категории «малая река» (Ключ, Тетеренка, Галка у с. Бакчар), еще 4 (Бакчар у с. Полянянка, Икса у с. Плотниково, Андарма у с. Паньчево, Большая Юкса у с. Первопашинск) близки к границе «малых» и «средних» рек; остальные реки относятся к кате-

Рисунок. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений на реках Томской области, информация по которым использована в работе

Figure. Layout of hydrological observation points on the rivers of the Tomsk region, information on which was used in the work



1 — пункты гидрологических наблюдений; типы болот, выделенных при анализе ДДЗ [23] (2–4): 2 — низинный, 3 — переходный, 4 — верховой; 5 — изолинии модуля ионного стока средних рек, г/(с·км²)

1 — points of hydrological observation; types of bogs identified in the analysis of remote sensing data [23] (2–4): 2 — low-moor peat bog; 3 — transition-moor peat bog; 4 — high-moor peat bog; 5 — isolines of the ion runoff modulus of average sized rivers, g/(s·km²)

гории средних с площадями водосборов от 2000 до 50 000 км² [8]; в левобережной части бассейна р. Обь расположены водосборы рек Васюган, Парабель, Чая (включая ее притоки — Парбиг, Андарма, Икса, Бакчар с притоками Галкой, Тетеренкой и Ключем), Шегарка, в правобережной части — реки Тым (с Сангилькой), Кеть (с Пайдугиной и Орловкой), а также притоки р. Чулым — реки Чичка-Юл и Большая Юкса (табл. 1);

2) анализ материалов торфяного кадастра и геолого-разведочных работ на территории Томской области [3, 5, 17, 19, 31] с выделением площадей с верховой, низинной, переходной и смешанной торфяной залежью (в соответствии с [9]); в пределах водосбора каждой реки определялось распространение соответствующих объектов с последующим пересчетом на общую площадь заболоченности с использованием соотношения общей заболоченности по [29] к площади торфяных месторождений в пре-

делах водосбора; если водосбор реки расположен внутри торфяного месторождения или его участка, то соотношение участков болот разного типа принималось равным соотношению участков месторождений с соответствующими преобладающими типами торфяной залежи; площади и запасы торфа смешанной торфяной залежи распределяются равномерно между другими выявленными типами залежи (верховым, низинным, переходным);

3) корреляционный и регрессионный анализы с учетом условий (1):

$$N \geq (6-10); r \geq 2 \cdot \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}; r \geq 0,7; k_r \geq 2 \cdot \delta_k, \quad (1)$$

где N — объем выборки; r — коэффициент корреляции; k_r и δ_k — коэффициент регрессии и погрешность его определения [25].

В ряде случаев выполнена проверка на однородность (выборки значений заболоченности, по-

Табл. 1. Морфометрические характеристики заболоченности водосборов рек Томской области
 Tab. 1. Morphometric characteristics of river basins swampiness in the Tomsk region

Река	Створ	$F_{\text{б(оху)}}$, км ²	$f_{\text{б(оху)}}$, %	$f_{\text{тм(в)}}$, %	$f_{\text{тм(н)}}$, %	$f_{\text{тм(с)}}$, %	$f_{\text{б(дз)}}$, %	$f_{\text{в(дз)}}$, %	$f_{\text{не(дз)}}$, %	$f_{\text{не(дз)}}$, %	$h_{\text{тм(в)}}$, м	$h_{\text{тм(max)}}$, м	$W_{\text{тм}}$, км ³
Васюган	Майск	3 730	35	7,5	24,8	1,7	1,0	53,9	44,9	4,9	2,2	4,3	2,85
Васюган	Новый Васюган	19 000	35	12,6	12,6	0,3	9,6	53,7	38,0	6,2	2,5	4,9	16,66
Васюган	Средний Васюган	31 700	40	13,9	9,5	8,6	8,0	55,4	38,1	6,9	2,8	5,5	34,89
Парабель	Новиково	17 900	40	11,1	9,7	11,1	8,2	54,3	25,0	18,3	2,2	5,1	15,80
Чая	Подгорное	25 000	35	9,8	10,0	9,7	5,4	47,2	15,5	20,0	1,9	4,2	16,61
Парбиг	Веселое	9 100	25	6,8	6,9	6,9	4,4	46,5	9,3	19,9	1,9	4,3	4,36
Андарма	Паньчево	2 330	35	8,8	8,8	8,8	8,8	52,0	13,0	35,0	1,9	4,9	1,54
Бакчар	Польнянка	2 040	40	9,1	12,6	9,1	9,1	70,0	16,0	50,0	1,3	3,0	1,08
Бакчар	Гореловка	6 610	40	7,5	17,6	7,5	7,5	41,6	14,8	18,8	1,4	2,7	3,72
Галка	Бакчар	1 190	40	<0,1	40,0	< 0,1	<0,1	63,0	23,0	35,0	1,0	2,2	0,46
Тетеренка	Н.-Макаровка	1 470	40	<0,1	40,0	<0,1	<0,1	56,0	16,0	36,0	1,9	2,9	1,13
Ключ	Польнянка	59	77	19,3	19,3	19,3	19,3	76,6	62,2	14,1	1,4	3,7	0,06
Икса	Плотниково	2 560	49	13,0	13,4	10,7	11,9	63,0	23,0	35,0	1,9	4,6	2,34
Икса	Копаное озеро	5 210	20	5,2	5,2	4,7	4,9	63,0	26,1	27,6	1,8	4,5	1,87
Шегарка	Бобрыкина	8 190	25	5,4	10,9	3,3	5,4	28,0	2,2	13,4	1,8	3,4	3,63
Тым	Ванжиль-Кынак	10 100	10	9,7	0,0	0,3	<0,1	-	-	-	2,0	4,5	2,01
Тым	Напас	24 500	25	21,3	1,0	2,2	0,5	-	-	-	1,8	3,9	10,73
Сангилья	Киевский	4 270	20	11,0	1,2	7,5	0,4	31,8	16,9	14,2	2,1	4,2	1,77
Кеть	Максим. Яр	38 400	10	2,5	1,6	5,6	0,4	-	-	-	2,6	6,2	9,96
Пайдугина	Березовка	6 500	30	8,3	7,1	7,4	7,2	39,6	26,6	9,3	2,2	5,0	4,23
Орловка	Дружный	8 740	45	25,0	6,7	6,7	6,7	67,8	42,0	25,2	2,5	6,1	9,69
Чичка-Юл	Франца	5 210	5	3,0	1,0	<0,1	1,1	5,8	0,0	1,0	1,0	1,8	0,26
Большая Юкса	Первопашинск	2 620	15	1,4	1,5	12,2	0,0	16,0	4,2	6,0	2,5	5,0	0,96

