

Л.М. СОРОКОВИКОВА, И.В. ТОМБЕРГ, В.Н. СИНЮКОВИЧ,
Е.В. МОЛОЖНИКОВА, Е.В. ЕЛЕЦКАЯ

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

ФОСФОР В ВОДЕ Р. СЕЛЕНГИ И ЕГО ПОСТУПЛЕНИЕ В ОЗ. БАЙКАЛ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ВОДНОСТИ

На основе гидрологических, гидрохимических, гидробиологических исследований авторов в 2010–2016 гг. и с учетом более ранних данных рассматриваются сезонные и межгодовые изменения содержания общего и минерального фосфора на российском участке р. Селенги. Период исследования характеризуется низкой водностью реки (особенно в 2015 г.) и кратковременными летними паводками в 2012 и 2013 гг. Концентрации минерального фосфора колебались в пределах 0–174, общего — 28–346 мкг/л. Их максимальные значения связаны в основном с поступлением фосфора в составе сточных вод от хозяйственных объектов. Показано, что поступление загрязняющих веществ с территории Монголии обуславливает повышенное содержание фосфора в реке на территории России (до устья реки), на фоне которого проявляются локальные повышения содержания под влиянием антропогенных факторов. Минимальные концентрации минерального фосфора регистрируются в весенне-осенний период при низкой водности и массовом развитии фитопланктона. Во время паводков с увеличением скорости течения, а также с поступлением взвешенных и загрязняющих веществ с водосбора отмечается рост концентраций минерального фосфора при резком снижении уровня развития водорослей. В условиях длительного маловодья, продолжающегося с 1996 г., в Селенге прослеживается тенденция к снижению в воде среднегодовых концентраций минерального фосфора и повышению содержания его органических соединений. Показано, что вынос рекой как минерального, так и общего фосфора определяется изменениями водного стока. В маловодные 2010–2016 гг. вынос минерального фосфора с водами Селенги снизился в 1,9–4,5 раза, общего — увеличился в 2,9 раза. Изменилась структура выноса фосфора в озеро: снизился сток минерального, увеличился — органического.

Ключевые слова: фитопланктон, водный сток, вынос, маловодье, антропогенный фактор.

L.M. SOROKOVIKOVA, I.V. TOMBERG, V.N. SINYUKOVICH,
E.V. MOLOZHNIKOVA, E.V. ELETSKAYA

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

PHOSPHORUS IN THE SELENGA RIVER WATER AND ITS INPUT TO LAKE BAIKAL IN CONDITIONS OF LOW HYDRAULICITY

Based on hydrological, hydrochemical and hydrobiological studies made during 2010–2016 and considering the previous data, we discuss seasonal and interannual changes in the content of total and inorganic phosphorus on the Russian territory of the Selenga river. The study period is characterized by low hydraulicity of the river (especially in 2015) and short-lasting summer floods in 2012 and 2013. Concentrations of inorganic phosphorus varied within 0–174 µg/L, and total phosphorus varied from 28 to 346 µg/L. Their maximum values are largely due to phosphorous inputs with sewage from economic facilities. It is shown that inputs of pollutants from the Mongolian territory are responsible for the increased phosphorus content levels in the river (as far as the river mouth) on the Russian territory, with corresponding local increases in phosphorus concentrations content manifesting themselves under the influence of anthropogenic factors. The lowest concentrations of inorganic phosphorus are recorded in the spring-autumn period with low hydraulicity and the mass development of the phytoplankton. During floods, high concentrations of inorganic phosphorus are recorded with an increase in flow velocity as well as with input of suspended solids and pollutants from the catchment area accompanied by a dramatic decrease of algal growth. In conditions of a long-lasting low water level since 1996, the Selenga has shown a tendency for a decrease in average annual concentrations of inorganic phosphorus and for an increase in the content level of its organic compounds. It is shown that outputs of both inorganic and total phosphorus by the river are governed by changes in the water runoff. During the 2010–2016 low water level, the output of inorganic phosphorus with the waters of the Selenga river decreased by a factor of 1,9–4,5, whereas the total phosphorus concen-

tration increased by a factor of 2,9. The structure of phosphorus output to the lake has changed, i.e. outputs of inorganic and organic phosphorus decreased and increased, respectively.

