

УДК 556.531.4 (282.256.341.5)

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-3(81-88)

**И.В. ТОМБЕРГ\***, **В.Н. СИНЮКОВИЧ\***, **Л.М. СОРОКОВИКОВА\***, **Л.Д. РАДНАЕВА\*\***, **И.А. ПАВЛОВ\*\***,  
**В.Г. ШИРЕТОРОВА\*\***, **М.С. ЧЕРНЫШОВ\***, **А.К. ТУЛОХОНОВ\*\***

\*Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия,  
kaktus@lin.irk.ru, sin@lin.irk.ru, lara@lin.irk.ru, chernishov@lin.irk.ru

\*\*Байкальский институт природопользования СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,  
Россия, radld@mail.ru, vshiretorova@rambler.ru, aktulohonov@binm.ru, pavlov@binm.ru

### ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД РЕКИ СЕЛЕНГИ В ПЕРИОД ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ 2017–2018 ГОДА

*На основе гидрохимических исследований авторов в феврале 2018 г. и с учетом более ранних данных (2001–2017 гг.) анализируются результаты изменения содержания химических компонентов и качества воды р. Селенги и ее притоков, полученные в завершающей стадии длительного маловодья. Выявлено, что после исторически минимального зимнего стока реки в 2012 г. и некоторого его повышения в 2014 г. зимние расходы воды р. Селенги в последующий период вновь были аномально низкими и способствовали ухудшению качества селенгинских вод. Концентрации растворенного кислорода зимой 2018 г. в р. Селенге и ее притоках изменялись от 6,0 до 10,5 мг/дм<sup>3</sup> (44–70 % насыщения). На отдельных участках исследуемых водотоков (Селенга у Новоселенгинска и ниже г. Улан-Удэ, Уда в г. Улан-Удэ), где их значения были минимальными, качество воды снижалось до категории «сильно загрязненная». О снижении самоочищающей способности Селенги в зимнее время свидетельствует тот факт, что в начале текущего столетия содержание кислорода в реке зимой было значительно выше — 67–99 % насыщения. Установлено, что по всей длине российского участка Селенги выросли концентрации сульфатов — индикаторов промышленного загрязнения речных вод. В нижнем течении реки они достигают 16,5–22,2 мг/дм<sup>3</sup>, тогда как в доиндустриальный период колебались в пределах 7,2–10,4 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрации биогенных элементов наиболее высокими были в местах поступления сточных вод. В целом выполненные в 2018 г. гидрохимические исследования однозначно указывают на ухудшение качества селенгинских вод в зимнее время вследствие антропогенного воздействия и снижения водного стока.*

Ключевые слова: речной сток, маловодье, содержание кислорода, сульфаты, биогенные элементы, качество вод.

**I.V. TOMBERG\***, **V.N. SINYUKOVICH\***, **L.M. SOROKOVIKOVA\***, **L.D. RADNAEVA\*\***, **I.A. PAVLOV\*\***,  
**V.G. SHIRETOROVA\*\***, **M.S. CHERNYSHOV\***, **A.K. TULOKHONOV\*\***

\*Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk,  
ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, kaktus@lin.irk.ru, sin@lin.irk.ru, lara@lin.irk.ru, chernishov@lin.irk.ru

\*\*Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
670047, Ulan-Ude, ul. Sakhyanovoi, 6, Russia, radld@mail.ru, vshiretorova@rambler.ru,  
aktulohonov@binm.ru, pavlov@binm.ru

### CHARACTERISTICS OF THE WATER CHEMICAL COMPOSITION IN THE SELENGA RIVER DURING THE 2017–2018 LOW-WATER PERIOD

*Based on our hydrological and hydrochemical studies in winter 2018 and on previous data (2001–2017), we analyze results on changes in the chemical components and water quality of the Selenga river and its tributaries obtained at the final stage of a long-lasting low-water period. It was found that after the historically minimum winter river runoff in 2012 and its slight rise in 2014, the winter river discharges in the subsequent period were again abnormally low and contributed to the deterioration of the Selenga water quality. During winter 2018, the concentrations of dissolved oxygen in the Selenga river and its tributaries changed from 6,0 to 10,5 mg/dm<sup>3</sup> (44–70 % of saturation). In some areas of the streams under study (the Selenga river near Novoselenginsk and downstream of the city of Ulan-Ude; the Uda river in Ulan-Ude), where the values were minimal, the water quality decreased to the “heavily polluted” category. At the beginning of the current century, the oxygen content in the river during the wintertime was significantly higher (67–99 % of saturation). This gives evidence to a decrease in self-purification capacity. It is found that sulphate concentrations as the indicators of industrial contamination of the river waters have increased throughout the Russian section of the Selenga. In the lower reaches of the river, these values reach 16,5–22,2 mg/dm<sup>3</sup>, whereas in the pre-industrial period they varied within 7,2–10,4 mg/dm<sup>3</sup>. Concentrations of biogenic elements were the highest in the areas of*

input of wastewaters. On the whole, the hydrochemical studies made in 2018 unequivocally indicate the quality deterioration of the Selenga waters in the wintertime due to an anthropogenic impact and a decrease in the water runoff.

