

**ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА**

УДК [556.54+574.583:581.543.5] (282.256.341.5)

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(81-89)

**Л. М. СОРОКОВИКОВА, В. Н. СИНЮКОВИЧ, И. В. ТОМБЕРГ, Г. И. ПОПОВСКАЯ,  
М. С. ЧЕРНЫШОВ, В. Г. ИВАНОВ, Т. В. ХОДЖЕР**Лимнологический институт СО РАН, ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск, 664033, Россия,  
lara@lin.irk.ru, sin@lin.irk.ru, kaktus@lin.irk.ru, chernishov@lin.irk.ru, vigo@lin.irk.ru, khodher@lin.irk.ru**СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ  
В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО МАЛОВОДЬЯ**

*Рассмотрены экологические аспекты состояния поверхностных вод в дельте р. Селенги, формирующиеся в условиях маловодья, продолжающегося с 1996 г. По результатам гидрологических, гидрохимических и гидробиологических исследований авторов данной статьи в 2013–2015 гг. и с учетом более ранних работ оценены происходящие изменения важнейших показателей состояния вод в дельте реки. Установлено, что следствием маловодья стало снижение роли главных проток дельты — Харауза и Левобережной — в транзите стока. Увеличение доли подземных вод в питании реки привело к росту в воде концентраций главных ионов: в текущем маловодье их суммарное содержание колебалось от 119 до 780 мг/л, с максимумом в малых протоках зимой. Зафиксированы изменения концентраций биогенных элементов: общего фосфора от 10 до 190 мкг P/л, минерального — от 0 до 35 мкг P/л, нитратного азота — от 0,01 до 0,81 мг N/л. Минимум минеральных соединений фосфора и азота отмечен во время массового развития водорослей. Установлено, что динамика содержания органических веществ определяется изменениями водности и интенсивностью развития фитопланктона. В многолетнем аспекте зарегистрировано ухудшение газового режима, зарастание и заболачивание мелких проток. Уровень развития фитопланктона и изменения его структуры указывают на прогрессирующее эвтрофирование селенгинских вод. Качество селенгинских вод по величине индекса сапробности в основном соответствует разряду «умеренно загрязненные» (II и III класс), а в меженные периоды снижается, особенно в мелких протоках с высокой численностью криптофитовых водорослей, до разряда «загрязненные».*

Ключевые слова: протоки, речной сток, главные ионы, биогенные элементы, фитопланктон, качество вод.

**L. M. SOROKOVIKOVA, V. N. SINYUKOVICH, I. V. TOMBERG, G. I. POPOVSKAYA,  
M. S. CHERNYSHEV, V. G. IVANOV, T. V. KHODZHER**Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, ul. Ulan-Batorsraya, 3, Irkutsk, 664033, Russia,  
lara@lin.irk.ru, sin@lin.irk.ru, kaktus@lin.irk.ru, chernishov@lin.irk.ru, vigo@lin.irk.ru, khodher@lin.irk.ru**THE STATUS OF THE AQUATIC ECOSYSTEM OF THE SELENGA RIVER DELTA  
UNDER LONG-DURATION LOW-WATER CONDITIONS**

*We examine the ecological aspects concerning the status of the surface waters in the delta of the Selenga river for the low-water conditions which have been observed since 1996. The ongoing changes in the most important indicators of the status of the waters in the river delta are assessed on the basis of results of hydrological, hydrochemical and hydrobiological investigations made by these authors in 2013–2015 and with consideration for earlier research efforts. It is established that the low-water conditions resulted in a decrease of the role of the main delta branches, Kharauz and Levoberezhnaya, in streamflow. An increase in the contribution of groundwater in the alimentation of the river led to an increase in concentrations of main ions: for the current low-water period their total content has varied from 119 to 780 mg/L, with a maximum in small delta branches in the wintertime. Changes in concentrations of biogenic elements were recorded: total phosphorus from 10 to 190 µg P/L, mineral phosphorus from 0 to 35 µg P/L, and nitrate nitrogen from 0.01 to 0.81 µg N/L. A minimum of mineral phosphorus compounds and nitrogen was observed at the time of mass development of algae. It is established that the dynamics of organic matter content is determined*

**© 2017 Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Томберг И. В., Поповская Г. И.,  
Чернышов М. С., Иванов В. Г., Ходжер Т. В.**

*by changes in hydraulicity, and by the intensity of phytoplankton development. Within the long-term context, a deterioration of water regime and vegetation infill and swamping of shallow delta branches were recorded. The development level of the phytoplankton and changes in its structure point to a progressive eutrophication of the Selenga waters. According to the value of the saprobicness index, the quality of the Selenga waters corresponds largely to the category of "moderately polluted" waters (class II and III), and it decreases at low-water periods, especially in shallow delta branches with a high population of cryptophytic algae, to the category of "polluted" waters.*

Keywords: delta branches, streamflow, main ions, biogenic elements, phytoplankton, water quality.