Keywords: *phytoplankton, water runoff, phosphorus outputs, low water level, anthropogenic factors.*

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление, проявляющееся в Сибири с начала 1970-х гг., сопровождалось перестройкой различных гидрологических процессов в оз. Байкал и его бассейне [1, 2]. Для р. Селенги заметная трансформация водного стока отмечается с конца XX в. и характеризуется аномально длительным маловодьем, продолжающимся с 1996 г. Вместе со снижением водности существенно изменились и некоторые показатели качественного состава вод, в том числе концентрации биогенных элементов, среди которых важнейшим является фосфор.

Вопросам поступления фосфора в водоемы и водотоки, его влияния на продуктивность, трофический статус и качество вод посвящены многочисленные отечественные и зарубежные исследования. Установлено, что повышение концентрации Р в речных водах отражает антропогенное эвтрофирование как реки, так и водоема-приемника. Главный поставщик фосфора в оз. Байкал — р. Селенга. По данным [3], в середине XX в. вынос Селенгой минерального фосфора составлял в среднем 328,6 т/год. В условиях аномально высокого водного стока 1971 г. он достигал 427,1 т [4], однако с конца 1970-х до середины 1980-х гг. при средней водности его сток снизился до 247,8 т [5]. Последующие оценки указывали на постепенное увеличение переноса минерального фосфора селенгинскими водами, и в конце 1990-х гг. в условиях средней водности он оценивался в 608 т/год [6]. Трансформации селенгинских вод способствовало увеличение поступления в реку и ее притоки антропогенного потока фосфора вследствие развития промышленности и сельскохозяйственного производства в бассейне Селенги. В реке активнее развивались фитопланктон и погруженная водная растительность, указывающие на интенсивный перевод минеральной формы фосфора в органическую. Концентрация минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$) колебалась в пределах 10–18 мкг/л, общего ($P_{\text{общ}}$) — 24–77 мкг/л [5]. Численность фитопланктона в Селенге уже в конце 1980-х гг. достигала 28 млн кл/л и более чем в 2,5 раза превышала плотность по сравнению с 1970-ми гг. [7].

С ослаблением экономики региона в 1990-е гг., уменьшением антропогенной нагрузки на водосбор реки и поступления сточных вод в русло содержание $P_{\text{мин}}$ в селенгинских водах несколько снизилось. При этом в условиях низкой водности уже с начала XXI в. регистрируется необычайно массовое развитие водорослей [8], способствующее дальнейшему снижению содержания $P_{\text{мин}}$ и повышению его органических соединений. В результате уменьшения среднегодовых концентраций $P_{\text{мин}}$ снизилось его поступление в озеро с селенгинскими водами, и с начала XXI в. этот показатель, соответственно, изменялся: 2001 г. — 490 т, 2002 г. — 340, 2003 г. — 440, 2004 г. — 380 и 2005 г. — 380 т [9].

В настоящей работе рассматриваются сезонные и межгодовые изменения концентраций $P_{\text{общ}}$ и $P_{\text{мин}}$ в Селенге на российской территории (от пос. Наушки), оценивается поступление фосфора в оз. Байкал в современных условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проанализированы материалы комплексных гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований авторов в дельте Селенги с 2001 г. Основное внимание, наряду с полученными ранее результатами [10], уделено данным последних лет (2010–2016 гг.). Отбор проб воды проводился на реперных станциях в нижнем течении Селенги и в ее дельте, а также по длине реки от пос. Наушки до впадения в оз. Байкал.

Пробы на химический анализ фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Химический анализ выполнен общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [11–13]. Достоверность полученных результатов проверялась регулярным проведением контроля качества анализов в рамках международной программы EANET по тестированию стандартных образцов поверхностных вод.

Для количественного учета фитопланктона использовался осадочный метод. Подсчет численности проводился на разграфленном предметном стекле по методу Гензена в капле 0,1 мл в двукратной повторности. Биомасса определялась объемно-счетным методом [14]. В работе также использованы данные Г.И. Поповской, полученные по проекту «Мониторинг качества воды в дельте реки Селенги» (отв. исполнитель Л.М. Сороковикова) в рамках проекта Глобального экологического фонда (рук. А.К. Тулоханов).