Keywords: river runoff, low-water level, oxygen content, sulphates, biogenic elements, water quality.

## ВВЕДЕНИЕ

Река Селенга — главный приток оз. Байкал, с площадью водосбора 447 060 км<sup>2</sup> и длиной 1024 км. Берет начало на территории Монголии, в пределах которой располагается и большая часть бассейна реки. В Монголии наиболее крупным притоком Селенги является р. Орхон, на российском участке реки — Джида, Темник, Чикой, Хилок и Уда. В нижнем течении преобладающая ширина Селенги составляет 160–260 м, глубина — от 1 до 5 м. За 34 км до устья русло реки разбивается на рукава и образуется обширная дельта.

Формирование качества речных вод р. Селенги в период зимней межени определяется множеством факторов, в том числе состоянием водности в конкретные годы, продолжительностью подледного периода, масштабами забора воды на нужды народного хозяйства и объемами водоотведения. Исследования химического состава вод Селенги в зимний период, выполненные в разное время [1, 2], свидетельствуют о том, что по содержанию химических компонентов наиболее плохое качество селенгинских вод регистрируется при низком водном стоке и значительном поступлении в реку и ее притоки промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод [3, 4].

В последние два десятилетия в бассейне р. Селенги вновь наблюдалось снижение речного стока и качества воды [5–9]. В 2012 г. зимний сток оказался самым низким за весь период гидрометрических наблюдений. В условиях маловодья ухудшению качества селенгинских вод способствовало несколько факторов: слабое восполнение запасов подземных вод, обеспечивающих питание реки в зимнее время, снижение разбавляющей и самоочищающей способности потока [10], а также повышенное содержание легкогидролизуемых органических соединений в результате массового развития водорослей [11].

После затяжного маловодья водность Селенги в летний период 2018 г. существенно повысилась, что благоприятствовало формированию подземного стока, поэтому качество селенгинских вод зимой 2018–2019 гг. определялось уже совсем другими условиями. В связи с этим химический состав воды р. Селенги зимой 2017–2018 гг. отражал особенности качественного состава вод в завершающей стадии маловодного цикла, и исследование динамики концентраций приоритетных загрязнителей, биогенных элементов, кислородного режима весьма актуально для оценки состояния экосистемы реки. Цель настоящей работы — изучение физико-химических характеристик воды р. Селенги и ее притоков в зимнюю межень 2017–2018 г. и выявление трансформации качества их вод в условиях затяжного маловодья.

потоков в зимнюю межень 2017–2018 г. и выявление трансформации качества их вод в условиях затяжного маловодья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гидрохимические исследования р. Селенги выполнены в феврале 2018 г. от границы с Монголией (пос. Наушки) до с. Кабанск, включая приустьевые участки основных притоков — Джиды, Темника, Чикой и Уды. Пробы воды отобраны на середине русла на 11 станциях (рис. 1).

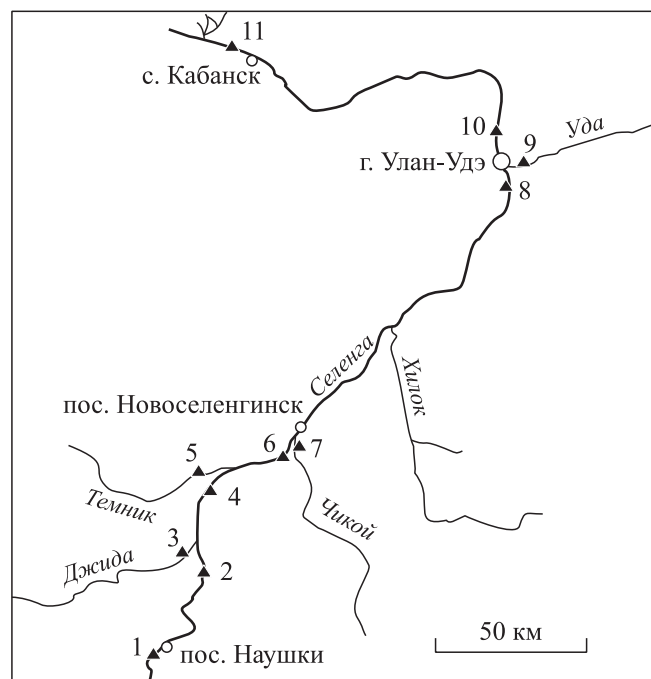


Рис. 1. Схема станций отбора проб.

