

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 556.53

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-3(97-109)

Ю. А. ХАРАНЖЕВСКАЯ\*, \*\*, А. А. СИНЮТКИНА\*

\*Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН, 634050, Томск, ул. Гагарина, 3, Россия, [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru)

\*\*Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Томск, проспект Ленина, 36, Россия, [ankalaeva@yandex.ru](mailto:ankalaeva@yandex.ru)

### ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ БОЛОТ В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕК БАСЕЙНА СРЕДНЕЙ ОБИ

*Изучена роль болот в формировании годового стока рек Средней Оби и его внутригодового распределения, выполнена оценка заболоченности водосборов рек с применением космоснимков Landsat. Показано, что общая заболоченность водосборов практически всех исследуемых рек (за исключением рек Шегарка, Каргат, Чичка-Юл, Большая Юкса), определенная путем анализа космоснимков территории исследования, в среднем в 1,5–2 раза превышает полученные ранее данные, а влияние болот на сток рек неоднозначно и зависит от распространения отдельных групп болотных микроландшафтов, структуры болотных массивов, характера расположения болот на водосборе, хода и стадии их развития. В левобережье р. Оби отмечено преобладание верховых болот (49 %) центрально-олиготрофного хода развития, закономерное чередование определенных групп болотных микроландшафтов от центральной части к окраинам болот и практически полное объединение элементарных болотных массивов с образованием крупнейших болотных систем, таких как Васюганское болото. В результате влияние болот на сток рек здесь более четко выражено. В правобережье р. Обь в условиях большей эрозионной расчлененности рельефа местности преобладает периферически-олиготрофный ход развития болотных массивов, практически все болота находятся на более ранних стадиях своего развития, наблюдается преобладание переходных болот (49 %), в результате болота в меньшей степени влияют на сток рек. В условиях увеличения заболоченности водосборов в правобережье р. Оби выявлено увеличение средних многолетних слоев стока, а в левобережье, наоборот, наблюдается снижение слоев стока. В правобережье Оби при увеличении заболоченности водосборов рек отмечается увеличение выравниваемости стока внутри года. Внутригодовое распределение стока рек левобережья Оби характеризуется большей неравномерностью, снижением стока межлетнего периода при увеличении площади болот.*

Ключевые слова: годовой сток рек, внутригодовое распределение, влияние, дешифрирование, заболоченность, Западная Сибирь.

Yu. A. KHARANZHEVSKAYA\*, \*\* AND A. A. SINYUTKINA\*

\*Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Siberian Federal Scientific Center for AgroBioTechnologies, Russian Academy of Sciences, ul. Gagarina, 3, Tomsk, 634050, Russia, [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru)

\*\*National Research Tomsk State University, pr. Lenina, 36, Tomsk, 634050, Russia, [ankalaeva@yandex.ru](mailto:ankalaeva@yandex.ru)

### INVESTIGATING THE ROLE OF MIRES IN THE STREAMFLOW FORMATION WITHIN THE MIDDLE OB RIVER BASIN

*A study is made of the role of bogs in the formation of the annual runoff within the Middle Ob basin and its intra-annual distribution as well as making an assessment of the swampiness of the river catchments by using Landsat space images. It is shown that the overall swampiness of the catchments of almost all rivers under investigation (except for the Shegarka, Kargat,*

*Chichka-Yul and Bol'shaya Yuksa rivers) as determined by analyzing the space images of the study territory exceeds, on the average, he previously obtained data by a factor of 1.5–2, while the influence of the bogs on the streamflow is different and depends on the occurrence of separate groups of bog microlandscapes, the structure of bog massifs, the character of location of the bogs on the catchment, and on the course and stage of their development. The area along the left bank of the Ob is dominated by raised bogs (49 %) of the central-oligotrophic course of development and shows a regular alternation of definite groups of bog microlandscapes from the middle part to the margins of the bogs, and an almost total merging of elementary bog massifs to form major bog systems, such as the Vasyugan Swamp. As a result, the influence of the bogs on the streamflow is more clearly pronounced there. Along the right bank of the Ob, in conditions of the larger dissection of the terrain, the peripheral-oligotrophic course of development of the bog massifs is dominant, almost all bogs are in early stages of their development, with transition bogs predominating (49 %) so that the bogs have a smaller influence on the streamflow. In conditions of an increase in swampiness of the catchments along the right bank of the Ob, it is found that the mean long-term layers of flow increase, whereas along the left bank the inverse situation is observed. The area along the right bank of the Ob shows an increase in evenness of the discharge within a year is observed with an increase in swampiness of the river catchments. The intra-annual runoff distribution of the rivers in the area along the left bank of the Ob is characterized by a larger irregularity, and by a decrease in the runoff at the low-water period with an increase in the area of the bogs.*

Keywords: annual streamflow, intra-annual distribution, influence, interpretation, mires, Western Siberia.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время проблемы, связанные с изменением водных ресурсов и гидрологического режима водных объектов, вызывают большой научный интерес и имеют решающее значение для экономического развития, обеспечения жизненных потребностей и безопасности населения, рационального природопользования и сохранения окружающей природной среды. На современном этапе в условиях увеличения уровня хозяйственного освоения территорий необходимы мониторинг водного режима, оценка существующего состояния водных ресурсов, а также прогноз их изменений в перспективе. Особенно интересна эта проблема для Западной Сибири, которая характеризуется широким распространением болот. Существование обширных заболоченных пространств в таежной зоне Западной Сибири определяет закономерности в перераспределении тепла и влаги на данной территории. Болота играют роль мощного климаторегулирующего фактора, и процесс заболачивания территории продолжается. Кроме того, предварительные оценки заболоченности водосборов ряда рек в бассейне Средней Оби показали, что приведенные в [1] данные уже не соответствуют действительности, процесс заболачивания Западной Сибири прогрессирует [2], а скорость отложения торфа составляет около 0,6 мм/год [3].

Поэтому, с одной стороны, достаточно сложно предсказать, как скажется на изменении водного стока рек прогрессирующий процесс заболачивания, особенно в условиях природно-климатических изменений, в связи с тем, что многочисленные исследования гидрологической роли болот до сих пор не привели к однозначным выводам по данному вопросу. С другой стороны, трудно оценить гидрологическую роль болот, при том что одну из главных проблем Западной Сибири представляет собой низкая плотность сети станций гидрометеорологических наблюдений на реках (особенно на малых) и практически полное отсутствие наблюдений за водным режимом болот. Поэтому при учете стока рек в рамках проведения инженерных изысканий зачастую используют метод аналогии или устаревшие литературные данные, в том числе по заболоченности водосборов. В результате при определении многих гидрологических характеристик возникают существенные ошибки в расчетах, и мы наблюдаем порывы нефтепроводов, а размещение дорог на заболоченных территориях без учета сетки линий стекания с болот способствует подтоплению территорий и нарушению экологического равновесия в зонах интенсивной хозяйственной деятельности. Все это требует получения новых данных по заболоченности речных водосборов таежной зоны Западной Сибири и оценки влияния болот на сток рек.