Расходы воды Селенги принимались по данным наблюдений Росгидромета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Низкий сток Селенги, отмечаемый с 1996 г., связан с общим падением увлажнения на ее водосборной территории. Установившаяся в бассейне реки тенденция к снижению выпадения осадков с потеплением усугубляется ростом дефицита влаги вследствие повышения потерь на испарение. В свою очередь, эти явления связаны с перестройкой характера атмосферной циркуляции в регионе, в частности со снижением активности зонального переноса [15]. Такой продолжительный маловодный период отмечается на Селенге впервые за всю историю гидрометрических наблюдений. Особенно маловодными в этот период были 2002, 2007, 2014 и 2015 гг.

Ранее выполненные исследования выявили связь сезонной динамики концентраций фосфора и его поступления в озеро с водами Селенги с изменениями водности и уровнем развития фитопланктона [16, 17]. Анализ полученных в последние годы результатов показывает, что при низкой водности сезонная динамика концентраций $P_{\text{мин}}$ в Селенге, в отличие от межгодовой, в основном сохраняет прежний характер [3, 5, 17, 18]: в зимнее время содержание фосфора повышается, а в весенне-летний период — резко снижается, особенно в нижнем течении реки на фоне массового развития фитопланктона [8]. Осенью концентрации $P_{\text{мин}}$ несколько возрастают (табл. 1) и достаточно близки по всей длине реки. В теплое время года при низкой водности происходит осветление селенгинских вод и снижение скоростей течения. Это способствует интенсивному развитию фитопланктона, которое сопровождается активным потреблением минеральных форм биогенных элементов и накоплением органических соединений. В период вегетации фитопланктона концентрации $P_{\text{мин}}$ в Селенге снижаются до 0–2 мкг/л. По данным [19], при значениях ниже 1 мкг/л $P_{\text{мин}}$ может быть лимитирующим фактором развития водорослей.

В отдельные годы сезонный ход $P_{\text{мин}}$ нарушается за счет поступления в русло реки загрязненных вод от хозяйственных объектов. В результате концентрации фосфора в воде повышаются не только вблизи мест сброса, но и значительно ниже по течению. Так, в июле 2010 г. из-за поступления загрязненных вод с территории Монголии содержание взвешенных веществ и фосфора возросло по всей длине российского участка реки (рис. 1). Несмотря на высокое содержание в воде взвешенных веществ (прозрачность не выше 10 см), развитие фитопланктона было достаточно интенсивным (рис. 2). Его численность в районе пос. Наушки достигала 5306 тыс. кл./л, биомасса — 6,7 г/м³, в основном за счет динофитовой водоросли *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh, очень редкого для Селенги вида, и зеленых водорослей (*Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Dictyosphaerium* и др.) [20]. Очевидно, условия среды сдерживали развитие водорослей, поэтому содержание $P_{\text{мин}}$ оставалось высоким. В это время на участке реки

Таблица 1

Концентрации минерального и общего фосфора в воде р. Селенги в 2010–2016 гг.
(в числителе — диапазон изменений, в знаменателе — среднее значение)

Место отбора проб (станции)	$P_{\text{мин}}$, мкг/л				$P_{\text{общ}}$, мкг/л			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
пос. Наушки	(19)	(8)	$\frac{2-24}{14}$	$\frac{3-5}{4}$	(28)	(271)	$\frac{64-346}{146}$	$\frac{27-48}{38}$
пос. Зарубино	—	(4)	$\frac{1-30}{17}$	$\frac{3-5}{4}$	—	(76)	$\frac{60-313}{148}$	(25)
ниже впадения р. Темник	(22)	(3)	$\frac{1-23}{12}$	$\frac{3-5}{4}$	(0)	(24)	$\frac{44-187}{130}$	$\frac{8-38}{23}$
выше Улан-Удэ	(19)	(8)	$\frac{1-30}{15}$	$\frac{3-4}{4}$	(2)	(19)	$\frac{42-140}{82}$	$\frac{27-30}{28}$
ниже Улан-Удэ	(36)	(5)	$\frac{4-174}{43}$	$\frac{2-6}{4}$	(9)	(61)	$\frac{52-185}{123}$	$\frac{26-31}{28}$
с. Кабанск	$\frac{20-38}{31}$	$\frac{0-13}{6}$	$\frac{2-27}{17}$	$\frac{3-10}{5}$	$\frac{33-47}{41}$	$\frac{39-188}{84}$	$\frac{31-129}{78}$	$\frac{20-72}{33}$
дер. Мурзино	$\frac{34-96}{51}$	$\frac{0-7,8}{4}$	$\frac{2-32}{11}$	$\frac{1-13}{6}$	$\frac{40-139}{64}$	$\frac{53-158}{82}$	$\frac{63-146}{107}$	$\frac{22-57}{30}$
устье протоки Харауз	$\frac{8-34}{25,4}$	$\frac{0-12}{4}$	$\frac{0-29}{11}$	$\frac{0-9}{6}$	$\frac{36-52}{41}$	$\frac{26-198}{84}$	$\frac{52-112}{79}$	$\frac{21-43}{31}$