Станции отбора проб: 1 — р. Селенга (пос. Наушки), 2 — р. Селенга (с. Зарубино), 3 — р. Джида, 4 — р. Селенга (с. Селендума), 5 — р. Темник, 6 — р. Селенга (выше впадения р. Чикой), 7 — р. Чикой, 8 — р. Селенга (выше г. Улан-Удэ), 9 — р. Уда, 10 — р. Селенга (ниже г. Улан-Удэ), 11 — р. Селенга (с. Кабанск).

На месте отбора проб измеряли величину рН портативным рН-метром ИТ-1101 (Россия), температуру воды и фиксировали растворенный кислород. Химический анализ (главные ионы, биогенные элементы, органическое вещество) выполнен общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [12–14]. Перед определением пробы воды фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Содержание биогенных элементов измеряли на спектрофотометре UNICO-2100 (США): нитриты с реактивом Грисса, аммонийный азот индофенольным методом, нитраты с салициловокислым натрием, фосфаты методом Дениже–Аткинса с хлористым оловом в качестве восстановителя, определение общего фосфора проводили после высокотемпературного персульфатного окисления. Определение органических веществ проводили методами перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости. Ошибка использованных методов не превышает 10 %.

Концентрации катионов и анионов определялись на ионном хроматографе ICS 1600 с относительной погрешностью 2–3 %.

В качестве характеристик зимнего стока Селенги приняты средnezимний (ноябрь–март) сток, минимальные зимние 30-дневные и срочные расходы воды по данным Росгидромета в створах у разъезда Мостовой и с. Кабанск.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Гидрологические условия.** Глобальное потепление в разных регионах России сопровождалось ростом зимних расходов воды рек, вызванным увеличением частоты оттепелей и уменьшением промерзаемости почвы, способствующих увеличению питания грунтовых вод и росту стока рек [15]. На территории Сибири и в сопредельных районах повышение зимней водности рек в основном определяется сезонно-мерзлотным регулированием стока, заключающемся в росте аккумулирующе-регулирующей способности водосборов при увеличении мощности летнего талого слоя в зоне распространения многолетней мерзлоты [16]. Вытаивание льда в деградирующих многолетнемерзлых породах также ведет к повышению запасов подземных вод и речного стока. В любом случае, рост зимней температуры воздуха определяет более благоприятные условия разгрузки подземных вод в речные системы, и вопрос повышения стока определяется только запасами воды в подземных бассейнах. Кроме того, увеличение зимнего стока при потеплении может быть обусловлено сокращением общей продолжительности холодных сезонов.

Динамика рассматриваемых показателей минимального зимнего стока Селенги указывает на хорошую согласованность их хода и близкую тенденцию роста, составляющую 3–4 м<sup>3</sup>/с за 10 лет (рис. 2).

Вместе с тем видно, что повышение стока протекает по-разному и прерывается периодами снижения. С начала 1930-х гг. зимние расходы воды оставались относительно стабильными. Их интенсивный рост наблюдался после маловодья 1976–1981 гг. и продолжался до 1993 г. Затем сток еще некоторое время оставался сравнительно высоким, а с 1996 г. началось его снижение, которое продолжалось до 2018 г. Но и в этот период сток в отдельные зимы (2014 и 2017 гг.), которым предшествовало увеличение водности реки в летне-осенний период, был выше. В январе–марте 2018 г. формирование качества вод Селенги проходило в условиях водности, характерных для последних пяти лет (с 2013 г.).

Как известно, водность рек в теплое время года определяет восполнение запасов подземных вод и представляет собой главный фактор формирования зимнего стока, что подтверждает и наличие тесной связи между его показателями (0,79–0,99 по коэффициенту корреляции), принятыми в работе. Разгрузка подземных вод в реки происходит по

Рис. 2. Многолетние изменения характеристик минимального зимнего стока р. Селенги (разъезд Мостовой).

Минимальный зимний сток: 1 — средnezимний, 2 — минимальный 30-дневный, 3 — минимальный срочный. 4 — линейный тренд.