Согласно представлениям Е. Г. Попова [4], И. Вери [5], болота — естественные регуляторы стока, оказывают существенную роль на формирование стока. Болота, обладающие достаточной поверхностной емкостью в условиях недостатка влаги в предшествующие лето и осень, могут существенно понизить весенний сток [4]. Другие авторы [6–13] считают, что болота не представляют собой значительные регуляторы стока, однако снижают его норму за счет повышенного испарения. Если в период половодий и значительных паводков происходит некоторое снижение максимумов и растягивание волны половодий, то это перераспределение стока объясняется не большими емкостями, а малыми уклонами местности. В период устойчивой межени верховые болота не увеличивают меженный сток, но могут его снизить за счет испарения [14]. Представленный в работах [15, 16] детальный анализ влияния заболоченности водосборов на норму стока рек и их внутригодовое распределение в пределах территории Беларуси показал, что болота не аккумулируют весенних паводков и не способствуют

регулированию речного стока внутри года. Наоборот, сток на заболоченных водосборах по сравнению с не столь заболоченными оказывается менее выровненным, с повышенными суммарными величинами в период весеннего половодья и характеризуется более низкими величинами в летний, осенний и зимний сезоны. В целом в весенний период на значительно заболоченных речных водосборах наблюдается сглаживание пика половодья при одновременном увеличении объема весеннего паводка по сравнению с незаболоченными водосборами.

В ряде зарубежных работ [17, 18] отмечено, что роль болот в формировании стока рек весьма неоднозначна и во многом зависит от величины предшествующего увлажнения и запасов влаги в торфяной залежи болота. Комплексный анализ опубликованных работ, выполненный в [19], показал, что в различных физико-географических условиях болота по-разному влияют на сток рек в зависимости от типа их водно-минерального питания, степени увлажненности территории, сезона года. Отмечается, что в одних условиях болота уменьшают риск возникновения наводнений, снижая паводочный сток, пополняют запасы подземных вод, увеличивают риск возникновения меженного питания рек, а в других — увеличивают максимальные расходы воды и объемы стока в половодье и паводки.

Новые данные по оценке гидрологической роли болот представлены в работе О. Г. Савичева [20], где также отмечено, что заболоченность, как и лесистость, не представляют собой факторы, однозначно влияющие на величину водного стока рек в таежной зоне Западной Сибири. Проведенные им исследования показали, что годовой сток рек уменьшается при увеличении относительной площади безлесных болот и гарей на водосборе реки.

В существующих нормативных документах, которые в настоящее время применяются в практике водохозяйственных расчетов, считается, что болота — это регуляторы стока рек, поэтому при определении максимального и минимального стока рек в условиях недостатка и отсутствия данных гидрологических наблюдений используются коэффициенты, учитывающие в первом случае снижение максимальных расходов воды с заболоченных водосборов, а во втором — увеличение минимальных расходов воды [21, 22].

Таким образом, можно выделить две противоположные точки зрения по этому вопросу и отметить практически полное отсутствие каких-либо результатов, подтверждающих сделанные выводы. В первом случае реки, которые характеризуются высокой заболоченностью водосборов, обладают высокой равномерностью распределения речного стока в течение года, меньшим весенним стоком и более высоким стоком меженного периода. Во втором случае считается, что болота не являются регуляторами стока, они не аккумулируют и не улучшают, а наоборот — ухудшают меженное питание рек, уменьшая его. С учетом этого в данной работе предполагается выполнить оценку общей заболоченности водосборов с выделением групп болотных микроландшафтов и провести исследования роли болот в формировании годового стока рек бассейна Средней Оби и его внутригодового распределения.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходной информацией для проведения исследований послужили материалы наблюдений Росгидромета за расходами воды на средних реках на 29 гидрометрических постах в бассейне Средней Оби (рис. 1), данные дистанционного зондирования земной поверхности (космоснимки Landsat, 2000 г., разрешение 14 м/пикс.), результаты полевых описаний болот.

Методика исследований включала в себя определение общей заболоченности и распространения групп болотных микроландшафтов на водосборах, оценку и изучение роли болот в формировании годового стока и внутригодового распределения стока средних рек, а также малой р. Ключ в створе у с. Польшанка. Определение общей заболоченности водосборов рек и распространения групп болотных микроландшафтов осуществлялось путем дешифрирования космоснимков Landsat с использованием программного пакета ArcGIS 9.3 (ESRI Inc). При выделении групп болотных микроландшафтов на водосборах рек использовалась классификация болот К. Е. Иванова [9] в модификации А. А. Синюткиной, представленная в работе [23]. При оценке заболоченности водосборов во внимание принимались только болотные микроландшафты без учета заболоченных и внутриболотных суходольных лесов. Проверка результатов дешифрирования выполнялась в ходе полевых ландшафтных исследований в пределах каждой из выделенных в легенде групп болотных микроландшафтов. Ландшафтное описание включало в себя характеристику микрорельефа болота, растительного покрова и торфяной залежи, определение уровня болотных вод и было проведено более чем на 100 точках в пределах рассматриваемой территории.