Примечание. $F_{б(огх)}$ и $f_{б(огх)}$ — площадь водосбора и его общая заболоченность по [29]; $f_{тм(в)}$, $f_{тм(н)}$, $f_{тм(п)}$, $f_{тм(с)}$ — доли водосбора, занятые верховыми, низинными, переходными и смешанными торфяными месторождениями в пересчете на величину $f_{б(огх)}$; $f_{б(дз)}$, $f_{вб(дз)}$, $f_{пб(дз)}$, $f_{нб(дз)}$ — общая заболоченность водосбора и его доли, занятые верховыми, низинными и переходными болотами по данным анализа ДДЗ [23]; $h_{тм(а)}$ и $h_{тм(макс)}$ — средняя и средняя максимальные глубины торфяных месторождений в пределах водосбора; $W_{тм}$ — запасы торфа в пересчете по площади торфяных месторождений на величину $f_{б(огх)}$; («—») — отсутствие данных.

Note. $F_{б(огх)}$ and $f_{б(огх)}$ are river basin area and its total swampiness according to [29]; $f_{тм(в)}$, $f_{тм(н)}$, $f_{тм(п)}$, $f_{тм(с)}$ are shares of the river basin occupied by high-moor, low-moor, transition-moor and mixed peat deposits in terms of the value $f_{б(огх)}$; $f_{б(дз)}$, $f_{вб(дз)}$, $f_{пб(дз)}$, $f_{нб(дз)}$ are total swampiness of the river basin and its shares occupied by high-moor, low-moor and transition-moor peat bogs according to the analysis of remote sensing data [23]; $h_{тм(а)}$ and $h_{тм(макс)}$ are average and average maximum depths of peat deposits within the river basin area; $W_{тм}$ is peat reserves in terms of the area of peat deposits per value $f_{б(огх)}$; (“—”) is no data.

лученных разными способами) по критериям Стьюдента и Фишера согласно [32]; расчеты выполнены в среде MS Excel.

Результаты исследования

Анализ полученных результатов (табл. 1, 2) показал, что, во-первых, оценка общей заболоченности водосборов по данным [29] в среднем (для 20 изученных рек в бассейне Средней Оби) составляет около 70 % от оценки, полученной с использованием космоснимков [23, 24]:

$$f'_{б(дз)} = (1,41 \pm 0,03) \cdot f_{б(огх)}; f'_{б(огх)} = (0,70 \pm 0,02) \cdot f_{б(дз)}; r = 0,99 \pm 0,01, \quad (2)$$

где $f'_{б(дз)}$ и $f'_{б(огх)}$ — общая заболоченность водосбора, в км² по результатам анализа ДДЗ и согласно [29].

Отношение фактического и критического значений критерия Стьюдента для двух выборок при уровне значимости 5 % $t/t5 \% = 2,99$. Это вполне согласуется с принятыми ограничениями [12], в соответствии с которыми не фиксируются мелкие заболоченные участки с площадями до 0,5 км² и не оконтуренные на картах узкие заболоченные поймы, а также проводится округление значения заболоченности до 5 %. С учетом материалов полевых исследований [21–24] это примерно и соответствует площади болот и заболоченных земель с глубиной торфа 0,3 м и менее, которые формально должны (согласно указаниям [7]), но фактически не учитываются в настоящее время при проведении гидрологических расчетов.

Во-вторых, наибольшие расхождения между двумя способами (по данным торфяного кадастра и на основе анализа ДДЗ) характерны для верховых болот:

$$f'_{вб(дз)} = (2,42 \pm 0,14) \cdot f_{тм(в)}; r = 0,96 \pm 0,02, \quad (3)$$

где $f'_{вб(дз)}$ и $f_{тм(в)}$ — площадь верховых болот, в км² по результатам анализа ДДЗ и материалов торфяного кадастра с пересчетом на общую заболоченность согласно [29].

Гипотеза об однородности соответствующих оценок распространения низинных болот $f'_{нб(дз)}$ и $f'_{тм(н)}$ не была отклонена с уровнем значимости 5 % ($f'_{нб(дз)} = (1,02 \pm 0,09) \cdot f_{тм(н)}$; $r = 0,89 \pm 0,05$).

Это объясняется тем, что при использовании материалов торфяного кадастра оценка площади распространения верховых болот получена, исхо-

дя из условий: а) верховое торфяное месторождение — это месторождение с преобладанием торфяной залежи верхового типа; б) верховая торфяная залежь — это залежь, сложенная видами верхового торфа полностью или не менее половины общей толщины пласта; в) верховой торф — это торф, образовавшийся из растительности олиготрофного типа, в ботаническом составе которого не более 10 % остатков растительности евтрофного типа [9]. Следовательно, даже при широком распространении олиготрофной болотной растительности торфяное месторождение (соответственно, и торфяное болото) или его участок в ряде случаев могут быть не отнесены к верховому типу, в то время как при анализе ДДЗ выделение верховых болот основано именно на преобладании олиготрофной растительности. В случае же низинных болот расхождения между характером болотной растительности и структурой торфяной залежи не столь значительны.