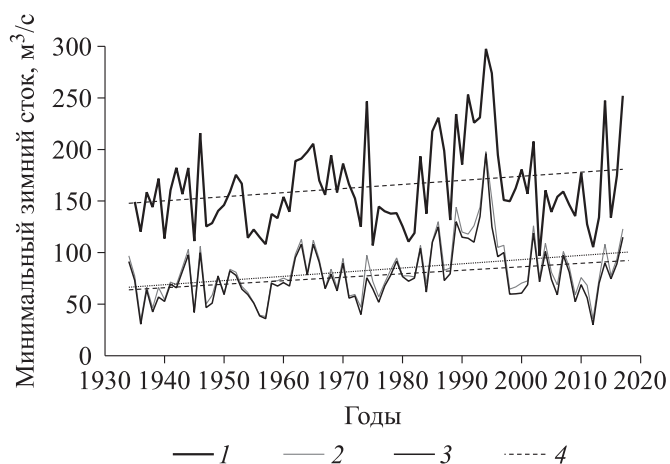


Таблица 1  
**Параметры распределения и расчетные значения характеристик зимнего стока р. Селенги**

Показатель	Средне-зимний	Минимальный 30-дневный	Минимальный срочный
Среднее значение, м <sup>3</sup> /с	164	83,3	77,9
Коэффициент вариации ( $C_v$ )	0,26	0,34	0,35
Коэффициент асимметрии	$4C_v$	$3C_v$	$3C_v$
Корреляция в смежные годы	0,32	0,51	0,48
Расход воды обеспеченностью, м <sup>3</sup> /с:			
80 %	117	59,6	55,2
95 %	91,4	45,6	41,9

тепления (1971–2018 гг.) рассматриваемые показатели зимнего стока повысились на 14–18 м<sup>3</sup>/с, или на 10–25 %. Указанный рост мог быть значительно выше, если бы не снижение зимней водности реки после 1996 г., связанное с низким стоком теплого времени года.

**Растворенный кислород и рН.** Содержание растворенного кислорода, величина рН и температура воды в значительной степени определяют жизнедеятельность гидробионтов, активность процессов самоочищения и качество воды водотоков, особенно в зимний период. Зимой 2018 г. при отборе проб температура воды в р. Селенге и в притоках составляла 0,2–0,4 °С, более теплые воды в р. Селенге зарегистрированы в районе пос. Новоселенгинск и в р. Уде, что, вероятно, обусловлено поступлением более теплых сточных вод.

Величина рН селенгинских вод изменялась в диапазоне 7,23–7,82, вод притоков — 7,01–7,82 и была благоприятна для жизни гидробионтов. Концентрации растворенного кислорода в водотоках изменялись от 6,0 до 10,5 мг/дм<sup>3</sup>, при этом их минимальные значения отмечены для р. Селенги, максимальные — для ее притоков. Наиболее низкое его содержание в селенгинских водах (44–48 % насыщения) зафиксировано на станциях у пос. Новоселенгинск и ниже г. Улан-Удэ, свидетельствуя о плохом качестве воды. В соответствии с экологической классификацией [19], при снижении насыщения воды кислородом <60 % вода характеризуется как «сильно загрязненная». В притоках содержание кислорода составляло 48–82 % насыщения, низкие значения отмечены для р. Уды, повышенные — для р. Темник. В период исследований наиболее благоприятным для развития гидробионтов кислородный режим был в Джиде и Темнике. Уменьшение концентраций растворенного кислорода в этих реках вызвано влиянием антропогенных факторов при низком водном стоке, что часто наблюдается на малых водотоках [20, 21]. На водотоках с высоким водообменом снижение концентраций кислорода в воде зимой может быть связано с природными процессами, как, например, заморные явления в среднем и нижнем течении р. Оби обусловлены поступлением органических веществ с заболоченного водосбора [22]. На р. Селенге заморы, связанные с высоким содержанием органических веществ, регистрируются только в малых протоках дельты зимой [2].

Сравнивая полученные в 2018 г. результаты для р. Селенги в подледный период с таковыми начала 2000 гг., можно отметить снижение концентраций кислорода. В 2001–2005 гг. они изменялись от 8,7 до 10,2 мг/дм<sup>3</sup> (67–99 % насыщения) [2], в 2018 г. — от 6,0 до 9,5 мг/дм<sup>3</sup> (44–70 % насыщения). По нашему мнению, основные причины снижения кислорода в условиях длительного маловодья — это питание реки глубинными подземными водами с низким содержанием кислорода, накопление в водной толще легкогидролизующихся органических соединений природного и антропогенного характера, расход кислорода на их деструкцию и низкая разбавляющая и самоочищающая способность реки. Дальнейшее уменьшение содержания кислорода может неблагоприятно отразиться на экологическом состоянии реки и воспроизводстве омуля, нормальное развитие которого происходит при концентрации не ниже 6 мг/дм<sup>3</sup> [23].