Примечание. В скобках приведены единичные значения. Прочерк — данные отсутствуют.

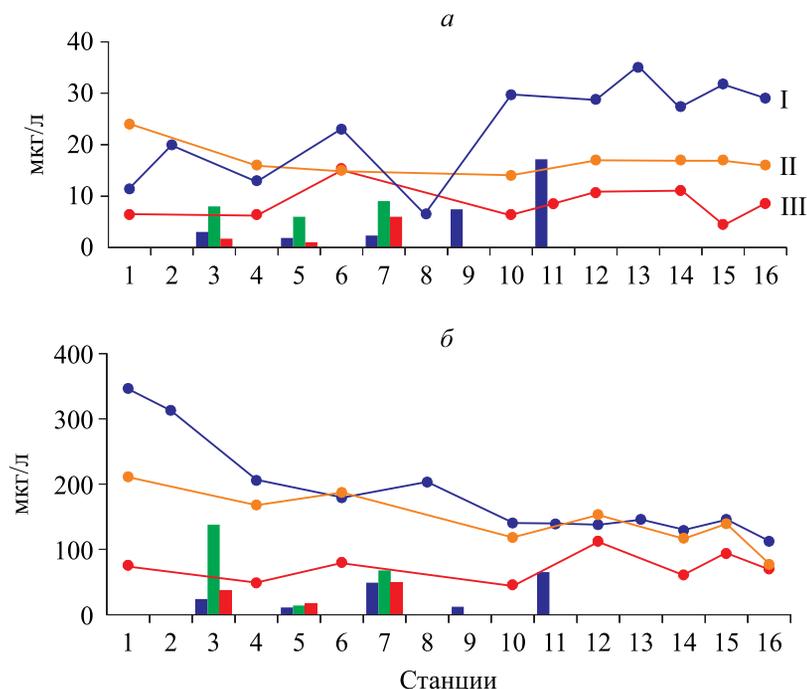


Рис. 1. Динамика концентраций минерального (а) и общего (б) фосфора в воде Селенги (линии) и ее притоков (столбики).

Годы: I – 2010, II – 2012, III – 2014. Станции: 1 – р. Селенга–пос. Наушки, 2 – р. Селенга–пос. Зарубино, 3 – р. Джиды (устье), 4 – р. Селенга–пос. Селендума, 5 – р. Темник (устье), 6 – р. Селенга–пос. Новоселенгинск, 7 – р. Чикой (устье), 8 – р. Селенга–с. Дэдэ-Сутой, 9 – р. Хилок (устье), 10 – р. Селенга–выше Улан-Удэ, 11 – р. Уда (устье), 12 – р. Селенга–ниже Улан-Удэ, 13 – р. Селенга–пос. Селенгинск, 14 – р. Селенга–с. Кабанск, 15 – р. Селенга–дер. Мурзино, 16 – протока Харауз (устье).

ниже Улан-Удэ поступление минерального фосфора в составе загрязняющих веществ от хозяйственных объектов города способствовало повышению трофности реки и концентраций $P_{мин}$ до 32 мкг/л (см. рис. 1, а; табл. 2). Высокие концентрации фосфора ниже Улан-Удэ и в нижнем течении реки сохранялись несмотря на высокую численность водорослей (4–6,5 млн кл./л) при биомассе 2,2–6,7 г/м³.

Повышенные концентрации минерального фосфора в Селенге регистрируются также во время прохождения летне-осенних паводков, что связано с поступлением в русло реки накопившихся в

Таблица 2

Концентрации общего и минерального фосфора в воде Селенги и содержание $P_{мин}$ от $P_{общ}$ (июль 2010–2016 гг.)