С учетом указанных выше фактов и принимая во внимание указанные методологические вопросы, а также схематичность изображения торфяных месторождений и болот на картах, предлагается следующая экспресс-методика оценки распространения болот разного типа в водосборах гидрологически неизученных или недостаточно изученных рек Томской области и других субъектов Российской Федерации в пределах таежной зоны Западной Сибири:

- 1) оценивается общая заболоченность водосбора $f'_{б(огх)}$, в км² ($f_{б(огх)}$, в %) согласно [12];
- 2) по кадастру торфяных месторождений Российской Федерации выявляются торфяные месторождения разного типа в пределах исследуемого водосбора (по привязкам к населенным пунктам, указанным в торфяном кадастре), рассчитываются их площади и запасы $W_{тм}$ с пересчетом на общую заболоченность $f_{б(огх)}$; рассчитывается средняя глубина торфяных отложений в водосборе $h_{тм(а)} = W_{тм} / f_{б(огх)}$ и среднее значение ее максимумов $h_{тм(макс)} = h_{тм(а)} \cdot (h''_{тм(макс)} / h''_{тм(а)})$, где $h''_{тм(макс)}$ и $h''_{тм(а)}$ — средняя и среднемаксимальная глубина торфяных месторождений без поправок на $f_{б(огх)}$;
- 3) площадь низинных болот $f'_{нб(дз)}$, в км² принимается равной соответствующей оценке $f'_{тм(н)}$ по материалам торфяного кадастра;
- 4) рассчитываются: общая заболоченность водосбора, в км² с поправкой на заболоченные зем-

Табл. 2. Характеристики состояния болотных экосистем в водосборах рек Томской области
 Tab. 2. Characteristics of the state of bog ecosystems in river basins areas of the Tomsk region

Река	Створ	$V_{\text{пр}}, \text{км}^3$	$V_{\text{г}}, \text{км}^3/\text{год}$	$V_{\text{ог}}, \text{км}^3/\text{год}$	$\sum s', \text{мг}/\text{дм}^3$	$\sum g', \text{мг}/\text{дм}^3$	$\text{БО}_{s'}, \text{мгО}/\text{дм}^3$	$\text{БО}_{g'}, \text{мгО}/\text{дм}^3$	$G(u), \text{тыс. т}/\text{год}$	$M_{\text{тм}(A)}, \text{тыс. т}$	$G(c), \text{тыс. т}/\text{год}$	$M_{\text{тм}(C)}, \text{тыс. т}$
Васюган	Майск	2,679	0,504	0,050	-	-	-	-	-	2962,7	-	24852,2
Васюган	Новый Васюган	15,664	2,699	0,042	213,6	608,4	68,83	13,10	576,6	9247,9	69,7	96734,1
Васюган	Средний Васюган	32,795	5,188	0,037	133,9	381,4	45,72	21,57	694,8	15426,0	88,9	175540,9
Парабель	Новиково	14,852	2,433	0,038	225,0	407,5	50,70	18,43	547,4	7155,9	46,3	78839,5
Чая	Подгорное	15,614	2,581	0,039	394,2	608,1	45,31	39,00	1017,4	6737,3	43,9	72445,4
Парбиг	Веселое	4,103	0,982	0,037	354,5	504,4	45,48	13,10	348,3	3111,6	16,8	33519,1
Андарма	Паньчево	1,451	0,235	0,045	294,5	507,7	58,17	23,43	69,3	1064,2	5,1	11488,4
Бакчар	Польнянка	0,509	0,151	0,056	376,0	787,1	20,82	7,59	56,8	839,5	1,2	8634,9
Бакчар	Гореловка	3,493	0,586	0,044	324,8	680,0	50,61	18,44	190,2	888,3	11,1	8400,7
Галка	Бакчар	0,218	0,135	0,047	-	-	-	-	-	949,4	-	6695,5
Тетеренка	Н. Макаровка	0,530	0,109	0,041	-	-	-	-	-	2131,9	-	15035,6
Ключ	Польнянка	0,058	0,006	0,059	361,9	752,9	85,37	82,58	2,0	44714,2	0,2	482686,3
Икса	Плотниково	2,201	0,211	0,047	241,8	481,9	77,25	49,25	51,1	1512,6	6,1	16181,2
Икса	Копаное озеро	1,758	0,506	0,046	-	-	-	-	-	765,7	-	8247,4
Шегарка	Боборыкина	3,410	0,594	0,047	408,8	648,8	51,90	30,53	242,8	2779,1	11,6	26473,7
Тым	Ванжиль-Кынак	1,889	2,673	0,032	-	-	-	-	-	483,3	-	10741,6
Тым	Напас	10,091	6,447	0,030	60,6	140,6	26,91	9,00	390,9	222,2	65,1	4176,9
Сангиляка	Киевский	1,661	1,075	0,031	-	-	-	-	-	845,0	-	12592,3
Кеть	Максим. Яр	9,359	7,544	0,034	105,7	268,2	33,91	7,50	797,2	6957,3	95,9	81467,0
Пайдугина	Березовка	3,981	1,604	0,032	57,9	134,3	28,58	13,76	92,8	3229,4	17,2	35549,2
Орловка	Дружный	9,106	2,068	0,031	-	-	-	-	-	5038,8	-	68219,7
Чичка-Юл	Франца	0,244	0,879	0,041	-	-	-	-	-	164,6	-	2172,6
Большая Юкса	Первопашинск	0,906	0,363	0,040	-	-	-	-	-	742,1	-	8532,8

Примечание. V_{tm} — объем воды в торфяных месторождениях в водосборе при средней влажности 94 %; V_a и V_{og} — объем годового стока реки в замыкающем створе в целом за год и за зимнюю межень (с декабря по март) соответственно; Σ_s и Σ_g — среднелетние значения суммы главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-) в целом за год (s) и за зимнюю межень (g); BO_s и BO_g — среднелетние значения бихроматной окисляемости в целом за год (s) и за зимнюю межень (g); $G(u)$ и $G(C)$ — годовой сток главных ионов и углерода органических веществ; $M_{tm(A)}$ и $M_{tm(C)}$ — содержания минеральных веществ (по зольности) и углерода органических веществ в торфяных месторождениях; («—») — отсутствие данных.