**Главные ионы.** Сумма ионов ( $\Sigma_{и}$ ) на участке р. Селенги от пос. Наушки до впадения р. Чикой практически не изменялась и равнялась 260–267 мг/дм<sup>3</sup>. Поступление вод р. Джиды ( $\Sigma_{и} = 240$  мг/дм<sup>3</sup>) не оказывало заметного влияния на химический состав и сумму ионов в р. Селенге вследствие близких величин  $\Sigma_{и}$ . Вниз по течению сумма ионов постепенно снижалась и в районе с. Кабанск состав-

вполне определенным закономерностям (кривым истощения), и для Селенги наиболее тесная связь зимнего стока с водностью реки отмечена в сентябре [17]. Коэффициенты корреляции между ними составляют от 0,50 (минимальный срочный расход воды) до 0,76 (средне-зимний сток).

Рассчитанные за весь период наблюдений (1934–2018 гг.) параметры зимнего стока реки (табл. 1) отражают некоторые осредненные условия формирования качества вод и их перестройку в связи с потеплением, активизировавшимся в регионе с 1971 г. [18]. Так, в целом можно говорить, что за годы потепления

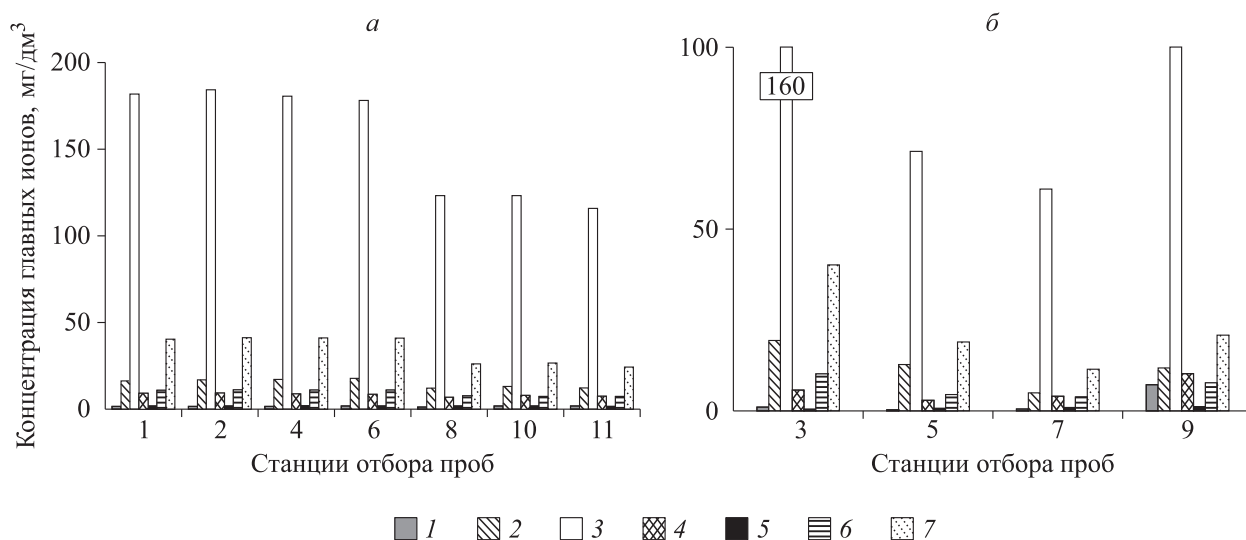


Рис. 3. Концентрация главных ионов в воде р. Селенги (а) и ее притоков (б), февраль 2018 г.

Главные ионы: 1 —  $\text{Cl}^-$ , 2 —  $\text{SO}_4^{2-}$ , 3 —  $\text{HCO}_3^-$ , 4 —  $\text{Na}^+$ , 5 —  $\text{K}^+$ , 6 —  $\text{Mg}^{2+}$ , 7 —  $\text{Ca}^{2+}$ . Номера станций отбора проб — см. рис. 1.

ляла  $171 \text{ мг/дм}^3$ , что связано с разбавляющим влиянием менее минерализованных вод впадающих притоков — Темника, Чикоя и Уды, сумма ионов в которых составляла 111, 87 и  $159 \text{ мг/дм}^3$  соответственно.