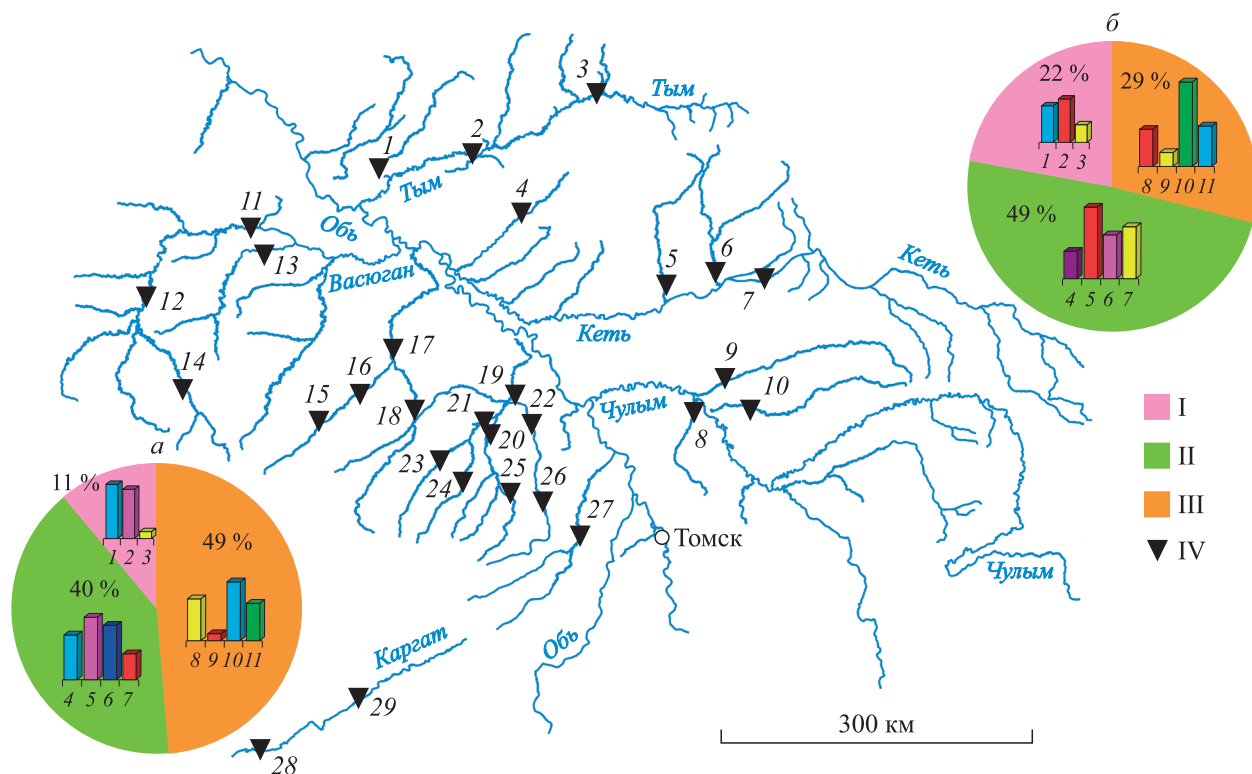


Рис. 1. Схема расположения гидрометрических постов и распределения групп болотных микроландшафтов на левобережье (а) и правобережье (б) р. Оби.

Группы болотных микроландшафтов. Низинные (I): 1 — древесные, 2 — древесно-травяно-моховые, 3 — травяно-гипновые; переходные (II): 4 — древесные, 5 — древесно-травяные, 6 — древесно-моховые, 7 — травяно-моховые; верховые (III): 8 — древесно-кустарничково-моховые, 9 — травяно-моховые и моховые, 10 — грядово-мочажинные, 11 — грядово-озерковые [23, 30]. IV — гидрометрические посты (см. табл. 1).

Оценка внутригодового распределения стока рек проводилась методом компоновки. При расчетах в качестве лимитирующего периода выбран меженный период, включающий летне-осеннюю и зимнюю межень. За лимитирующий сезон принят зимний меженный период. Сток за лимитирующий сезон и период выражался суммой средних месячных расходов воды. По значениям годового стока, стока за лимитирующий период и сезон были построены эмпирические кривые обеспеченности и определены основные статистические параметры. Данные о стоке за год и лимитирующий период и сезон установленной вероятности превышения (25, 50 и 75 %) получены на основе кривых обеспеченности. Сток за нелимитирующий период определялся по разности стока за год и лимитирующий период, а сток нелимитирующего сезона — по разности между стоком за лимитирующие период и сезон [24].

Для оценки гидрологической роли болот проводился анализ рядов на случайность и корреляционный анализ. Последний осуществлялся путем построения матрицы коэффициентов корреляции средних многолетних годовых расходов воды и долей суммарного сезонного стока рек в процентах от годового установленной вероятности превышения (25, 50 и 75 % обеспеченности) и общей площади болот, а также господствующих групп болотных микроландшафтов на водосборах. Оценка случайности изменения или нарушения однородности рядов производилась с использованием критерия Питмена [25]. Вывод о неслучайном изменении однородности рядов делался при уровне значимости  $\alpha = 5\%$  в случае, когда расчетная статистика ( $\pi$ ) по модулю превышала соответствующее критическое значение ( $\pi_{кр}$ ).

Расчет стока с болот бассейна р. Чаи проводился методом склонового стекания [26] с использованием космоснимков Landsat, разработанной ранее ландшафтно-типологической карты болот [27], а также данных многолетних наблюдений за уровнем болотных вод на стационаре Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа — филиала Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН в бассейне малой р. Ключ. Наблюдения за уровнями болотных вод организованы в соответствии с [28] на участке верхового болота у с. Полянника: в пределах сосново-кустарничково-сфаг-

новых болотных микроландшафтов (высокий и низкий рям), осоково-сфагновой топи выклинивания. Болотный массив, на котором организованы наблюдения за уровнями болотных вод, представляет собой часть Васюганской болотной системы, занимая северо-восточные отроги на междуречье рек Бакчар и Иксы. Это участок с характерным для южнотаежной подзоны Западной Сибири сочетанием болотных и лесных биогеоценозов. Река Ключ, правый приток р. Бакчар, образуется путем слияния двух болотных водотоков, собирающих сток с северной и восточной частей верхового болотного массива. Общая площадь водосбора, по материалам дешифрирования космоснимков, составила 76 км<sup>2</sup>, общая заболоченность — 77 % [29].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования позволили отметить, что общая заболоченность водосборов исследуемых рек существенно превышает данные, представленные в [1]. Вероятно, это связано с тем, что, во-первых, ранее при подсчетах заболоченности водосборов использовались топографические карты местности с недостаточно точным отображением границ растительного покрова, во-вторых, процесс развития болот в условиях избыточного увлажнения территории Западной Сибири не прекращается, и за последние 30–40 лет площадь болот существенно увеличилась. Общая заболоченность водосборов практически всех исследуемых рек (за исключением рек Шегарки, Каргата, Чичка-Юлла, Большой Юксы), определенная путем анализа космоснимков Landsat территории исследования, в среднем в 1,5–2 раза (табл. 1) превышает полученные ранее данные [1]. Кроме того, наблюдается практически полное отсутствие значимых корреляционных зависимостей между стоком рек и общей заболоченностью бас-

Таблица 1

Характеристика заболоченности водосборов рек бассейна Средней Оби

Номер по порядку	Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Заболоченность, % [1]	Заболоченность, % по материалам дешифрирования
1	Сангилька – пос. Киевский	4270	20	40
2	Тым – с. Напас	24 500	25	44
3	Тым – с. Ванжиль-Кынак	10 100	10	52
4	Пайдугина – с. Березовка	6500	30	48
5	Лисица – с. Лисица	7530	19	52
6	Орловка – с. Дружный	8740	45	69
7	Кеть – с. Максимкин Яр	38 400	10	21
8	Бол. Юкса – с. Первопашинский	2620	15	14
9	Улуул – с. Аргат-Юл	7720	10	16
10	Чичка-Юл – пос. Франца	5210	5	1
11	Васюган – с. Средний Васюган	31 700	40	51
12	Васюган – с. Новый Васюган	19 000	35	46
13	Нюролька – с. Мыльджино	9104	19	41
14	Васюган – с. Майск	3730	35	49
15	Чузик – с. Пудино	3400	35	55
16	Чузик – с. Осипово	7090	35	49
17	Парабель – с. Новиково	17 900	40	51
18	Кенга – с. Центральный	7440	40	57
19	Чая – с. Подгорное	25 000	35	52
20	Бакчар – с. Горелый	6610	40	63
21	Парбиг – с. Веселый	9100	25	47
22	Икса – с. Копаное озеро	5210	20	61
23	Парбиг – с. Парбиг	3220	35	56
24	Андарма – с. Паньчево	2330	35	49
25	Бакчар – с. Польшанка	2040	25	65
26	Икса – с. Плотниково	2560	49	66
27	Шегарка – с. Бабарыкино	8190	25	25
28	Каргат – с. Гавриловский	3910	30	28
29	Каргат – с. Здвинск	6440	24	24



сейнов [1]. Между тем, проверка рядов среднего многолетнего годового стока рек в бассейне Средней Оби на случайность при уровне значимости 5 % показала, что статистически значимое увеличение слоев стока отмечается только для двух из исследуемых постов (р. Шегарка у с. Бабарыкино, р. Тым у с. Напас) (табл. 2).