## ВВЕДЕНИЕ

Экологическое состояние естественных экосистем речных дельт в значительной степени зависит от избытка или недостатка какого-либо биотического или абиотического фактора, в частности от изменений водного стока реки [1]. Во время экстремально высоких паводков в дельтах рек происходит перестройка русловой сети и перераспределение стока по отдельным протокам. В маловодные периоды резко сокращается поступление наносов, снижается водообмен, активизируется развитие фитопланктона и высшей водной растительности. На экосистемы дельт негативно влияет проведение крупномасштабных водохозяйственных мероприятий в бассейнах рек. Изъятие водного стока ведет к обсыханию дельт, как в случае рек Амударья и Или [1]. Строительство каскада ГЭС на р. Волге также привело к снижению ее водного стока и изменению гидрологического режима в дельте, нарушению условий обитания гидробионтов [2].

Дельта Селенги занимает обширную территорию до 5000 км<sup>2</sup> [3]. За ее начало обычно принимают место разделения реки на два крупных рукава в 34 км от устья. Основные протоки дельты делятся на три группы: северную (Лобановская, Дологан, Северная), среднюю (Галутай, Колпинная, Средняя) и южную (Левобережная, Шаманка, Харауз). Через наиболее крупные протоки (Левобережная, Харауз и Лобановская) в условиях средней водности проходит до 80 % водного стока в весенне-осенний период и до 99 % зимой. Мелкие протоки (Галутай, Колпинная, Средняя и Северная) зимой чаще всего перемерзают в верхнем течении [4].

Цель данной работы — оценка изменения химического состава вод, численности, биомассы и видового разнообразия фитопланктона, отражающего состояние экосистемы р. Селенги и ее дельты в условиях длительного маловодья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования р. Селенги осуществляются нами с 1993 г. [5–8]. В настоящей работе в основном представлены результаты, полученные в 2013–2015 гг., и произведено сравнение с данными за предыдущие годы наблюдений. Отбор проб воды проводился на реперных станциях в нижнем течении р. Селенги и протоках дельты (рис. 1). Пробы фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Химический анализ выполнен общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [9–11]. Достоверность полученных результатов проверялась регулярным контролем качества в рамках международной программы EANET по тестированию стандартных образцов поверхностных вод. Для количественного учета фитопланктона использовался осадочный метод. Подсчет численности проводили на разграфленном предметном стекле по методу Гензена в капле 0,1 мл в двукратной повторности. Биомассу определяли объемно-счетным методом [12].

Расходы воды в отдельных протоках рассчитывались по методу «скорость–площадь». Средняя скорость течения определялась по соотношению с ее максимальным поверхностным значением, измеренным поплавками. Значения соответствующих переходных коэффициентов приняты по данным натурных гидрометрических измерений в протоках в 1975–1993 гг. и сведений из работы [13]. Для оценки общего стока р. Селенги и водности проток использовались материалы наблюдений за уровнем реки Кабанской устьевой станции Росгидромета по водпосту у с. Кабанск, а также суточные сведения с сайта Бурятского ЦГМС (<http://www.burpogoda.ru/>) о текущем уровне воды Селенги у г. Улан-Удэ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты многолетних исследований р. Селенги позволяют сопоставлять ее экологическое состояние в разных условиях водности. Несмотря на общее снижение речного стока в дельте в 2001–