Note. V_{tm} is volume of water in peat deposits in the river basin with an average humidity of 94 %; V_a and V_{og} are the volume of annual river flow in the outlet section for the whole year and for the winter low-water period (from December to March), respectively; Σ_s and Σ_g are long-term average values of the sum of the main ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-) for the whole year (s) and for the winter low-water period (g); BO_s and BO_g are long-term average values of bichromate oxidation for the whole year (s) and for the winter low-water period (g); $G(u)$ and $G(C)$ are annual flow of main ions and carbon of organic substances; $M_{tm(A)}$ and $M_{tm(C)}$ are contents of mineral substances (by ash content) and carbon of organic substances in peat deposits; (“—”) is no data

ли $f'_{б(ДЗ)}$ по уравнению (2); площадь верховых болот $f'_{вб(ДЗ)}$ — по уравнению (3); площадь переходных болот $f'_{пб(ДЗ)}$ — по уравнению (4):

$$f'_{пб(ДЗ)} = f'_{б(ДЗ)} - f'_{вб(ДЗ)} - f'_{нб(ДЗ)}; \quad (4)$$

5) рассчитываются доли (в %) распространения верховых $f'_{вб(ДЗ)}$, переходных $f'_{пб(ДЗ)}$ и низинных $f'_{нб(ДЗ)}$ болот по уравнению (5); общая заболоченность водосбора $f'_{б(ОГХ)}$ и именно эти значения применяются при проведении гидрологических расчетов согласно [32]:

$$f'_{иб(ДЗ)} = 100 \cdot \frac{f'_{иб(ДЗ)}}{f'_{б(ДЗ)}}, \quad (5)$$

где $f'_{иб}$ и $f'_{иб(ДЗ)}$ — оценка распространения болот i -го типа, в % и км²;

6) при планировании водохозяйственных мероприятий и мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными гидрологическими процессами и явлениями, используются оценки $f'_{б(ДЗ)}$, $f'_{вб(ДЗ)}$, $f'_{пб(ДЗ)}$, $f'_{нб(ДЗ)}$, учитывающие площади болот с глубиной более 0,3 м и заболоченные земли с глубиной менее 0,3 м.

Использование при расчетах расходов речных вод величины $f'_{б(ОГХ)}$ обусловлено тем, что соответствующие методики изначально включали именно ее, а недоучет заболоченности компенсируется введением поправок (например, так называемый коэффициент дружности половодья K_0 при расчете максимального расхода весеннего половодья [25, 32]). Однако при планировании хозяйственной деятельности необходимо использовать оценки заболоченности $f'_{б(ОГХ)}$ (в км²) и $f'_{б(ОГХ)}$ (в %), поскольку: 1) территории с глубинами отложений торфа до 0,3 м по определению (как поверхностный водный объект согласно [6]) имеют иной, по сравнению с незаболоченными территориями, режим использования и охраны; 2) и болота, и заболоченные земли (при использовании любых определений) подвержены сильному подтоплению [30], что необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений; 3) при вертикальном приросте торфяных отложений около 1 мм/год [3, 33] территории с отложениями торфа менее 0,3 м во время инженерных изысканий для строительства зданий и сооружений уже в период их эксплуатации могут оказаться в

другой категории (с глубинами 0,3 м и более); при этом отметим, что хозяйственная деятельность в Западной Сибири может приводить к деградации или ликвидации некоторых небольших болот [17, 34], однако в общем случае при наблюдаемых геологических и гидрологических условиях площадь болот только увеличивается [3, 27, 33, 35].

Последнее обстоятельство, в том числе связанное с дополнительным антропогенным переобводнением, пока в неполной мере учитывается при проектировании на заболоченных территориях. Например, возникновение примерно половины малых водохранилищ в Томской области [23] связано с недостаточной пропускной способностью дорожных сооружений (или их отсутствием). Общая площадь акватории таких объектов на первую половину 2000-х гг. оценивалась в размере 11,4 км², т. е. при общей протяженности дорог Томской области 4469 км [1] удельное затопление придорожной территории на 1 км дороги составляет не менее 2,5 м. Если же рассматривать только участки дорог с недостаточной пропускной способностью водопропускных сооружений (примерно 51 % от всех напорных гидротехнических сооружений) со средней протяженностью напорного фронта 135 м, то ориентировочно средняя длина водоема (т. е. зоны затопления) составит около 400 м, соответственно подтопление — более 400 м. Таким образом, в современных условиях строительство и последующая эксплуатация на заболоченных территориях дорог и, видимо, других линейных объектов способствуют, скорее, дополнительному заболачиванию территорий, а не сокращению площади болот. С учетом соотношения разных угодий в Томской области [2] это влияние пока примерно в пределах погрешности определения. Тем не менее при проектировании зданий и сооружений на заболоченных землях и болотах указанный факт целесообразно принимать во внимание при долгосрочном планировании хозяйственной и иной деятельности.

Также следует учитывать и другие аспекты функционирования болотных экосистем, которые сказываются на хозяйственной деятельности и состоянии прочих компонентов окружающей среды. В частности, с учетом рекомендаций [18, 36] был проведен расчет накопления минеральных

(в пересчете на зольность торфов) и органических веществ (по углероду горючей массы с пересчетом на среднюю влажность торфов в зависимости от преобладающего типа торфяной залежи) в болотах в пределах водосборов исследуемых рек, а также их вынос с речными водами (как произведение нормы водного стока на среднее значение бихроматной окисляемости БО и коэффициент пересчета $C_{орг} / БО = 0,375$ по [37]). Соотношение этих величин (см. табл. 2) для малых рек, особенно по углероду ОВ (тысячекратные превышения), таково, что наиболее вероятными сценариями дальнейшей эволюции болот таежной зоны Западной Сибири в ближайшие десятилетия является либо дальнейшее накопление ОВ, либо его стабилизация на современном уровне. Учитывая сохранение избыточного увлажнения поверхности и приповерхностного слоя водосборов, тенденции изменения температуры приземных слоев атмосферного воздуха и выявленную ранее зависимость между среднегодовалой температурой воздуха и глубиной торфяной залежи [38, 39], приоритетным является, видимо, первый сценарий (продолжение заболачивания).