Анализ распространения групп болотных микроландшафтов в бассейне Средней Оби показал, что данная территория характеризуется различием в общей заболоченности и преобладании тех или иных групп на правом берегу и левом берегу р. Оби. Левобережье бассейна Средней Оби отличается преобладанием плоских слаборенерированных заболоченных междуречных равнин, сложенных преимущественно глинами и суглинками (см. рис. 1). Средняя заболоченность водосборов рек левобережья Оби составляет 52 %. Здесь преобладают грядово-мочажинные и грядово-озерковые группы болотных микроландшафтов, что составляет 32 % от общей площади болот рассматриваемой территории. Доли рек заболочены в меньшей степени, здесь распространены низинные болота. Для бассейнов рек Чаи и Васюгана характерно преобладание верховых болот (45 и 48 % от общей площади болот бассейнов соответственно). Отмечено возрастание доли грядово-мочажинных и грядово-озерковых болотных микроландшафтов с юга на север от 15 % в бассейне р. Чаи до 42 % в бассейне р. Васюгана и уменьшение доли древесно-кустарничково-моховых болотных микроландшафтов с 35 до 9 % соответственно. Для правобережья р. Оби, в особенности его северной части, свойственно развитие ложбин древнего стока, протянувшихся с северо-востока на юго-запад, что отразилось на ландшафтной

Таблица 2

Результаты проверки средних многолетних слоев стока рек на случайность (при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ )

Река – пункт	Период	Слой стока, мм	$\pi_{крг}$	$\pi_{кр}$
Сангилька – пос. Киевский*	1975–2011	255	0,63	2,34
Тым – с. Напас	1937–2011	252	<b>2,49</b>	2,29
Тым – с. Ванжиль-Кынак	1954–2011	249	1,05	2,30
Пайдугина – с. Березовка	1955–2011	244	1,77	2,30
Лисица – с. Лисица	1972–2011	247	1,02	2,33
Орловка – с. Дружный	1956–2011	233	2,06	2,31
Кеть – с. Максимкин Яр	1937–2011	200	0,77	2,29
Бол. Юкса – с. Первопашинский	1960–2011	146	1,42	2,31
Улуул – с. Аргат-Юл	1951–2011	184	–0,17	2,30
Чичка-Юл – пос. Франца*	1953–2011	173	0,56	2,30
Васюган – с. Средний Васюган	1936–2011	153	–0,56	2,29
Васюган – с. Новый Васюган	1960–2011	146	0,25	2,31
Нюрюлька – с. Мылдыжино*	1964–2011	158	–0,74	2,32
Васюган – с. Майск	1955–2011	132	0,30	2,30
Чузик – с. Пудино*	1979–2011	129	1,46	2,36
Чузик – с. Осипово*	1956–2005	125	0,85	2,31
Парабель – с. Новиково*	1957–2011	138	2,09	2,31
Кенга – с. Центральный*	1954–2011	105	0,81	2,30
Чая – с. Подгорное	1953–2011	100	1,96	2,30
Бакчар – с. Горелый	1960–2011	94	1,51	2,31
Парбиг – с. Веселый	1953–2011	108	1,98	2,30
Икса – с. Копаное озеро*	1965–2011	105	2,14	2,30
Парбиг – с. Парбиг*	1959–2011	123	–0,43	2,31
Андарма – с. Панычево	1951–2011	98	0,90	2,30
Бакчар – с. Польшнянка	1974–2011	72	2,33	2,34
Икса – с. Плотниково	1933–2011	90	1,22	2,29
Шегарка – с. Бабарыкино*	1953–2011	67	<b>2,97</b>	2,30
Каргат – с. Гавриловский	1948–2011	38	–1,07	2,30
Каргат – с. Здвинск	1936–2011	33	–1,48	2,29

Примечание.  $\pi_r$  – критерий Питмена,  $\pi_{кр}$  – критическое значение критерия Питмена. Жирным шрифтом выделены значения, превышающие  $\pi_{кр}$ . \* – ряд восстановлен.

структуре территории. Средняя заболоченность водосборов рек правобережья Оби составляет 36 %. Значительные площади заняты переходными топяными травяно-моховыми и древесно-травяными болотными микроландшафтами, которые занимают 29 % от общей площади болот правобережья [30]. В сравнении с левобережьем комплексные грядово-мочажинные болотные микроландшафты занимают меньшие площади (21 %). Заболочены не только междуречные пространства, но и долины рек. Наибольшей заболоченностью отличаются бассейны рек Тыма и Кети. Для них характерно преобладание переходных болотных микроландшафтов (45 и 58 % от общей площади болот бассейна соответственно), при этом наиболее распространенная группа — древесно-травяные болотные микроландшафты.

Исследования роли болот в формировании среднего многолетнего годового стока рек в бассейне Средней Оби показали, что их влияние в комплексе физико-географических факторов в целом неоднозначно. Различные по характеру закономерности в изменении годового стока рек при увеличении заболоченности их водосборов отмечаются на Обь-Иртышском междуречье в районе Васюганского болотного массива и на правобережье Средней Оби, где также отмечается высокая степень заболоченности территории при некотором различии пространственной структуры болот. При увеличении общей заболоченности водосборов рек на 16 % на правобережье Оби наблюдается возрастание слоев стока в среднем в 1,3 раза, причем максимальное увеличение характерно для рек центральной части подзоны средней тайги (бассейн р. Тыма) (рис. 2).