Годы	$P_{общ}$, мкг/л	$P_{мин}$, мкг/л	$P_{мин}$, %
Станция пос. Наушки			
2010	346	11	3
2012	211	24	11
2013	92	11	12
2014	81	6	7
2015	79	2	3
2016	64	31	48
Станция дер. Мурзино			
2010	146	32	22
2012	139	17	12
2013	63	2	3
2014	98	4	4
2015	63	3	5
2016	85	31	36

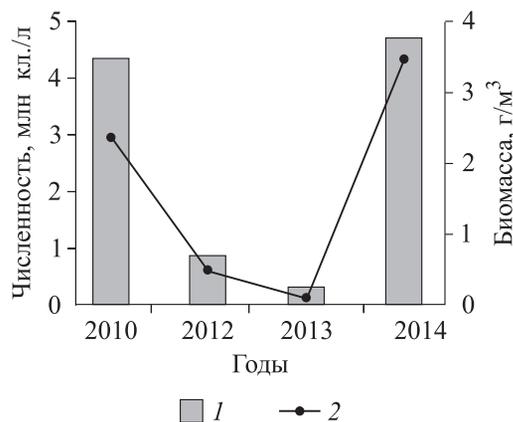


Рис. 2. Изменение численности (1) и биомассы (2) фитопланктона (данные Г.И. Поповской) в устье протоки Харауз в годы низкой (2010, 2014 гг.) и средней (2012–2013 гг.) водности.

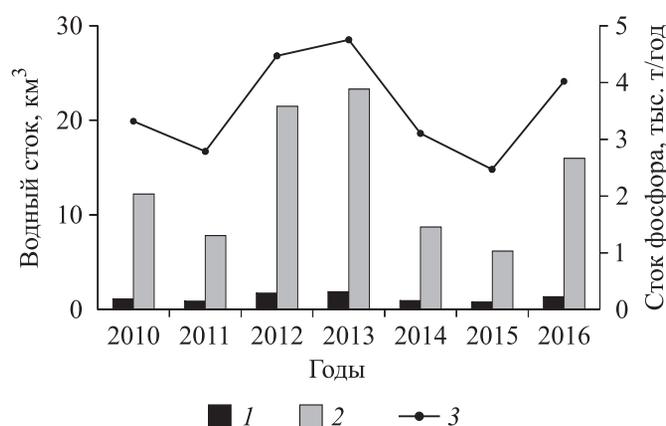
прибрежной части и на водосборе взвешенных и загрязняющих веществ. Так, в июле 2012 г. водность Селенги после дождей повысилась в 3–5 раз, концентрации минерального фосфора по всей длине реки были не ниже 15 мкг/л (см. рис. 1, а), а развитие водорослей оставалось крайне слабым (см. рис. 2) из-за повышенных скоростей течений и высокой мутности. Июль 2014 г. характеризовался низкой водностью, массовым развитием фитопланктона (см. рис. 2) и наиболее низкими концентрациями $P_{\text{мин}}$ (см. рис. 1, а). Что касается аномально высоких концентраций минерального фосфора (185 мкг/л), зарегистрированных в Селенге ниже Улан-Удэ в июле 2016 г., то, скорее всего, они связаны с залповым сбросом сточных вод, так как ниже по течению его концентрации постепенно снижались и в районе дер. Мурзино составляли 31 мкг/л.

Таким образом, концентрации минерального фосфора в воде Селенги определяются сезонными и межгодовыми изменениями водности реки, поступлением $P_{\text{мин}}$ от точечных источников (с притоками, сточными водами). Во время прохождения паводков концентрации фосфора определяются его поступлением с территории бассейна. Сопутствующее паводкам высокое содержание взвешенных веществ и повышенные скорости течения препятствуют развитию водорослей, тем самым способствуют снижению уровня потребления минеральных соединений фосфора и повышению его содержания в речных водах.

В притоках Селенги концентрации минерального фосфора обычно ниже, чем в самой реке (см. рис. 1, а), за исключением р. Уда: поступление ее вод периодически вызывает повышение содержания фосфора на участке Селенги ниже по течению.