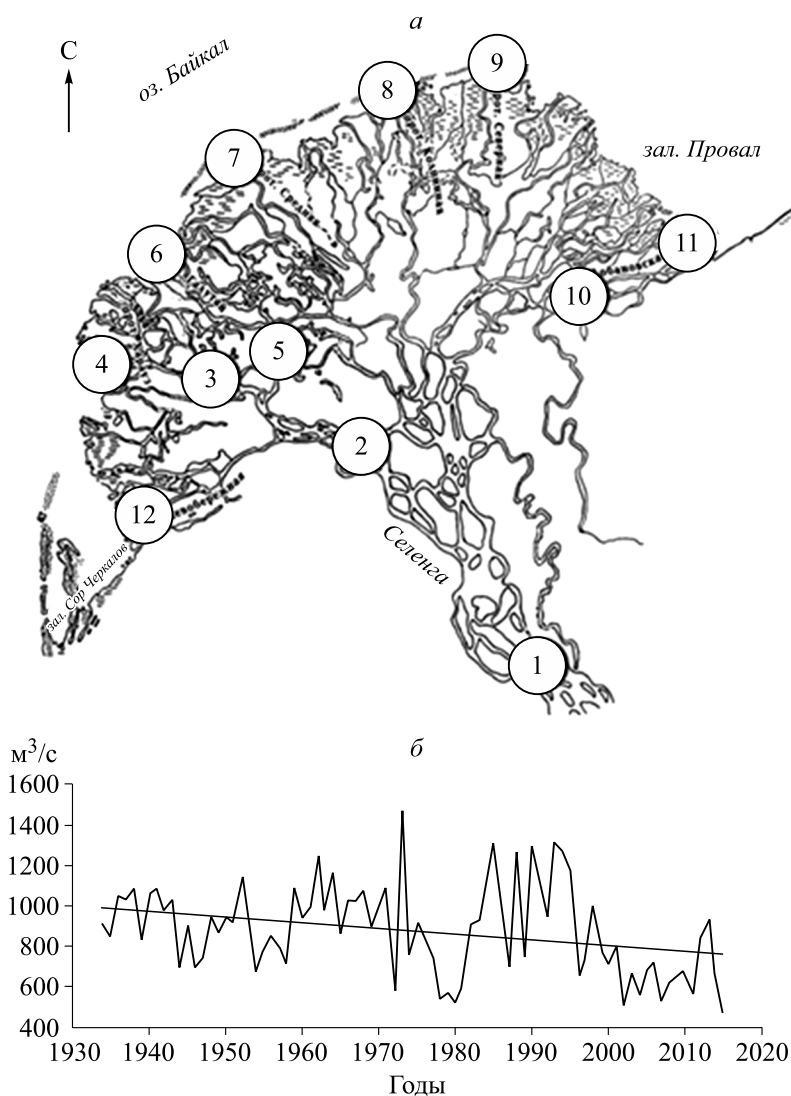


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб (а) и многолетние изменения водности р. Селенга (б). Станции: 1, 2 — р. Селенга, 3, 4 — протока Харауз, 5, 6 — протока Галутай, 7 — протока Средняя, 8 — протока Колпинная, 9 — протока Северная, 10, 11 — протока Лобановская, 12 — протока Левобережная. Прямой линией обозначен тренд.

2015 гг., расходы воды в отдельные периоды были выше среднемноголетних значений (например, май, июль 2002 г.). В 2001–2005 гг. только в мелких протоках зимой отмечались низкие концентрации кислорода в воде, повышенное содержание органических веществ (ОВ), отличный от главных протоков видовой состав фитопланктона [6]. В период открытого русла наиболее значительные изменения в экологическом состоянии дельты были зарегистрированы в июле 2003 г. при аномально низкой водности. Биомасса фитопланктона в нижнем течении реки и протоках достигала величин, характерных для эвтрофных водоемов, качество воды соответствовало категориям «загрязненная» и «грязная» [3, 14]. Снижение водности реки, увеличение уровня развития фитопланктона и интенсификация потребления минеральных форм азота и фосфора привели к уменьшению их концентраций и стока в Байкал с водами Селенги [7]. Маловодье, продолжавшееся длительное время, обусловило нетипичное распределение стока по протокам и изменение водообмена в них, предопределило количественные и качественные преобразования отдельных элементов экосистемы дельты.

**Гидрологическая характеристика.** Снижение стока р. Селенги в связи с дефицитом осадков, уменьшением влагонасыщения деятельного слоя и запасов подземных вод из-за общего падения увлажнения в ее бассейне составило не менее 20 % от среднемноголетнего значения. Маловодный период,

**Роль основных протоков дельты р. Селенги в общем стоке реки при расходах воды 1000–1500 м<sup>3</sup>/с**

Протока	Доля стока, %	
	1994 г., по [4]	2012–2013 гг.
Основное русло	27,4	25
Левобережная	25,3	27
Лобановская	30,9	13
Дологан	6,0	20
Галутай	7,4	11
Средняя + Колпинная	3,0	4

продолжающийся с 1996 г., сохранялся и в течение 2013–2015 гг. При этом за счет увеличения стока в августе–сентябре 2013 г. оказался достаточно близким к средней водности, тогда как 2014 г. и особенно 2015 г. были крайне маловодными. В первом случае среднегодовой расход воды составлял около 600 м<sup>3</sup>/с (на треть ниже нормы), во втором, по предварительным оценкам, еще на 50–100 м<sup>3</sup>/с ниже, это минимальное значение за весь период наблюдений (см. рис. 1, б).