Последствия этого процесса разнообразны [3, 23, 38, 40–42], но очевидна возможность негативного воздействия на эколого-геохимическое состояние подземных и речных вод [3, 35, 40, 42–45], в том числе снижение их качества. Так, выявлена зависимость между среднегодовым значением перманганатной окисляемости речных вод ПО(г) и распространенностью низинных болот на водосборе $f_{тм(н)}$ (в % от площади водосбора):

$$ПО(г) = (10,53 \pm 4,16) + (1,45 \pm 0,37) \cdot f'_{тм(н)}; \quad (6)$$

$$r = 0,85 \pm 0,12.$$

При этом отметим, что связь окисляемости (косвенного показателя содержания ОВ) именно с распространенностью низинных болот обусловлена широким распространением последних в речных долинах, где обычно наблюдаются наилучшие условия взаимодействия поверхностных и подземных вод [35, 44, 45]. Кроме того, уточнена схема изолиний ионного стока средних рек региона (см. рисунок).

В частности, изолиния 1 г/(с·км²) в левобережной части бассейна Средней Оби расположена севернее, чем это было показано в [41], а изолиния стока углерода ОВ 0,1 г/(с·км²) фактически охватывает центральную часть Васюганского болота на границах Томской, Новосибирской и Омской областей (на остальной территории — от 0,02 до 1 г/(с·км²)), причем для речных вод заболоченных территорий даже при отсутствии признаков явного антропогенного воздействия перманганатная

окисляемость обычно более 5 мгО/дм³, а бихроматная — более 10–15 мгО/дм³. Перманганатная окисляемость более 5 мгО/дм³ достаточно часто отмечается и в случае грунтовых вод. Логично предположить, что эти факты связаны с влиянием болотных процессов, максимумы которого (по разным гидрогеохимическим показателям) обычно фиксируются в пределах и на границах крупных болотных массивов. Соответственно, дальнейшее заболачивание территории будет неизбежно сопровождаться ухудшением качества речных, озерных и подземных вод и обострением вопросов водообеспечения населения и промышленности.

Выводы

В результате выполненного исследования определены площади болот разного типа в водосборах ряда рек в бассейне Средней Оби в границах Томской области, разработана и апробирована на их примере методика оценки распространенности верховых, переходных и низинных болот с учетом материалов торфяного кадастра. Эта методика может использоваться как для неизученных или недостаточно изученных рек Томской области, так и территорий Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Омской, Новосибирской областей и Красноярского края в пределах таежной зоны Западной Сибири в части оценки параметров, необходимых для подбора рек-аналогов, расчетов максимального и минимального водного стока, определения границ болот и зон подтопления. Для прочих территорий целесообразны дополнительные исследования на предмет уточнения региональных связей между характеристиками болотной растительности и торфяных залежей.

Применение указанной выше методики непосредственно для ряда рек Томской области позволило уточнить масштабы заболоченности их водосборов и оценить распространенность болот разных типов с учетом требований к проведению гидрологических и геоэкологических расчетов. Показано, что площади болот, определяемые согласно [12], составляют примерно 70 % от фактической заболоченности (в границах нулевой глубины отложения торфа). Установлено, что на ряде участков водораздельных территорий с относительно низкой интенсивностью водообмена (по величине модуля водного стока) наблюдаются в настоящее время и, с большой вероятностью, будут фиксироваться в ближайшие десятилетия благоприятные условия для накопления ОВ и продуктов его трансформации. С высокой вероятностью, подобные процессы происходили и в более ранние геологические периоды, в результате чего в ряде случаев сформировались отложения с повышенными содержанием железа, прослойки лигнитов и бурых углей [4, 6, 40].

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 23-27-00039.

Список источников

1. *Ресурсно-экологический атлас Томской области*. Администрация Томской области. ОГУ «Облкомприрода» / Под ред. А.М. Адама. – Томск: Печатная мануфактура, 2004. – 28 с.
2. *Об экологической ситуации в Томской области в 2022 году* / Под ред. М.А. Кривова и Ю.В. Луновой. – Томск: Администрация Томской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода», 2023. – 142 с.
3. *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.
4. *Гидрогеология СССР*. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / Ред. В.А. Нуднер. – М. : Недра, 1970. – 367 с.
5. *Карта торфяных месторождений Западной Сибири*. Масштаб 1:1 000 000: объяснительная записка / Под. ред. Р.Г. Матухина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН: Филиал ГЕО, 2000. – 33 с.
6. *Недра России*. В 2-х т. Т. 1. Полезные ископаемые / Под ред. Н.В. Межеловского и А.А. Смыслова. – СПб: ВСЕГЕИ, 2001. – 547 с.
7. *Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 25 декабря 2023 года)* (редакция, действующая с 30 декабря 2023 года). Кодекс РФ от 03.06.2006 N 74-ФЗ. – М. : Кремль, 54 с. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 25.12.2023, N 0001202312250062.
8. *ГОСТ 19179-73*. Гидрология суши. Термины и определения. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 1988. – 48 с.
9. *ГОСТ 21123-85*. Торф. Термины и определения. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 1985. – 85 с.
10. *ГОСТ Р 59071-2020*. Охрана окружающей среды. Недра. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2020. – 14 с.
11. *Шварцев С.Л.* Общая гидрогеология. – М. : Альянс, 2012. – 601 с.
12. Р52.08.874-2018. Определение гидрографических характеристик картографическим способом. ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета. – СПб : Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2018. – 172 с.
13. *ГОСТ Р 59055-2020*. Охрана окружающей среды. Земли. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2020. – 14 с.
14. *ГОСТ 17.6.1.01-83*. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 2002. – 14 с.
15. *Классификация и диагностика почв России* / Отв. ред. Г.В. Добровольский. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
16. *Правила определения местоположения береговой линии (границы водного объекта), случаев и периодичности ее определения*. Утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 29 апр. 2016 г. № 377 (с изм. на 30 нояб. 2019 г.). – М.: Правительство РФ, 2019. – 5 с.
17. *Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г., Михантьева Л.С.* Торфяные ресурсы Томской области и их использование. – Новосибирск: СО РАСХН, 1995. – 85 с.
18. *Торфяные ресурсы СССР* / Под ред. В.Д. Маркова, А.С. Оленина, В.Ф. Череповского. – М. : Торфгеология, 1982. – 352 с.
19. *Атлас торфяных ресурсов СССР*. – М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1968. – 96 с.
20. *Торфяные ресурсы мира* / Под общ. ред. А.С. Оленина. – М. : Недра, 1988. – 383 с.
21. *Базанов В.А., Савичев О.Г., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А.* Применение метода фитоиндикации в гидрологических исследованиях заболоченных территорий Западной Сибири (на примере р. Ключ, Томская область) // Вестник Томского гос. университета. – 2009. – № 4 (8). – С. 84–96.
22. *Березин А.Е., Базанов В.А., Савичев О.Г.* Принципы разработки кадастра торфяных болот (на примере районов нефтедобычи Томской области) // Охрана природы. Вып.3: Сб. статей / Под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005, С. 13–26.
23. *Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я.* Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000-2005 гг. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», «АГРАФ-ПРЕСС», 2006. – 88 с.
24. *Vazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A.* The phytindication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain // International Journal of Environmental Studies. – 2009. – vol. 66. – no. 4. – pp. 473-484. DOI: 10.1080/00207230903303729.
25. *СП 529.1325800.2023*. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М. : Минстрой РФ, 2023. – 152 с.
26. *СТО ГГИ 52.08.40–2017*. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам российской федерации и спутниковым снимкам. ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета. – СПб: ООО "РПЦ Офорт", 2017. – 142 с.
27. *Иванов К.Е.* Водообмен в болотных ландшафтах. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
28. *СТО ГУ ГГИ 08.30-2011*. Методические указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных болот. – СПб : ФГБУ «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета, 2011. – 107 с.
29. *Основные гидрологические характеристики*. Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. – 488 с.
30. *Правила определения границ зон затопления, подтопления*. Утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 18 апр. 2014 г. № 360 (с изм. на 17 авг. 2022 г.). М. : Правительство РФ, 2022. – 7 с.
31. *Альбом аэрофотоснимков растительного покрова торфяных месторождений центральной части Западной Сибири*. – М. : Геолторфразведка, 1973. – 83 с.
32. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик*. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
33. *Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д.* Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 174–179.
34. *Харанжевская Ю.А.* Оценка изменений гидрологического режима, потоков макрокомпонентов и органических веществ в системе болото- река в таежной зоне Западной Сибири под влиянием осушения и пирогенного фактора // Пятые Виноградовские чтения.