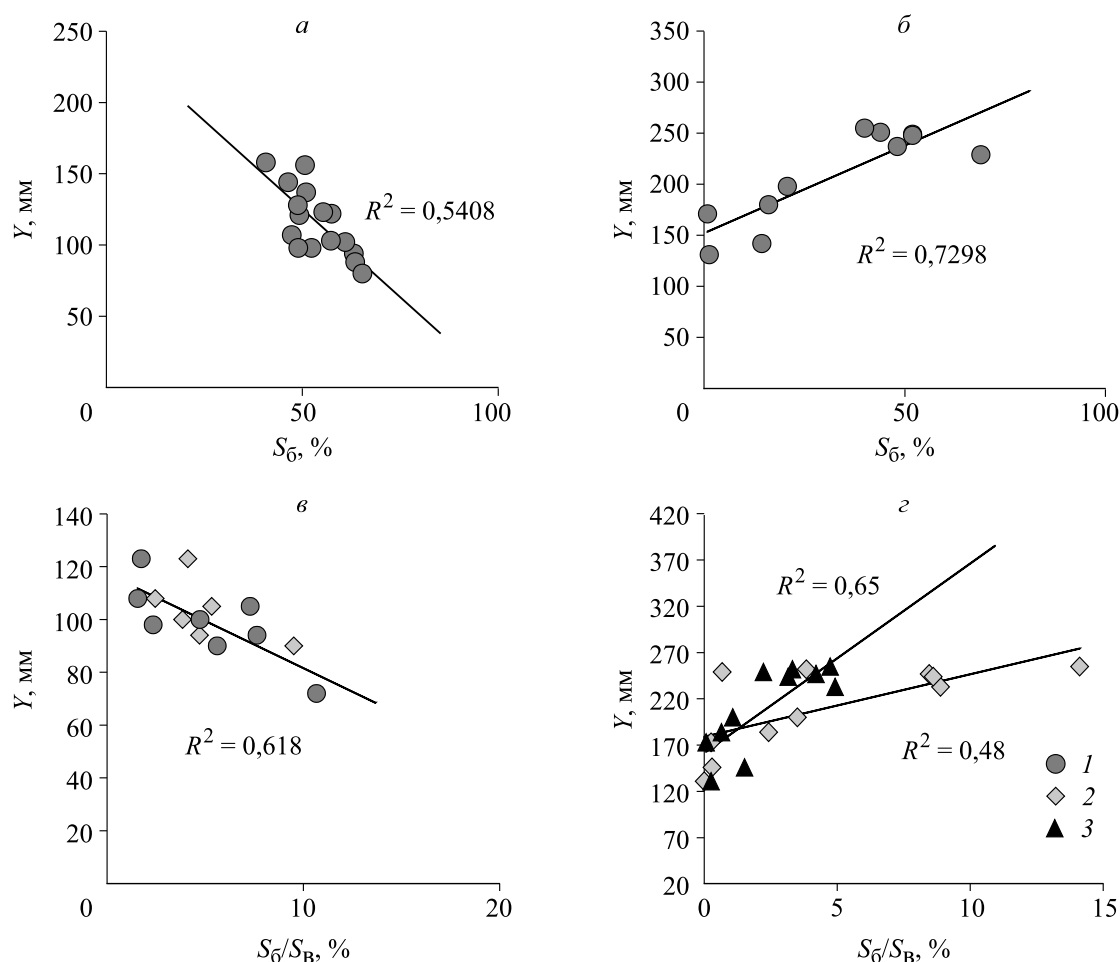


Рис. 2. Зависимость среднего многолетнего слоя стока (Y, мм) рек левобережья (а, в) и правобережья (б, г) Оби от относительной площади болот  $S_6$  (а, б) и отдельных групп болотных микроландшафтов  $S_6/S_B$  (в, г) в пределах водосбора реки.

Группы болотных микроландшафтов: 1 — грядово-мочажинные верховые, 2 — травяно-моховые переходные, 3 — древесно-моховые переходные.  $S_6$  — площадь болот, отнесенная к площади водосбора, %;  $S_6/S_B$  — площадь болотных микроландшафтов, отнесенная к площади водосбора, %.

Увеличение среднемноголетних слоев стока средних рек в пределах правобережья Средней Оби происходит в соответствии с возрастанием доли древесно-травяных, древесно-моховых, травяно-моховых переходных и грядово-мочажинных верховых болотных микроландшафтов, занятой в пределах их бассейнов. К примеру, при увеличении площади травяно-моховых переходных болотных микроландшафтов до 14 % в пределах водосборов рек правобережья Оби, отмечается возрастание слоев стока в среднем в 1,5 раза. При увеличении площади древесных травяно-моховых низинных болотных микроландшафтов на водосборах наблюдается обратная тенденция — уменьшение слоев стока рек (см. рис. 2).

На левобережье Средней Оби при увеличении общей заболоченности водосборов рек на 25 % отмечается статистически значимое снижение слоев стока (в среднем в 1,8 раза). Статистически значимое уменьшение слоев стока наблюдается при увеличении доли древесно-травяных, травяно-моховых переходных и древесно-кустарничково-моховых, травяно-моховых, грядово-мочажинных верховых болотных микроландшафтов (см. рис. 2). К примеру, отмечается снижение слоев стока в 1,5 раза при увеличении в пределах водосборов рек левобережья Оби площади травяно-моховых переходных болотных микроландшафтов до 11 %. Увеличение слоев стока рек левобережья Средней Оби в среднем в 1,4 раза происходит при возрастании площади древесных переходных и сфагновых верховых болотных микроландшафтов до 15 % в пределах их водосборов.

Полученные результаты по влиянию болот на сток рек хорошо подтверждаются данными по слоям стока с болот и динамике уровней болотных вод в бассейне р. Чаи, левобережного притока Оби. Проведенные расчеты стока с болот в бассейне Чаи показали, что максимальный слой стока 61 мм отмечается на участках древесно-кустарничково-моховых групп верховых болотных микроландшафтов, который резко снижается до 0,98–1,17 мм при переходе к травяно-моховым и грядово-мочажинным группам микроландшафтов центральных частей болотных массивов и несколько возрастает на участках переходных древесных и древесно-моховых групп — до 2,77–5,73 мм. Суммарный слой стока с болот бассейна р. Чаи равен 72 мм, что составляет 72 % от слоя стока реки в замыкающем створе (табл. 3).

Исследования динамики уровней болотных вод на участке верхового болотного массива в бассейне р. Чаи показали, что сосново-кустарничково-сфагновые болотные микроландшафты характеризуются значительной амплитудой колебания в пределах от 24 до 36 см, при среднем уровне болотных вод 13–25 см ниже средней поверхности болота. В пределах топяных осоково-сфагновых верховых болотных микроландшафтов амплитуда колебания уровней снижается до 16 см, а средний многолетний уровень болотных вод повышается до отметки –3 см ниже поверхности болота (табл. 4). Следует отметить, что облесенные сосново-кустарничково-сфагновые болотные микроландшафты характеризуются более высокой интенсивностью водообмена и более быстрой реакцией на изменение окружающих условий, обусловленное природно-климатическими или антропогенными факторами. В противоположность этому широкое распространение топяных осоково-сфагновых верховых болотных микроландшафтов с малыми амплитудами колебания способно в значительной степени снизить процессы водообмена заболоченных территорий и способствует снижению речного стока [27, 31].