Полученные оценки вклада каждой из протоков в формирование общего стока Селенги в оз. Байкал показали, что характер его распределения по протокам

за 20 лет претерпел определенные изменения (см. таблицу). Хотя основная часть воды через дельту по-прежнему стекает по протокам южной группы — Левобережной и Хараузу (основное русло), после прохождения паводка в 2013 г. их доля в транзите стока стала несколько ниже. При этом выросла роль проток северной группы (Лобановская, Дологан), наблюдаемая и ранее при повышенных расходах воды, а также центральной части дельты (Средняя, Колпинная и Галутай), переток воды через которые увеличился на 2–3 % от общего стока.

С учетом результатов более раннего времени [15] можно видеть, что в начале 1970-х гг. при расходах воды порядка 2000 м<sup>3</sup>/с (средняя водность летнего времени) до 65 % стока Селенги поступало к внешнему краю дельты по южным протокам, а в зимний сезон — до 95 %. Затем роль южных протоков постепенно стала уменьшаться, с одновременным снижением стока через наиболее многоводную протоку Харауз и ростом перетока воды через Левобережную [4]. В условиях аномально низкой водности 2015 г. это привело к переносу судового хода в приустьевой части Харауза в протоку Толстоножиха.

В целом с 1996 г. процессы перестройки русловой сети в дельте заметно ослабли вследствие невысокой водности р. Селенги и отсутствия паводков редкой повторяемости. Однако ситуация может существенно измениться в случае прохождения высоких дождевых паводков, так как в бассейне реки в течение маловодных лет аккумулирован значительный объем подготовленного к сносу рыхлого материала.

**Химический состав воды.** Одним из важных показателей экологического состояния водных объектов выступает содержание в воде растворенного кислорода [16]. В 2013–2015 гг. концентрации кислорода в воде р. Селенги и проток дельты в период открытого русла изменялись от 5,4 до 11,7 мг/л (63–125 % насыщения), снижаясь зимой до 0,1–8,4 мг/л (1–61 %). На речном участке зимой минимальные значения кислорода в районе с. Кабанск составляли 5,8–6,9 мг/л, или 42–50 % насыщения, тогда как ранее они не опускались ниже 67 % [6]. Снижение концентраций кислорода свидетельствует об ухудшении экологической ситуации в реке. Для нормальной жизнедеятельности ценных видов рыб, например омуля, содержание кислорода в воде не должно быть ниже ПДК — 6 мг/л [17]. В дельте наиболее сложная ситуация наблюдается в устьях малых протоков. Так, в протоке Средней зимой 2013 г. количество кислорода регистрировалось на уровне чувствительности метода, а в устье протоки Колпинной он отсутствовал. Снижение концентрации O<sub>2</sub> в воде происходило постепенно: зимой 2002 г. его количество составило 1,1 мг/л, в 2009 г. — 0,7 мг/л, в 2013 г. — 0.

Воды р. Селенги и проток ее дельты в течение года имеют слабощелочную реакцию и благоприятны для развития водных организмов: величина pH зимой изменяется в пределах 7,15–7,48, летом — в диапазоне 8,32–9,24.

Снижение водности и увеличение в питании реки доли глубинных подземных вод привело к повышению в селенгинской воде концентраций главных ионов, особенно в малых протоках в зимний период. В 2013–2014 гг. концентрации HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> изменялись в пределах 81–467 мг/л, 9,3–20,6, 0,7–8,5, 19,8–93,4, 4,9–22,4, 6,2–22,3 и 0,8–5,7 мг/л соответственно. Суммарное содержание ионов колебалось от 119 до 780 мг/л. В эти годы даже во время прохождения половодья сумма ионов в реке и протоках оставалась высокой — до 156–176 мг/л. Незначительные различия состава ионов в крупных и малых протоках связаны с особенностями водообмена в них и подтоком подземных вод. Анализ многолетних данных (2001–2015 гг.) показал, что при пониженной водности р. Селенги повышение концентраций ионов и их суммы наблюдается по всей длине реки, их содержание остается благоприятным для гидробионтов.

Динамика концентраций биогенных элементов и органических веществ, в отличие от главных ионов, определяется не только изменениями водности, но и уровнем их потребления планктоном. Содержание азота и фосфора в селенгинской воде связано прямой зависимостью с биомассой фитопланктона [3], хотя вполне очевидна и связь с другими гидролого-гидрохимическими и биологическими процессами. Так, снижение водности приводит к уменьшению скорости течения и транспорта взвешенных веществ по реке, что, в свою очередь, способствует повышению прозрачности воды, интенсификации развития фитопланктона и понижению концентраций биогенных элементов.