Гидрология в эпоху перемен. Сборник докладов межд. научн. конф. памяти Ю.Б. Виноградова. – СПб : ООО «Издательство ВВМ», 2023, С. 638–642.

35. *Савичев О.Г.* Изменения условий взаимодействия подземных, речных и болотных вод при заболачивании Западно-Сибирской равнины в голоцене // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 2. – С. 170–186. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4535.

36. *Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А.* Физика и химия торфа. – М. : Недра, 1989. – 304 с.

37. *Гидрохимические* показатели состояния окружающей среды / Под ред. Т.В. Гусевой. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с.

38. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб: Научное издание, 2022. – 124 с.

39. *Savichev O.G., Reshetko M.V., Moiseeva Yu.A.* The nonlinear effects based on peat chronology data in paleoclimatic reconstructions // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – Vol. 43. – P. 1–5. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012034.

40. *Геологическая* эволюция и самоорганизация системы вода – порода: в 5 т. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев, Б.Н. Рыженко, В.А. Алексеев, Е.М. Дутова, И.А. Кондратьева, Ю.Г. Копылова, О.Е. Лепокурова / Отв. ред. Б.Н. Рыженко. – Новосибирск: СО РАН, 2007. – 389 с.

41. *Савичев О.Г.* Гидрохимический сток в бассейне Средней Оби // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 1. – С. 29–34.

42. *Guseva N., Savichev O.* Paths to Clean Water Under Rapidly Changing Environment. In: Li, Y., Chaudhuri, H., Corrêa Rotunno Filho, O., Guseva, N., Bux F. (eds) BRICS Countries: Sustainable Water Resource Management and Pollution Control. Singapore: Springer; 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-99-9581-3_2.

43. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / Отв. ред Н.П. Лавёров. – М. : Наука, 2004. – 677 с.

44. *Чжоу Дань.* Условия самоочищения и допустимые воздействия на грунтовые и поверхностные воды (на примере водосбора озера Поян КНР и Томского Приобья РФ): автореферат дис. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. – Томск: Томский политехн.ун-т, 2023. – 26 с.

45. *Ян Хэн.* Особенности взаимодействия подземных и болотных вод в гумидных условиях умеренного и субтропического климатов (на примере объектов Западной Сибири России и Восточного Китая): автореферат дис. на соиск. уч. степ. канд. геол.-мин. наук. – Томск: Томский политехн. ун-т, 2023. – 26 с.

References

1. *Adam A.M.* (ed.) Resursno-ekologicheskii atlas Tomskoi oblasti [Resource-ecological atlas of Tomsk oblast]. Tomsk: Pechatnaya manufaktura; 2004. 28 p.

2. *Krivov M.A., Luneva Yu.V.* (eds.) Ob ekologicheskoi situatsii v Tomskoi oblasti v 2022 godu : doklad [On the environmental situation in the Tomsk region in 2022: a report]. Tomsk; 2023. 142 p.

3. *Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K.* Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie [Bog of Western Siberia and their conservation value]. Tula, Grif i K°; 2001. 584 p.

4. *Nudner V.A.* (ed.) Gidrogeologiya SSSR. T. 16. Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti) [Hydrogeology of the USSR. Vol. 16. The West Siberian Plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk and Tomsk regions)]. Moscow: Nedra; 1970. 368 p.

5. *Matukhin R.G.* (comp.) Karta torfyanykh mestorozhdenii Zapadnoi Sibiri. Masshtab 1:1 000 000 : ob"yasnitel'naya zapiska [Map of peat deposits in Western Siberia. Scale 1:1 000 000: explanatory note]. Novosibirsk: SO RAN: Filial «GeO»; 2000. 33 p.

6. *Mezhelovskii N.V., Smylov A.A.* (eds.) Nedra Rossii: V 2-kh t. T.1. Poleznye iskopaemye [Mineral wealth of Russia. In 2 vols. Vol.1. Minerals]. St. Petersburg: VSEGEI; 2001. 547 p.