Концентрации главных ионов в воде р. Селенги в феврале 2018 г. изменялись в пределах:  $\text{HCO}_3^-$  —  $116\text{--}184 \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  —  $12,2\text{--}22,2$ ;  $\text{Cl}^-$  —  $1,2\text{--}1,9$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  —  $24,4\text{--}41,3$ ;  $\text{Mg}^{2+}$  —  $7,4\text{--}11,2$ ;  $\text{Na}^+$  —  $6,9\text{--}9,4$ ;  $\text{K}^+$  —  $1,7\text{--}1,9 \text{ мг/дм}^3$ . Анализ пространственных изменений концентраций главных ионов в реке показал (рис. 3, а), что их повышенные значения отмечены на верхнем участке реки (от пос. Наушки до впадения р. Темник). Ниже по течению разбавляющее влияние вод р. Темник и наиболее крупного притока р. Чикой приводит к снижению концентраций основных ионов (гидрокарбонатов и кальция) и, как следствие, суммы ионов на всем нижележащем участке Селенги.

Концентрации главных ионов и их суммарное содержание в воде главных притоков (см. рис. 3, б) достигают наибольших значений для р. Джиды ( $\text{HCO}_3^-$  —  $163$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  —  $19,4$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  —  $40,1 \text{ мг/дм}^3$ ), а наименьших — для р. Чикой ( $\text{HCO}_3^-$  —  $61$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  —  $5,0$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  —  $11,5 \text{ мг/дм}^3$ ).

Сравнение полученных результатов с более ранними наблюдениями показало увеличение в воде концентраций сульфатов на всем российском участке Селенги. Их повышение, особенно в зимний период, обусловлено как ростом в питании реки доли подземного стока, так и активизацией хозяйственной деятельности в бассейне реки, включая территорию Монголии [24, 25]. В водах р. Селенги, поступающих с территории Монголии, содержание сульфатов возросло более чем в два раза [6]. В нижнем течении реки в доиндустриальный период [1] концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  в зимнее время изменялись в диапазоне  $7,2\text{--}10,4 \text{ мг/дм}^3$ , а зимой 2018 г. они были уже вдвое выше, свидетельствуя о значительном ухудшении качества вод. Несмотря на рост содержания сульфатов, относительный состав ионов за прошедшие годы не изменился и соответствует гидрокарбонатному классу, группе кальция. Можно полагать, что и в настоящее время формирование ионного состава селенгинских вод определяется природными процессами выветривания горных пород. По величине минерализации и концентрации главных ионов в воде исследованных водотоков не наблюдалось превышения норм ПДК для водоемов нецентрализованного водоснабжения и рыбохозяйственного назначения [26, 27].

**Биогенные элементы и органические вещества.** Содержание биогенных элементов и органических веществ в водоемах и водотоках в значительной степени определяет уровень развития фитопланктона, трофность водного объекта и качество вод. Анализ литературных данных, включая информацию о р. Селенге [1–3, 28], показывает, что в зимний период в речных водах регистрируется накопление концентраций биогенных элементов до максимальных величин, при этом содержание органических веществ снижается до минимума. Исключение составляют места поступления сточных вод, где содержание биогенных элементов и органических веществ было выше. Их концентрации в воде р. Се-

Таблица 2  
Изменение концентраций биогенных элементов и органических веществ в воде р. Селенги и ее притоков, февраль 2018 г.

Станция отбора проб	БО	ПО	$P_{\text{общ}}$	$P_{\text{мин}}$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$
	мг О/дм <sup>3</sup>		мкг Р/дм <sup>3</sup>		мкг N/дм <sup>3</sup>		
1	3,8	0,5	17	6	20	2	200
2	3,5	0,5	16	7	10	1	230
3	3,5	0,6	9	6	< 10	1	280
4	4,1	0,5	12	7	< 10	1	240
5	0,6	0,6	5	< 3	10	2	200
6	3,5	0,6	20	17	30	1	280
7	5,8	1,1	9	6	10	1	340
8	3,9	0,9	18	7	30	1	310
9	3,6	0,8	44	17	60	2	400
10	6,7	1,1	94	61	250	7	630
11	4,0	0,8	54	22	110	2	320

Примечание. Номера станций отбора проб — см. рис. 1. Окисляемость: БО — бихроматная, ПО — перманганатная.

В воде притоков р. Селенги концентрации биогенных элементов и органических веществ также изменялись в широких пределах (см. табл. 2), с наиболее высокими значениями для р. Уды, в русло которой поступают сточные воды г. Улан-Удэ.