Исследования влияния заболоченности водосборов на внутригодовое распределение стока рек в бассейне Средней Оби также выявили неоднозначную зависимость, которая определяется различны-

Таблица 3

**Слой стока с господствующих групп болотных микроландшафтов по длине контура стекания в бассейне р. Чаи у с. Подгорное**

Группа болотных микроландшафтов	Средние многолетние уровни болотных вод, см [26]	Площадь групп микроландшафтов, км <sup>2</sup>	Единичный расход воды, л/(с·км) [26]	Длина контура стекания, км	Слой стока с болот, мм	Суммарный слой стока с болот, мм
Древесно-кустарничково-моховые	–18	4385	28,9	1683	61	72
Грядово-мочажинные	–14	1187	33,4	28	1,17	
Травяно-моховые и моховые	–4	975	4,88	159	0,98	
Древесные переходные	–32	1822	13,1	347	5,73	
Древесно-моховые	–20	1223	11	200	2,77	
Древесно-травяные	–20	1133	2,73	82	0,28	
Травяно-моховые	–10	962	0,07	177	0,02	



Обобщенные данные по уровням болотных вод в бассейне р. Чаи за 1998–2015 гг.

Вид болотного микроландшафта	Средний многолетний уровень болотных вод	Максимальный уровень болотных вод	Минимальный уровень болотных вод	Годовая амплитуда колебаний уровней, см
	см от СПб			
Сосново-сфагново-кустарничковый (высокий рям)	–25	7 (1999)	–72 (2012)	36
Сосново-сфагново-кустарничковый (низкий рям)	–13	13 (1998)	–49 (2003)	24
Сфагново-осоковый (топяной)	–3	11 (2015)	–24 (2003)	16

Примечание. СПб — средняя поверхность болота (средняя ордината горизонта формирования микрорельефа поверхности в соответствующем микроландшафте, определенная по данным нивелировки). В скобках указан год.

ми физико-географическими факторами и по-разному отражается в условиях формирования поверхностного стока рек.

Внутригодовое распределение стока рек исследуемой территории в целом незначительно различается по бассейнам рек. Так, реки левобережья Оби (бассейны рек Чаи, Васюгана, Парабели) характеризуются повышенной долей стока в период весеннего половодья от 57 до 75 % и достаточно низким меженным стоком, доля стока за летне-осенний период составляет от 19 до 36 %, в зимний период сток рек минимален (не более 10 %). В правобережье бассейна Средней Оби (бассейны рек Пайдугины, Кети, Тыма, Орловки) отмечается более выровненное внутригодовое распределение стока рек, а равномерность стока внутри года закономерно увеличивается с юга на север в соответствии с увеличением заболоченности территории. При этом суммарный сток весеннего половодья составляет 54 % от годового, увеличиваясь до 68 % на юге южно-таежной подзоны. Увеличение равномерности распределения стока рек внутри года в первую очередь связано с увеличением стока рек в период зимней межени до 11–15 % от суммарного годового стока. Исследования показали также некоторое, в сравнении с левобережными притоками Оби, повышение суммарного меженного стока, максимальные величины суммарного стока (41 % от годового) за летне-осеннюю межень отмечены в пределах бассейна р. Тыма.

Корреляционный анализ показал, что в правобережье р. Оби при увеличении заболоченности водосборов рек отмечается повышение выровненности стока внутри года. Внутригодовое распределение стока рек левобережья Оби характеризуется большей неравномерностью, снижением его в течение меженного периода при увеличении площади болот. Кроме того, отмечается различный характер связи суммарного сезонного стока рек и площади болот в многоводный, средний и маловодный периоды. Следует отметить, что наиболее тесная связь заболоченности водосборов рек и сезонного стока характерна для бассейна внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья, включающего реки, впадающие в оз. Чаны. Для этой территории наблюдаются резкое снижение стока рек в период летне-осенней межени до 8–20 % и резкое увеличение доли весеннего половодья до 79–91 % в годовом объеме стока в многоводный год при увеличении площади болот.

В многоводный период (25 % обеспеченности) на левобережье Оби наблюдаются увеличение доли стока весеннего половодья до 75 % и снижение суммарного стока летне-осенней межени до 23 % и зимней — до 2 % при возрастании относительной площади болот до 65 % на водосборе реки. На правобережье Оби наблюдаются снижение суммарного стока в период весеннего половодья до 55 % при увеличении площади болот до 69 % и, наоборот, возрастание стока рек в период зимней до 13 % и летне-осенней межени до 31 % (рис. 3).

В средний по водности период (50 % обеспеченности) на левобережье отмечается увеличение доли стока весеннего половодья до 87 % и снижения стока до 1 % в период зимней межени и до 12 % в летне-осеннюю при увеличении заболоченности территории до 65 %. На правобережье р. Оби в средний по водности период наблюдается статистически значимая закономерность увеличения суммарного стока рек до 15 % в зимнюю межень, 29 % в летнюю и снижение стока до 56 % в весеннее половодье при увеличении заболоченности водосборов до 69 %. Следует отметить, что наиболее четкие закономерности и тесные связи стока рек с заболоченностью водосборов наблюдаются преимущественно в бассейнах рек Чаи, Парабели и Васюгана, на правобережье эти зависимости затухают,