7. *Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii: kodeks RF ot 03.06.2006 № 74-FZ* [The Water Code of the Russian Federation: Code of the Russian Federation dated 03.06.2006 No. 74-FZ as amended on 25 December 2023]. Available at: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=0&nd=102107048 (accessed 02.04.2025).

8. *GOST 19179-73.* Gidrologiya sushii. Terminy i opredeleniya [GOST 19179-73. Land hydrology. Terms and definitions]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1988. 47 p.

9. *GOST 21123-85.* Torf. Terminy i opredeleniya [GOST 21123-85. Peat. Terms and definitions]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1985. 85 p.

10. *GOST R 59071-2020.* Okhrana okruzhayushchei sredy. Nedra. Terminy i opredeleniya [GOST R 59071-2020. Environmental protection. Subsurface resources. Terms and definitions]. Moscow: Standardinform; 2020. 14 p.

11. *Shvartsev S.L.* Obshchaya gidrogeologiya [General hydrogeology]. Moscow: Al'yans; 2012. 601 p.

12. *R52.08.874-2018.* Opredelenie gidrograficheskikh kharakteristik kartograficheskim sposobom: rekomendatsii [Determination of hydrographic characteristics by cartographic method: recommendations]. St. Petersburg; 2018. 172 p.

13. *GOST R 59055-2020.* Environmental protection. Lands. Terms and definitions. Moscow: Standardinform; 2020. 14 p.

14. *GOST 17.6.1.01-83.* Okhrana prirody. Okhrana i zashchita lesov. Terminy i opredeleniya [GOST 17.6.1.01-83. Nature protection. Forest protection and preservation. Terms and definitions]. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 2002. 14 p.

15. *Dobrovolsky G.V.* (ed.) Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p.

16. *Pravila opredeleniya mestopolozheniya beregovoii linii (granitsy vodnogo ob"ekta), sluchaev i periodichnosti ee opredeleniya* [Rules for determining the location of the coastline (boundaries of a water body), cases and frequency of its determination]: approved by RF Government Resolution of April 29, 2016 No. 377 (as amended on October 31, 2024). Available at: <https://base.garant.ru/71390970/> (accessed 02.04.2025).

17. *Inisheva L.I., Arkhipov V.S., Maslov S.G., Mikhantieva L.S.* Torfyanye resursy Tomskoy oblasti i ikh ispolzovanie [Peat resources of Tomsk region and their use]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Agrarian Science Publ. house, 1995. 88 p.