Анализ более ранних результатов свидетельствует, что пространственная динамика и содержание в воде р. Селенги биогенных элементов в значительной степени зависят от поступления сточных вод [3, 4]. Так, содержание общего и минерального фосфора на приграничном участке р. Селенги зимой 2010 г. [6] составляло, соответственно, 28 и 19 мкг Р/дм<sup>3</sup>, а в 2018 г. — 17 и 6 мкг Р/дм<sup>3</sup>; в нижнем течении (с. Кабанск) в 2010 г., соответственно, 47 и 38 мкг Р/дм<sup>3</sup>, а в 2018 г. — 54 и 22 мкг Р/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации фосфора в эти годы были отмечены на участке ниже г. Улан-Удэ: соответственно 49 и 36 мкг Р/дм<sup>3</sup>. Концентрации аммонийного азота в 2010 г. колебались в пределах 40–300 мкг N/дм<sup>3</sup>, нитратного — от 60 до 140 мкг N/дм<sup>3</sup>, содержание нитритного азота было на уровне 2018 г. (см. табл. 2).

На основании полученных результатов в зимний период 2018 г. качество селенгинских вод и вод притоков по содержанию биогенных элементов и органических веществ от пос. Наушки до станции выше г. Улан-Удэ согласно экологической классификации [19] соответствовало разряду «вполне чистая», а ниже г. Улан-Удэ — разряду «слабо загрязненная».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зимний сток р. Селенги с конца XX в. оставался пониженным, особенно в последние годы, и во многом способствовал ухудшению качества селенгинских вод. С начала текущего столетия отмечено снижение в реке концентрации растворенного кислорода с 67–99 до 44–70 % насыщения, что характеризует воду с такими показателями как «сильно загрязненную». Наиболее низкое содержание кислорода наблюдалось в местах интенсивного загрязнения (пос. Новоселенгинск, ниже г. Улан-Удэ и р. Уда), где также отмечены повышенные концентрации биогенных элементов и органических веществ. Под влиянием антропогенных факторов и низкой водности содержание сульфатов в селенгинской воде увеличилось по всей длине российского участка и зимой 2018 г. достигало 16,5–22,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, исследования химического состава вод р. Селенги в зимнее время, выполненные в завершающей стадии маловодного цикла и в условиях антропогенной нагрузки, указывают на снижение качества селенгинских вод, сопровождаемое обострением некоторых экологических проблем, в том числе ухудшением условий обитания гидробионтов.

ленги и ее притоков зимой 2018 г. (табл. 2) свидетельствуют о существенной вариабельности по длине реки, что обусловлено, очевидно, поступлением сточных вод.

По мере движения речных вод от пос. Наушки до пос. Новоселенгинск наблюдалось снижение концентраций биогенных элементов, за исключением общего фосфора. В районе Новоселенгинска отмечено их увеличение (см. табл. 2), сопровождающееся снижением концентраций растворенного кислорода, что указывает на поступление в русло реки сточных вод. Максимальные концентрации биогенных и органических соединений, выявленные ниже г. Улан-Удэ, к с. Кабанск значительно уменьшаются, но по-прежнему превосходят таковые для участка реки выше г. Улан-Удэ. Поступление в Селенгу вод р. Уды, также обогащенных соединениями фосфора и азота, не способствует улучшению качества селенгинских вод в районе г. Улан-Удэ. В отличие от биогенных элементов, концентрации органических веществ зимой в реке, как и в предыдущие годы [2], были низкими (см. табл. 2), за исключением мест сброса сточных вод.