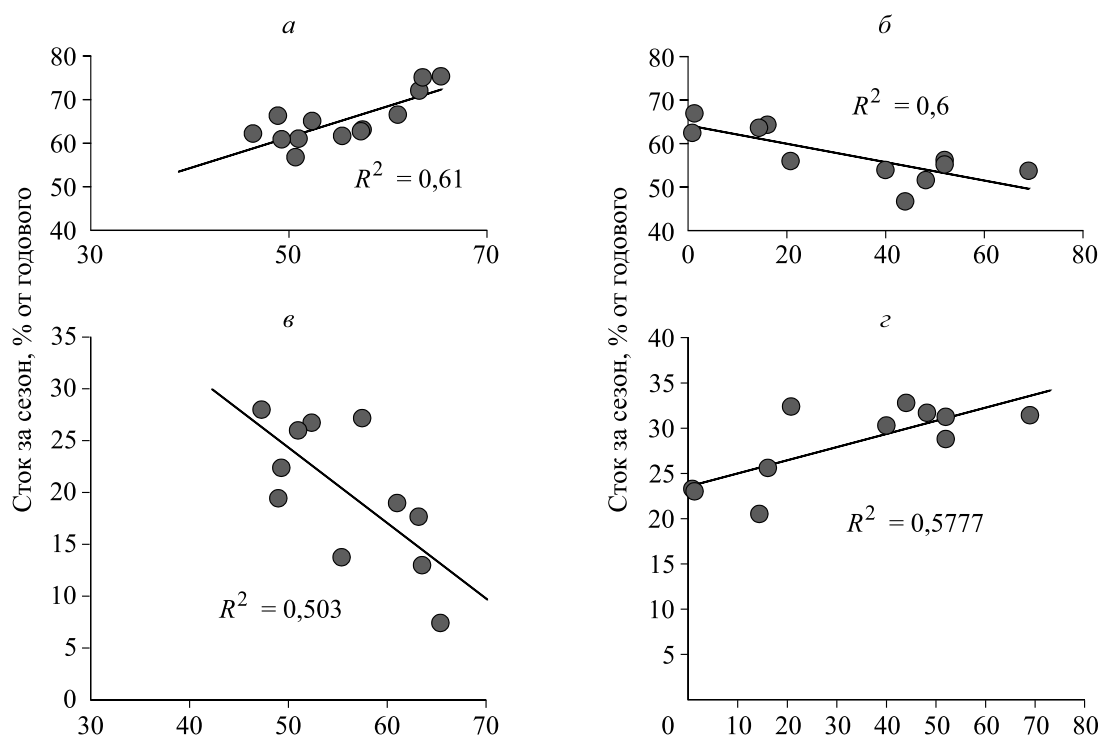


Рис. 3. Зависимость суммарного стока рек 25%-й обеспеченности за половодье (а, б) и 75%-й обеспеченности за летне-осеннюю межень (в, г) от относительной площади болот водосборов левобережья и правобережья Оби.

что говорит о ведущей роли Васюганского болота в формировании стока рек Обь-Иртышского междуречья, которое определяет большую неравномерность распределения стока рек внутри года в сравнении с реками правобережья Оби.

В маловодный период (75 % обеспеченности) закономерности изменения сезонного стока рек в зависимости от общей заболоченности водосборов проявляются наиболее явно, отмечаются более тесные связи. На левобережье Оби в условиях увеличения площади болот (до 65 % от площади водосбора) снижается суммарный сток меженного периода до 1 % в зимнюю межень и до 7 % в летне-осеннюю при увеличении доли весеннего половодья в годовом объеме стока рек до 91 %. На правобережье отмечается увеличение суммарного стока в меженный период до 15 % в зимнюю межень и до 31 % в летне-осеннюю при возрастании заболоченности водосборов рек до 69 %, доля весеннего половодья в годовом объеме стока рек составила 54 % (см. рис. 3).

Исследования по влиянию болот на внутригодовое распределение стока рек хорошо подтверждаются результатами анализа совместной динамики уровней болотных вод и расходов воды малой реки Ключ в створе у с. Полянника (левобережье Оби) на примере многоводного 2013 г. Отмечено, что водный режим верхового болота в бассейне Ключа характеризуется подъемом уровней в весенний период, плавным спадом, нарушаемым незначительными осадками, низкой летне-осенней меженью и повышением уровней в период осенних дождей (рис. 4). Анализ совместной динамики уровней болотных и речных вод в бассейне Ключа показал, что условия формирования стока определяются характером насыщения торфяной залежи болот, в зимний период река полностью промерзает, а весной сток в реке появляется только после насыщения деятельного горизонта и подъема уровней болотных вод к поверхности болота до отметки  $-18$  см. Основная фаза водного режима малой реки — это половодье, в период которого проходит 91 % годового стока, а также наблюдаются максимальные расходы и наибольшие уровни воды. Максимальный расход воды в реке составил  $2,6 \text{ м}^3/\text{с}$  и был отмечен через 13 дней после появления максимального уровня болотных вод 0 см (28.04.2013). В летне-осенний сезон река питается преимущественно болотными водами, причем питание болотными водами значительно сокращается, а затем и полностью прекращается к середине летне-осеннего сезона. В дальнейшем при выпадении атмосферных осадков и повышении уровней болотных вод до отметки

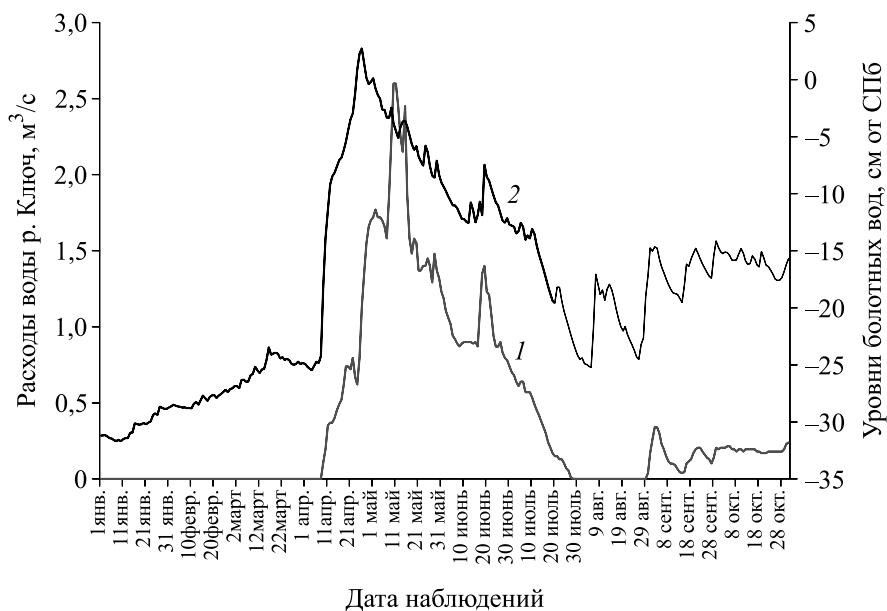


Рис. 4. Совмещенный график хода уровней болотных (сосново-кустарничково-сфагновый микроландшафт) и расхода речных вод в бассейне р. Ключ (2013 г.).

1 — р. Ключ у с. Полянника; 2 — сосново-кустарничково-сфагновый микроландшафт.

–17 см ниже средней поверхности болота отмечается возобновление стока реки. Анализ совмещенного графика уровней болотных вод и расходов воды р. Ключ показал, что болота отрицательно влияют на сток реки в меженный период, выравнивания и перераспределения стока в течение года не происходит, а высокая заболоченность водосбора (77 %) предопределяет значительное снижение расходов воды или полное пересыхание малого водотока в период летне-осенней межени.

Таким образом, проведенные исследования показали, что влияние болот на сток рек во многом определяется особенностями их территориального размещения в пределах водосбора рек, ходом и стадией их развития и структурой. Как показали исследования по оценке современной площади болот и выявлению групп болотных микроландшафтов, на левобережье Оби преобладают крупные болотные массивы центрально-олиготрофного хода и поздних стадий развития, характеризующиеся в условиях сильно выровненного рельефа местности образованием топей и грядово-мочажинных комплексов на склонах и обводненных грядово-озерковых и озерково-мочажинных комплексов в центральных и наиболее возвышенных частях междуречий рек.