18. Markov V.D., Olenin A.S., Cherepovsky V.F. (eds.) Torfyanyye resursy SSSR [Peat resources of the USSR]. Moscow: Geologicheskii fond SSSR, 1982. 352 p.
19. Atlas torfyanykh resursov SSSR [Atlas of peat resources of the USSR]. Moscow: Glavkartografiya; 1968. 96 p.
20. Olenin A.S. (ed.) Torfyanyye resursy mira [Peat resources of the world]. Moscow: Nedra; 1988. 383 p.
21. Bazanov V.A., Savichev O.G., Skugarev A.A., Kharanzhevskaya Yu.A. Primeneniye metoda fitoindikatsii v gidrologicheskikh issledovaniyakh zabolochennykh territoriy Zapadnoy Sibiri (na primere r. Klyuch, Tomskaya oblast') [Application of method phitoindication in hydrological researches of boggy territories of the Western Siberia (by the example of the small river Kluch, Tomsk area)]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology]. 2009; 4(8): 84–96 (in Rus.).
22. Berezin A.Ye., Bazanov V.A., Savichev O.G. Printsipy razrabotki kadastra torfyanykh bolot (na primere raionov neftedobychi Tomskoi oblasti) [Principles for developing a peat bog inventory (using the example of oil production areas of the Tomsk region)]. In: Okhrana prirody. Berezin A.E. (ed.). Tomsk: NTL; 2005. Iss. 3. pp. 13–26.
23. L'gotin V.A., Savichev O.G., Nigorozhenko V.Ya. Sostoyanie poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov, vodokhozyaystvennykh sistem i sooruzhenii na territorii Tomskoi oblasti v 2000–2005 gg. [The state of surface water bodies, water management systems and structures in the Tomsk region in 2000–2005]. Tomsk: OJSC Tomskgeomonitring: AGRAF-PRESS; 2006. 88 p.
24. Bazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytoidication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain. *International Journal of Environmental Studies*. 2009; 66(4): 473–484. DOI: 10.1080/00207230903303729.
25. SP 529.1325800.2023. Opredeleniye osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of the main calculated hydrological characteristics]. Moscow: Minstroy RF; 2023. 152 p.
26. STO GGI 52.08.40–2017. Opredeleniye morfometricheskikh kharakteristik vodnykh ob'ektov sushi i ikh vodosborov s ispol'zovaniem tekhnologii geograficheskikh informatsionnykh sistem po tsifrovym kartam Rossiiskoi Federatsii i sputnikovym snimkam [Determination of morphometric characteristics of land water bodies and their catchments using geographic information systems technology based on digital maps of the Russian Federation and satellite images]. St. Petersburg: RPTS Ofort; 2017. 142 p.
27. Ivanov K.E. Vodoobmen v bolotnykh landshtakh [Water exchange in mire landscapes]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1975. 280 p.
28. STO GU GGI 08.30-2011. Metodicheskiye ukazaniya po raschetam stoka s neosushennykh i osushennykh bolot [Guidelines for calculating runoff from undrained and drained swamps]. St. Petersburg: FSBI "State Hydrological Institute" (FSBI "GHI") of Roshydromet; 2011. 107 p.
29. Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki. T. 15. Altay, Zapadnaya Sibir' i Severnyy Kazakhstan. Vyp. 1. Verkhnyaya i Srednyaya Ob' [Basic hydrological characteristics. Vol. 15. Altai, Western Siberia and Northern Kazakhstan. Iss. 1. Upper and Middle Ob]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1979. 488 p.
30. Pravila opredeleniya granits zon zatopeniya, podtopleniya (s izmeneniyami na 17 avgusta 2022 goda) [Rules for determining the boundaries of zones of flooding, flooding]. Moscow: Government of the Russian Federation, 2022. 7 p.
31. Al'bom aerofotosnimkov rastitel'nogo pokrova torfyanykh mestorozhdeniy tsentral'noy chasti Zapadnoy Sibiri [Album of aerial photographs of the vegetation cover of peat deposits in the central part of Western Siberia]. Moscow: Geol'torfrazvedka; 1973. 83 p.
32. Posobie po opredeleniyu rasschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Manual in definition of hydrological characteristics]. Ed. by T.S. Schmidt. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ.; 1984. 448 p.
33. Pologova N.N., Lapshina E.D. Nakoplenie ugleroda v torfyanykh zalezakh Bolshogo Vasuganskogo bolota [Carbon accumulation in peat bog deposits of the Great Vasyugan]. Bolshoe Vasuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyaniye i protsessy razvitiya [Big Vasyugan bog. Current status and development]. Tomsk, Institute of Atmospheric Optics SB RAS Publ.; 2002. pp. 174–179.
34. Kharanzhevskaya Y.A. Otsenka izmeneniy gidrologicheskogo rezhima, potokov makrokomponentov i organicheskikh veshchestv v sisteme boloto- reka v tayezhnoy zone Zapadnoy Sibiri pod vliyaniyem osusheniya i pirogennogo faktora [Assessment of changes in the hydrological regime, flows of macrocomponents and organic substances in the swamp-river system in the taiga zone of Western Siberia under the influence of drainage and the pyrogenic factor]. Pyatyte Vinogradovskiy chteniya. Gidrologiya v epokhu peremen. Sbornik dokladov konferentsii pamyati Yu.B. Vinogradova [Fifth Vinogradov Readings. Hydrology in an era of change. Collection of reports of the international scientific conference in memory of Yu.B. Vinogradova]. St. Petersburg: VVM Publishing House LLC; 2023: 638–642.
35. Savichev O.G. Izmeneniya usloviy vzaimodeystviya podzemnykh, rechnykh i bolotnykh vod pri zabolachivani Zapadno-Sibirskoy ravniny v golotsene [Changes in the conditions of interaction of groundwater, river and swamp waters during swamping of the West Siberian Plain in the Holocene]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2024; 335(2): 170–186. DOI: 10.18799/24131830/2024/2/4535.
36. Lishtvan I.I., Bazin Ye.T., Gamayunov N.I., Terent'yev A.A. Fizika i khimiya torfa [Physics and chemistry of peat]. Moscow: Nedra; 1989. 304 p.
37. Guseva T.V. (ed.) Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchei sredy [Hydrochemical indicators of the state of the environment]. Moscow: FORUM: INFRA-M; 2007. 192 p.
38. Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshcheye rezyume [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii; 2022. 124 p.
39. Savichev O.G., Reshetko M.V., Moiseeva Yu.A. The nonlinear effects based on peat chronology data in paleoclimatic reconstructions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2016; 43: 1–5. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012034.
40. Ryzhenko B.N. (ed.) Geologicheskaya ehvolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda – poroda: v 5 t. T. 2. Sistema voda – poroda v usloviyakh zony gipergenezha [Geological evolution and self-organizing of water–rock system. In 5 vols. Vol. 2. Water–rock system in conditions of a zone of active water exchange]. Novosibirsk: SO RAN; 2007. 389 p.
41. Savichev O.G. Gidrokhimicheskiy stok v bassejne Sredney Obi [Hydrochemical runoff in the Middle Ob basin]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2007; 310(1): 29–34.

42. Guseva N., Savichev O. Paths to Clean Water Under Rapidly Changing Environment. In: *BRICS Countries: Sustainable Water Resource Management and Pollution Control*. Li Y., Chaudhuri H., Corrêa Rotunno Filho O., Guseva N., Bux F. (eds). Singapore: Springer; 2024. pp. 67–90. DOI: 10.1007/978-981-99-9581-3_2.
43. Kraynov S.R., Ryzenko B.N., Shvets V.M. Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ehkologicheskie aspekty [Geochemistry of ground waters: theoretical, applied and environmental aspects]. Moscow, Nauka; 2004. 677 p.
44. Zhou Dan. Usloviya samoochishcheniya i dopustimye vozdeistviya na gruntovye i poverkhnostnye vody (na primere vodosbora ozera Poyan KNR i Tomskogo Priob'ya RF) [Self-purification conditions and permissible impacts on ground and surface waters (on the example of the catchment area of the Poyang Lake, China and the Tomsk Ob region of the Russian Federation)]. Abstract of PhD thesis. Tomsk; 2023. 26 p.
45. Yang Heng. Osobennosti vzaimodeistviya podzemnykh i bolotnykh vod v gumidnykh usloviyakh umerennogo i subtropicheskogo klimatov (na primere ob"ektov Zapadnoi Sibiri Rossii i Vostochnogo Kitaya) [Features of the interaction of groundwater and swamp waters in humid conditions of temperate and subtropical climates (on the example of objects in Western Siberia, Russia and Eastern China)]. Abstract of PhD thesis. Tomsk; 2023. 26 p.

Статья поступила в редакцию 25.07.2024 г., одобрена после рецензирования 09.03.2025 г., принята к публикации 01.06.2025 г.
The article was submitted 25.07.2024; approved after reviewing 09.03.2025; accepted for publication 01.06.2025.

Информация об авторах

Савичев Олег Геннадьевич

Доктор географических наук, профессор
Профессор отделения геологии
Томский политехнический университет
634050 Томск, пр-кт Ленина, д. 30
e-mail: OSavichev@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9561-953X
Scopus ID: 26654450600
SPIN-код: 4784-6218
AuthorID: 102834

Information about authors

Oleg G. Savichev

Doctor of Geographical Sciences, Professor
Professor, Department of Geology
Tomsk Polytechnic University
30, Lenin Ave, Tomsk, 634050, Russia
e-mail: OSavichev@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9561-953X
Scopus ID: 26654450600
SPIN-код: 4784-6218
AuthorID: 102834