Анализ многолетних результатов показал, что содержание общего фосфора в селенгинской воде изменяется в широких пределах (см. табл. 1, 2; см. рис. 2), причем органический фосфор, как правило, преобладает над минеральным. Аналогичная ситуация наблюдалась и в 1980-х гг. [5]. В последние годы повышенное содержание органических соединений фосфора отмечалось в 2013–2015 гг. (наиболее маловодные в XXI в.), об этом свидетельствуют низкие значения $P_{\text{мин}}$ в составе $P_{\text{общ}}$ (см. табл. 2). В условиях маловодья и массового развития водорослей доля органического фосфора варьировала от 77 до 97 %. Однако в 2016 г. эта закономерность была нарушена. Так, в районе пос. Наушки концентрации минерального и органического фосфора были приблизительно одинаковыми за счет высоких концентраций $P_{\text{мин}}$ (см. табл. 2). Ниже по течению концентрации минерального постепенно снижались, а органического возрастали, и на участке реки выше г. Улан-Удэ $P_{\text{орг}}$ составлял 63 % от общего. Ниже города под влиянием антропогенных факторов концентрации минерального фосфора возросли до максимальных величин (174 мкг/л) (см. табл. 1), составляя 94 % от общего. К устью реки в результате разбавления и трансформации водных масс, а также поглощения фитопланктоном соотношение минеральных и органических форм меняется, содержание $P_{\text{мин}}$ снижается до 36 % (см. табл. 2).

В сезонном аспекте наименьшие концентрации общего и органического фосфора отмечаются в осенне-зимний период (см. табл. 1), что связано со слабым развитием фитопланктона и отсутствием поступления загрязняющих веществ с водосбора. Максимальные концентрации общего фосфора в Селенге наблюдаются при поступлении загрязненных вод как от хозяйственных объектов, так и с водосборной территории, независимо от сезона и уровня развития водорослей. В результате каких-либо закономерных сезонных и межгодовых изменений концентраций $P_{\text{общ}}$ не установлено. Вниз по течению Селенги содержание общего фосфора снижалось в 2010 г. при поступлении загрязненных вод с территории Монголии и при прохождении паводков в 2012–2013 гг. (см. рис. 1). Повышение



концентраций минерального фосфора ниже г. Улан-Удэ эту тенденцию не изменяло.

В условиях низкой водности, например в 2014 г., когда не было заметного влияния загрязненных вод, содержание общего и органического фосфора вниз по течению, как правило, повышалось (см. рис. 1, б) вследствие интенсивного развития фитопланктона и снижения $P_{\text{мин}}$ в результате потребления.

Рис. 3. Динамика выноса минерального (1) и общего (2) фосфора водами Селенги в оз. Байкал в годы с разным водным стоком (3).

В целом концентрации общего фосфора в Селенге в 2010–2016 гг. были высокими и соответствовали уровню эвтрофных и высокоэвтрофных водоемов. Несмотря на низкую водность, вынос рекой общего фосфора, в сравнении с более ранними данными [5], увеличился в среднем в 2,9 раза и в значительной мере за счет органического фосфора. Наиболее высоким сток $P_{\text{общ}}$ был в годы повышения (2012 и 2013 гг.) водного стока (рис. 3). Некоторый рост выноса фосфора в 2010 и 2016 гг. может быть связан с поступлением загрязненных вод.

Средний вынос Селенгой общего фосфора за 2010–2016 гг. составил 1770 т/год. Минимальный (670 т) приходится на аномально маловодный 2015 г., а максимальный (3200 т) — на 2013 г. Вынос же $P_{\text{мин}}$ за рассматриваемый период в среднем составил 206 т/год, или только 34 % от соответствующего показателя 1990-х гг. Самый низкий сток минерального фосфора, составляющий 131 т, как и общего, приходится на аномально маловодный 2015 г. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод об изменениях в структуре поступления фосфора в озеро: снизился сток минерального, увеличился — органического, что может отразиться на доступности фосфора байкальской биоте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы особенности динамики минерального и общего фосфора в воде Селенги в условиях длительного маловодья последних лет. Установленные ранее закономерности сезонных изменений содержания фосфора в целом сохраняются для минерального фосфора. Наименьшие концентрации общего и органического фосфора отмечаются в осенне-зимний период. При прохождении паводков и поступлении сточных вод концентрации минерального и общего фосфора достигают максимума. При этом в условиях длительного маловодья, сопровождающегося повышенным прогревом и осветлением селенгинских вод, пониженными скоростями течения, благоприятствующими развитию фитопланктона, более значимым становится рост концентраций органического фосфора, при уменьшении содержания минерального. Вместе с низким водным стоком реки это приводит к существенному сокращению поступления минерального фосфора с селенгинскими водами в оз. Байкал: в маловодье 2010–2016 гг. вынос $P_{\text{мин}}$ был ниже в 2–5 раз в сравнении с условиями средней водности. И наоборот, вынос общего и органического фосфора в эти годы увеличился.