На левобережье Оби отмечается преобладание верховых болот (49 %), наблюдается закономерное чередование определенных групп болотных микроландшафтов от центральной части к окраинам болот и практически полное объединение элементарных болотных массивов с образованием крупнейших болотных систем, таких как Васюганское болото. В результате влияние болот на сток рек здесь более выражено и определено. На правобережье реки отмечена несколько иная структура заболоченной территории, которая еще достаточно слабо изучена. Отметим только, что в условиях большей эрозивной расчлененности рельефа местности преобладает периферически-олиготрофный ход развития болотных массивов, практически все болота находятся на более ранних стадиях своего развития, наблюдается преобладание переходных болот (49 %), в результате они в меньшей степени влияют на сток рек.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема изменения климата и хозяйственное освоение территории Западной Сибири требуют анализа трансформации условий формирования стока рек, особенно с высокой заболоченностью водосборов. Ведь в различных физико-географических условиях болота по-разному влияют на сток рек в зависимости от типа его водно-минерального питания, степени увлажненности территории, сезона года. Влияние болот на сток во многом определяется особенностями их территориального раз-

мещения в пределах водосборов рек, ходом и стадией их развития, а также структурой. При этом проведенные исследования показали, что болота в основном снижают годовой сток рек за счет повышенного испарения с поверхности в весенне-летний период.

Последствиями глобальных изменений климата в Западной Сибири является увеличение температуры воздуха, изменение характера циркуляции атмосферы, увеличение количества атмосферных осадков и смена режима их выпадения [32], что способствует внутригодовому перераспределению стока рек и смещению границ гидрологических сезонов [31], при этом статистически значимое изменение годового стока рек не отмечается. Однако уже в ближайшее время под влиянием прогнозируемого роста количества зимних атмосферных осадков и температуры воздуха [32] следует ожидать более существенного пространственно-временного перераспределения стока рек и вероятного появления экстремальных гидрологических явлений, связанных с пересыханием водотоков в летне-осеннюю межень (за счет роста испарения, в том числе с болот) и подтоплением территорий в период половодья.

В перспективе следует провести оценку роли болот в формировании максимального и минимального стока рек, доработать методики расчета при недостаточности и отсутствии материалов наблюдений, уточнить основные гидрологические характеристики водосборов в бассейне Средней Оби.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (12-05-33036-мол\_а\_вед).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ресурсы** поверхностных вод СССР / Под ред. Н. А. Паниной. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — Т. 15. — 406 с.
2. **Инишева Л. И., Дубровская Л. И., Инишев Н. Г.** Гидрологический режим верхового болота // Мелиорация и водное хозяйство. — 2008. — № 1. — С. 54–57.
3. **Головацкая Е. А.** Потоки углерода в болотных экосистемах южной тайги Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Красноярск: ТУСУР, 2013. — 33 с.
4. **Попов Е. Г.** Гидрологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. — 298 с.
5. **Verry E. S.** The hydrology of wetlands and man's influence on it // Symposium on the Hydrology of Wetlands in temperate and Cold Regions. — Helsinki: Academy of Finland, 1988. — Vol. 2. — P. 41–61.
6. **Великанов М. А.** Гидрология суши. — М.; Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 403 с.
7. **Огиевский А. В.** Гидрология суши. — М.: Сельхозгиз, 1952. — 515 с.
8. **Иванов К. Е.** Гидрология болот. — Л.: Гидрометеиздат, 1953. — 295 с.
9. **Иванов К. Е.** Водообмен в болотных ландшафтах. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 280 с.
10. **Романов В. В.** Гидрофизика болот. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 359 с.
11. **Bay R. R.** Runoff from small peatland watersheds // Hydrology. — 1969. — Vol. 9. — P. 90–102.
12. **Eggelsman R.** Nearly five decades of hydrological research at Bremen on mires and lowland // Proc. 10<sup>th</sup> Int. Peat Congress. — Stuttgart: IPS, 1996. — P. 306–315.
13. **Loorpmann A.** Discharge from Estonian mires // Proc. 10<sup>th</sup> Int. Peat Congress. — Stuttgart: IPS, 1996. — P. 417–425.
14. **Павлова К. К., Субоч В. В.** Оценка подземного питания рек на заболоченных водосборах // Труды ГГИ. — 1965. — Вып. 122. — С. 120–130.
15. **Клюева К. А.** Влияние заболоченности водосбора на средний многолетний сток рек Белорусской ССР // Труды ГГИ. — 1956. — Вып. 52. — С. 107–140.
16. **Клюева К. А.** Влияние заболоченности водосборов на внутригодовое распределение стока рек БССР. — М.: Гидрометеиздат, 1959. — 60 с.
17. **Branfireun B. A., Roulet N. T.** The baseflow and storm flow hydrology of a precambrian shield headwater peatland // Hydrol. Processes. — 1998. — Vol. 12. — P. 57–72.
18. **Sander J. E.** An electric analogue approach to bog hydrology // Ground Water. — 1976. — Vol. 14. — P. 30–35.
19. **Bullock A., Acreman M.** The role of wetlands in the hydrological cycle // Hydrology and Earth System Sciences. — 2003. — Vol. 7, N 3. — P. 358–389.
20. **Савичев О. Г., Базанов В. А., Скугарев А. А.** О влиянии заболоченности и лесистости водосборов на водный сток рек таёжной зоны Западной Сибири // Вестн. Том. ун-та. — 2011. — № 344. — С. 200–203.
21. **Пособие** по определению расчетных гидрологических характеристик / Под ред. А. В. Рождественского, А. Г. Лобановой. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 444 с.
22. **Определение** основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-11-2003 / Под ред. А. В. Рождественского. — М.: Госстрой России, 2003. — 74 с.
23. **Синюткина А. А.** Классификация болотных геосистем Томской области // Вестн. Том. ун-та. — 2012. — № 357. — С. 192–195.
24. **Владимиров А. М.** Гидрологические расчеты. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 364 с.

25. **Христофоров А. В.** Надежность расчетов речного стока. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. — 168 с.
26. **Методические** указания по расчетам стока с неосушенных и осушенных болот. — СПб.: Петербургский мод-ный базар, 2011. — 150 с.
27. **Харанжевская Ю. А.** Геоэкологическая оценка состояния заболоченных территорий южно-таежной подзоны Западной Сибири (на примере бассейна реки Чая) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2013. — № 4. — С. 303–315.
28. **Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам / Под ред. А. Б. Ивановой. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — Вып. 8. — 361 с.
29. **Савичев О. Г., Скугарев А. А., Базанов В. А., Харанжевская Ю. А.** Водный баланс заболоченных водосборных территорий Западной Сибири (на примере малой реки Ключ, Томская область) // Геоинформатика. — 2011. — № 3. — С. 39–46.
30. **Синюткина А. А.** Ландшафтный анализ болот Томской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Томск: Изд-во ООО «Позитив-НБ», 2012. — 183 с.
31. **Харанжевская Ю. А.** Водный баланс водосборов средних рек южно-таежной подзоны Западной Сибири и многолетние изменения его элементов // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2013. — № 6. — С. 84–91.
32. **Паромов В. В., Земцов В. А., Копысов С. Г.** Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328, № 1. — С. 62–74.

*Поступила в редакцию 10 декабря 2015 г.*