В 2013–2015 гг. сезонные изменения концентраций биогенных элементов были аналогичны таковым в предшествующие маловодные годы [8]. Содержание нитратного азота в реке и протоках дельты изменялось от 0,01 до 0,81 мг N/л. Внутригодовые колебания концентраций  $\text{NO}_3^-$  в крупных и малых протоках имеют свои особенности (рис. 2). В р. Селенге и крупных протоках накопление  $\text{NO}_3^-$  регистрируется зимой, тогда как в мелких протоках в это время его концентрации снижаются почти до минимума в результате массового развития водорослей. После прохождения половодья в течение всего периода открытого русла содержание  $\text{NO}_3^-$  в крупных и малых протоках в основном остается схожим и зависит от уровня развития фитопланктона. При этом межгодовые изменения его концентраций в летне-осенний период обусловлены высотой и числом дождевых паводков. Во время их прохождения, как правило, соединения азота поступают с водосбора, при этом снижается уровень развития водорослей и концентрации азота в воде повышаются, что хорошо видно по данным 2013 г. (см. рис. 2), отмеченного сравнительно высоким паводком.

Концентрации аммонийного азота в воде р. Селенги и проток в 2013–2015 гг. изменялись от 0–0,01 мгN/л в период вегетации водорослей до 0,06–0,56 мгN/л зимой, с максимумом в мелких протоках. В сезонном аспекте концентрации аммонийного азота снижаются быстрее, чем нитратного, что может быть обусловлено повышенной скоростью его поглощения при значениях pH селенгинской воды выше 7,0 [3]. Содержание нитритного азота в воде колебалось от 0 до 0,005 мгN/л с повышением в летне-осенний период, когда активизируются процессы деструкции органических веществ.

Внутригодовые и межгодовые изменения концентраций минерального фосфора в р. Селенге и протоках ее дельты аналогичны таковым нитратного азота. В реке и крупных протоках максимальные содержания  $P_{\text{мин}}$  регистрируются зимой (рис. 3) при слабом развитии фитопланктона. В это время в мелких протоках (Колпинная, Средняя, Северная) массовое развитие водорослей обуславливает снижение концентраций  $P_{\text{мин}}$  до минимума. В период открытого русла изменение концентраций этого элемента зависит от условий водности и уровня развития фитопланктона. Повышение водности ведет к снижению интенсивности развития фитопланктона и росту количества  $P_{\text{мин}}$  (см. рис. 3, 2013 г.). В условиях межени картина меняется на противоположную: растет количество водорослей, концентрации  $P_{\text{мин}}$  снижаются (см. рис. 3, 2015 г.).

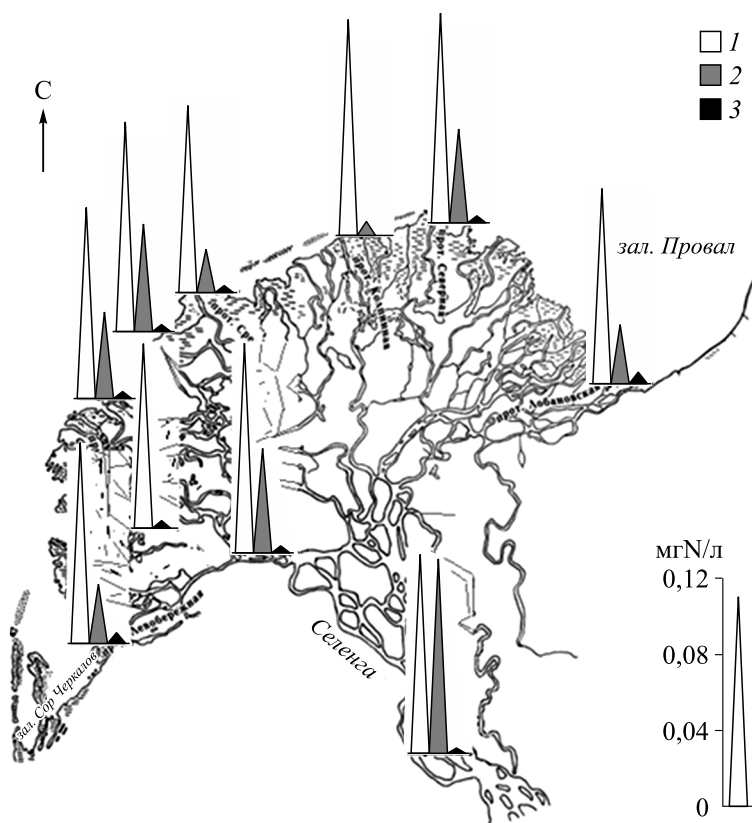


Рис. 2. Концентрации нитратного азота в воде р. Селенга и протоках ее дельты, июль 2013–2015 гг. (схема расположения станций отбора соответствует рис. 1, а).

1 — 2013 г.; 2 — 2014 г.; 3 — 2015 г.