Работа выполнена в рамках госзадания Лимнологического института СО РАН (0345–2016–0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шимараев М.Н., Куимова Л.Н., Синукович В.Н., Цехановский В.В. О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии // Докл. РАН. — 2002. — Т. 383, № 3. — С. 397–400.
2. Синукович 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.
3. Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачёва А.П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965. — 495 с.
4. Богданов В.Т. Современное состояние сезонной и межгодовой изменчивости химического стока р. Селенги // Тезисы докл. IV Всесоюз. лимнол. совещания «Круговорот вещества и энергии в водоемах. Гидрохимия и качество воды». — Иркутск, 1977. — С. 92–94.
5. Тарасова Е.Н., Мещерякова А.И. Современное состояние гидрохимического режима озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1992. — 144 с.
6. Сороковикова Л.М., Синукович В.Н., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Башенхаева Н.В., Нецветаева О.Г. Поступление биогенных элементов и органических веществ в оз. Байкал с речными водами и атмосферными осадками // Метеорология и гидрология. — 2001. — № 4. — С. 78–86.
7. Поповская Г.И., Кузьмина А.Е. Многолетняя динамика фитопланктона реки Селенги // Тезисы докл. III Всесоюз. конф. «Проблемы экологии Прибайкалья». — Иркутск, 1988. — Ч. 2. — С. 123.
8. Поповская Г.И., Ташлыкова Н.А. Фитопланктон // Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — С. 167–181.
9. Томберг И.В. Трансформация химического состава речных вод в зоне смешения с озерными (на примере главных притоков Байкала): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск, 2008. — 24 с.
10. Сороковикова Л.М., Поповская Г.И., Томберг И.В., Башенхаева Н.В. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных и органических веществ и фитопланктона в воде р. Селенги и протоках ее дельты // Водн. ресурсы. — 2009. — № 4. — С. 465–474.
11. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Ред. Л.В. Боева. — Ростов-на-Дону: НОК, 2009. — Ч. 1. — 1045 с.

12. **Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П.** Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Аналитическая химия. — 1999. — Т. 54, № 9. — С. 962–965.
13. **Wetzel R.G., Likens G.E.** Limnological Analyses. — New York: Springer-Verlag, 1991. — 391 p.
14. **Кожова О.М., Мельник Н.Г.** Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. — Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 1978. — 51 с.
15. **Шимараев М.Н., Старыгина Л.Н.** Зональная циркуляция атмосферы, климат и гидрологические процессы на Байкале (1968–2007 гг.) // География и природ. ресурсы. — 2010. — № 3. — С. 62–68.
16. **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: Изд-во СО РАН, 2008. — С. 88–101.
17. **Синюкович В.Н., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Тулохонов А.К.** Изменение климата и химический сток реки Селенги // Докл. РАН. — 2010. — № 6. — С. 817–821.
18. **Сороковикова Л.М., Тулохонов А.К., Синюкович В.Н., Поповская Г.И., Никулина И.Г., Томберг И.В., Башенхаева Н.В., Максименко С.Ю., Погодаева Т.В., Ильичёва Е.А., Некрасов А.В.** Качество вод в дельте р. Селенги // География и природ. ресурсы. — 2005. — № 1. — С. 73–80.
19. **Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Кремлёва Т.А.** Особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в озерах и лимитирование их трофности на Европейской территории и Западной Сибири // Вестн. Тюмен. ун-та. — 2012. — № 12. — С. 17–25.
20. **Сороковикова Л.М., Поповская Г.И., Томберг И.В., Синюкович В.Н., Кравченко О.С., Мариняйте 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.

Поступила в редакцию 1 февраля 2018 г.