Исследования химического состава вод р. Селенги в периоды зимней межени, характеризующиеся снижением стока и содержания кислорода, целесообразно продолжать в режиме мониторинга как для выявления источников загрязнения реки, представляющей собой трансграничный водоток, так и для оценки поступления с ее водами химических компонентов в оз. Байкал.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (17–29–05085) и в рамках госзаданий (0345–2019–0008, 0339–2019–0003).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачёва А.П.** Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965. — 495 с.
2. **Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Башенхаева Н.В.** Химический состав вод р. Селенги и проток ее дельты // Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 2008. — С. 88–101.
3. **Обожен В.Н., Богданов В.Т., Кликунова О.Ф.** Гидрохимия рек и озер Бурятии. — Новосибирск: Наука, 1984. — 150 с.
4. **Сороковикова Л.М., Синокович В.Н., Голобокова Л.П., Чубаров М.П.** Формирование ионного стока Селенги в современных условиях // Водные ресурсы. — 2000. — № 5. — С. 560–565.
5. **Синокович В.Н., Сизова Л.Н., Шимараев М.Н., Курбатова Н.Н.** Особенности современных изменений притока воды в озеро Байкал // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 4. — С. 57–63.
6. **Сороковикова Л.М., Поповская Г.И., Томберг И.В., Синокович В.Н., Кравченко О.С., Маринайте И.И., Башенхаева Н.В., Ходжер Т.В.** Качество воды реки Селенги на границе с Монголией в начале XXI века // Метеорология и гидрология. — 2013. — № 2. — С. 93–103.
7. **Гармаев Е.Ж., Батомункуев В.С., Гомбоев Б.О., Ульзетуева И.Д., Санжиева С.Г.** Совершенствование государственного регулирования воздействия сбросов загрязняющих веществ на водные объекты Байкальской природной территории // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 5. — С. 234–238.
8. **Синокович В.Н., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Тулохонов А.К.** Изменения климата и химический сток реки Селенги // Докл. РАН. — 2010. — Т. 433, № 6. — С. 817–821.
9. **Гомбоев Б.О., Зомонова Э.М., Зандакова А.Б., Тулохонов А.К.** Трансграничный перенос загрязняющих веществ со стоком р. Селенга // Мелиорация и водное хозяйство. — 2016. — № 2. — С. 46–51.
10. **Синокович В.Н.** Гидрологические факторы самоочищения р. Селенги в нижнем течении // Водное хозяйство России. — 2008. — № 4. — С. 24–36.
11. **Поповская Г.И., Ташлыкova Н.А.** Фитопланктон // Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — С. 167–181.
12. **Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П.** Применение микроколлоидной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Аналитическая химия. — 1999. — Т. 54, № 9. — С. 962–965.
13. **Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. Л.В. Боевой.** — Ростов-на-Дону: НОК, 2009. — Ч. 1. — 1045 с.
14. **Wetzel R.G., Likens G.E.** Limnological Analyses. — New York: Springer-Verlag, 1991. — 391 p.
15. **Болгов М.В., Коробкина Е.А., Филиппова И.А.** Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 7. — С. 72–81.
16. **Джамалов Р.Г., Потехина Е.В.** Природноклиматические и антропогенные причины изменения подземного стока бассейна Лены // Георазрез. — 2010. — № 1. — С. 1–25.
17. **Синокович В.Н.** Прогноз зимнего стока основных притоков оз. Байкал // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 1. — С. 92–100.
18. **Синокович В.Н., Чернышов М.С.** О трансформации расчетных характеристик годового и максимального стока главных притоков оз. Байкал // Водные ресурсы. — 2017. — Т. 44, № 3. — С. 256–263.
19. **Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьмин М.И., Кленус В.Г.** Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1993. — № 4. — С. 62–76.
20. **Дмитриева В.А., Нефёдова Е.Г.** Кислородный режим малых водотоков в условиях различной антропогенной нагрузки // Бюлл. науки и практики. — 2016. — № 4. — С. 56–61.
21. **Тасейко О.В., Спицына Т.П., Милошевич Х.** Моделирование самоочищения малых рек в условиях Центральной Сибири // Тезисы Междунар. конф. «Математика, ее приложения и математическое образование». — Улан-Удэ: Изд-во Вост.-Сиб. ун-та технолог. и управления, 2014. — С. 309–311.
22. **Гончаров А.В., Заславская М.Б., Исаев В.А., Лобченко Е.Е., Ничипорова И.П.** Типы кислородного режима рек бассейна Оби // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 3. — С. 69–76.

23. **Гидрохимические** показатели состояния окружающей среды: Учебное пособие / Ред. Т.В. Гусева. — М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2009 — 190 с.
24. **Stubblefield A., Chandra S., Eagan S., Tuvshinjargal D., Davaadorzh G., Sampson S., Thorne J., Allen B., Hogan Z.** Impacts of gold mining and land use alterations on the water quality of Central Mongolian Rivers // Integrated Environmental Assessment and Management. — 2005. — Vol. 1, N 4. — P. 365–373.
25. **Integrated Water Resources Management for Central Asia: Model Region Mongolia (MoMo).** 2009 [Электронный ресурс]. — <https://www.iwrm-momo.de> (дата обращения 15.11.2016).
26. **СанПиН 2.1.4.1074-01; СанПиН 2.1.4.1175-02.** Вода. Санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения. — М.: Изд-во Минздрава РФ, 2004. — 754 с.
27. **Приказ** Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 г. N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. — [docs.cntd.ru/document/420389120](https://docs.cntd.ru/document/420389120) (дата обращения 17.07.2018).
28. **Ma N., Song Z., Wang B., Wang F., Yang X., Zhang X., Hao Q., Wu Y.** Effects of river damming on biogenic silica turnover: implications for biogeochemical carbon and nutrient cycles // Acta Geochimica. — 2017. — Issue 9. — P. 175–637.

*Поступила в редакцию 11.04.2019*

*После доработки 12.07.2019*

*Принята к публикации 24.03.2020*