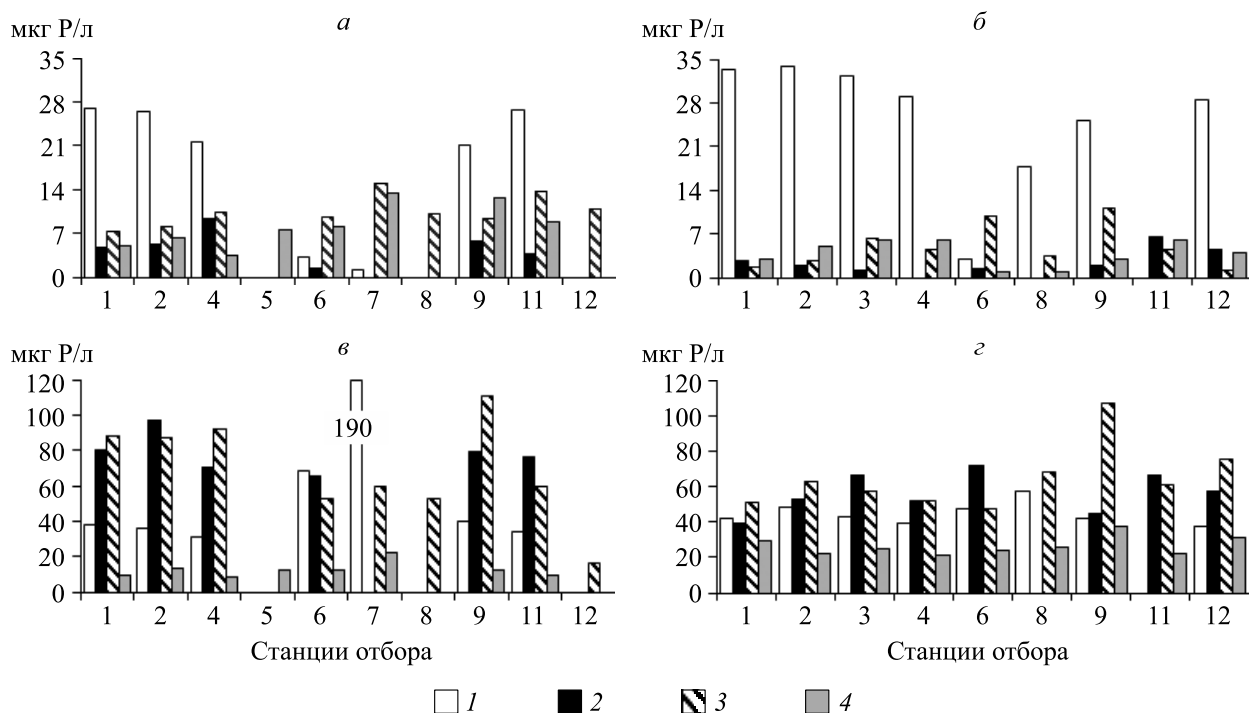


Рис. 3. Концентрации минерального и общего фосфора в воде р. Селенги и протоках дельты (номера станций см. рис. 1, а).

а —  $P_{\text{мин}}$ , 2013 г.; б —  $P_{\text{мин}}$ , 2015 г.; в —  $P_{\text{общ}}$ , 2013 г.; з —  $P_{\text{общ}}$ , 2015 г. 1 — март, 2 — май, 3 — июль, 4 — октябрь.

Крупные и мелкие протоки различаются по внутригодовой динамике и содержанию общего фосфора. В крупных зимой при отсутствии поступления органических веществ с водосбора и низком уровне развития водорослей содержание  $P_{\text{общ}}$  может снижаться до минимума (см. рис. 3), в данных протоках в составе преобладает минеральный фосфор, составляя до 60–70 % от общего. В это время в малых протоках с массовым развитием водорослей концентрации общего фосфора могут достигать годового максимума, а его состав на 90–95 % представлен органическим фосфором. По результатам многолетних исследований установлено, что определяющую роль в сезонной и межгодовой динамике концентраций общего фосфора играют водность и уровень развития фитопланктона. Так, прохождения летнего паводка в июле 2013 г. и поступление органических веществ с водосбора привело к резкому повышению концентраций в речных водах общего и органического фосфора. А с мая по октябрь 2015 г. содержание общего фосфора было повышенным в результате массового развития фитопланктона и накопления в воде легкогидролизуемых органических соединений на фоне крайне низких концентраций  $P_{\text{мин}}$ . Осенний период, как правило, характеризуется пониженными содержаниями  $P_{\text{общ}}$ .

Внутригодовая и межгодовая динамика концентраций органического вещества (ОВ) в воде р. Селенги и проток дельты близка к таковой общего фосфора. Зимой в реке и крупных протоках величина химического потребления кислорода (ХПК) наиболее низкая — 0,9–1,8 мгО/л, а в малых протоках в 17–30 раз выше (29–42 мгО/л). В период открытого русла концентрация ОВ в реке, крупных и малых протоках выравнивается. В весенне-летний период 2013–2015 гг. ХПК изменялось в пределах 12,5–23,8 мгО/л, осенью снижалось до 9,8–13,9 мгО/л. Установлено, что в период летней межени в реке и во всех протоках, а зимой только в малых в составе органического вещества доминируют легкогидролизуемые органические вещества (ЛОВ). Отношение ПО/ХПК изменялось от 21 до 28 (ПО — перманганатная окисляемость). Во время половодья и паводков, когда увеличивается поступление ОВ с водосбора, в его составе преобладают стойкие к окислению соединения, отношение ПО/ХПК в воде возрастает до 36–49.

**Фитопланктон.** Внутригодовые изменения численности и биомассы фитопланктона в значительной степени зависят от водности реки [14], что подтвердили и результаты 2013–2014 гг. Наиболее низкое содержание фитопланктона наблюдалось зимой 2013 г. на входе в дельту. В районе с. Кабанск его численность составляла 23 тыс. кл/л, биомасса — 40 мг/м<sup>3</sup> (рис. 4). Ниже по течению в крупных

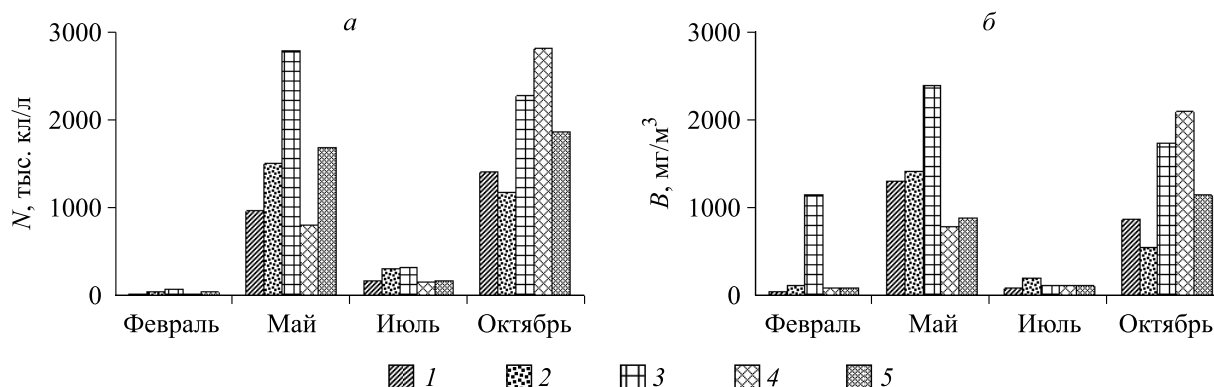


Рис. 4. Сезонная динамика численности (а) и биомассы (б) фитопланктона в р. Селенге и протоках ее дельты, 2013 г.

1 — р. Селенга (с. Кабанск); 2 — протока Харауз; 3 — протока Средняя; 4 — протока Левобережная; 5 — протока Лобановская.

протоках Харауз, Лобановской и Левобережной численность увеличилась до 69–106 тыс. кл/л, биомасса — до 15–43 мг/м<sup>3</sup>. Видовой состав водорослей был характерен для зимнего периода — мелкие центрические диатомовые, *Nitzschia graciliformis* и виды *Synedra*.

На фоне низких концентраций фитопланктона в мелких протоках Колпинной и Средней наблюдалось его массовое развитие, в основном за счет криптофитовых водорослей. В Колпинной доминировал исключительно *Cryptomonas ovata*, на долю которого приходилось 97,5 % от общей биомассы водорослей, составляющей до 2 г/м<sup>3</sup>. В Средней доля криптофитовых (*C. ovata* и *C. marssonii*) составляла до 90 % общей биомассы 1,1 г/м<sup>3</sup>. Из золотистых водорослей был замечен *Chrysooccus rufescens*. Особенность последних лет — отсутствие в малых протоках диатомовых водорослей, тогда как ранее они составляли до 1,5 % от общей численности фитопланктона [3]. Интенсивное развитие в малых протоках криптофитовых водорослей, относящихся к миксотрофным организмам, обеспечивается повышенным содержанием ЛОВ. Эти водоросли при неблагоприятных для фотосинтеза условиях (большая толщина льда, снега и низкая прозрачность) способны утилизировать растворенные в воде органические вещества.

В 2013–2014 гг. в реке и протоках, как и в другие годы [14, 18], наблюдался весенний максимум фитопланктона, обусловленный присутствием мелкоклеточных центрических диатомовых из рода *Stephanodiscus*. Второе место занимали хлорококковые водоросли и пенициллиевые. Следует отметить, что весенний максимум развития фитопланктона в различные периоды был неодинаков. Так, в 2010 г. при очень низкой водности численность фитопланктона в мае в протоках достигала 2,5–4,5 млн кл/л, биомасса — 1,5–2,7 г/м<sup>3</sup>, в 2011 г. данные показатели составили 1,2 млн кл/л и 1 г/м<sup>3</sup>, в 2013 г. — 2,8 млн кл/л и 2,3 г/м<sup>3</sup>, в 2014 г. — 1,5 млн кл/л и 3 г/м<sup>3</sup>.

В июле 2013 г. при прохождении по р. Селенге паводка развитие фитопланктона по сравнению с июлем 2014 г. было иным. Во время паводка 2013 г. из-за большого количества взвешенных веществ прозрачность воды не превышала 5–10 см, что привело к резкому снижению численности (0,1–0,3 млн кл/л) и биомассы (0,07 до 0,2 г/м<sup>3</sup>) фитопланктона. В 2014 г. при более низкой водности количество фитопланктона в протоках дельты достигало 4,7 млн кл/л, биомасса — 3,5 г/м<sup>3</sup>.

В октябре пространственное распределение фитопланктона было близким к зимним показателям: минимальные концентрации планктона отмечались в районе с. Кабанск, где численность составляла 1,2–1,4 млн кл/л, биомасса — 0,54–0,85 г/м<sup>3</sup>. В протоках численность возросла до 1,8–2,8 млн кл/л, биомасса — до 1,1–2,1 г/м<sup>3</sup>. На долю мелких центрических диатомовых в октябре приходилось 26–43 % от общей численности и 28–45 % от общей биомассы. В 2013–2014 гг. значение мелких центрических диатомовых в составе фитопланктона уменьшилось по сравнению с осенним периодом предыдущих лет, когда их доля достигала 70–80 %. В последние годы повысилась роль пенициллиевых диатомовых, преимущественно *Nitzschia graciliformis* и видов *Synedra*.

Как показывают полученные результаты, в исследованных водотоках регистрируется высокий уровень развития криптофитовых водорослей, что косвенно указывает на повышенное содержание в воде легкогидролизуемых органических соединений, особенно при низкой водности. Преобладание в составе планктона пенициллиевых водорослей (*Nitzschia*, *Synedra*) свидетельствует о процессе эвтрофи-

рования селенгинских вод. В то же время величины биомассы фитопланктона в транзитной части реки и крупных протоков редко превышают 4 г/м<sup>3</sup>, а чаще составляют 1–2 г/м<sup>3</sup>, что позволяет на данном этапе относить воды р. Селенги к разряду мезотрофных. Исключением являются годы с экстремально низкой водностью, когда р. Селенга и все протоки ее дельты могут быть отнесены к эвтрофным.

Изменение водного стока меняет количественные и качественные показатели фитопланктона, что, в свою очередь, отражается на качестве воды Селенги и проток ее дельты. Наиболее низкие величины индекса сапробности (1,3–1,5) отмечались в подледный период в реке и крупных протоках, что соответствовало разрядам «чистые» и «умеренно загрязненные» воды (II и III класс чистоты). В это время качество воды малых проток в результате массового развития криптофитовых водорослей соответствовало IV классу — «загрязненные». В период открытого русла в мае 2013 г. индекс сапробности изменялся в пределах 1,6–2,0, что соответствовало III классу чистоты — «умеренно загрязненные» воды. В июле он несколько увеличился (до 1,7–2,3) и оставался практически в тех же пределах в октябре (1,9–2,3), т. е. вода соответствовала III классу чистоты. В мае–октябре 2014 г. качество воды в р. Селенге и протоках в основном соответствовало разряду «умеренно загрязненные» воды III класса чистоты, на отдельных участках приближаясь к IV классу.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности водного режима дельты Селенги в течение последних 20 лет характеризовались низкой водностью, что определило изменение условий формирования качества вод и жизнедеятельности гидробионтов как в самой реке, так и в дельтовых протоках. Результаты исследований 2013–2015 гг. свидетельствуют об определенных сдвигах в экосистеме Селенги и ее дельты. В первую очередь снижение водности повлияло на состояние малых проток, наиболее существенные изменения произошли в устье протоки Колпинной. Если зимой 2001 г. здесь наблюдались дефицит растворенного кислорода, высокое содержание легкогидролизуемого органического вещества и низкое качество воды, то к 2015 г. произошло зарастание и заболачивание.

Повышение концентраций главных ионов в условиях маловодья отмечено как в р. Селенге, так и в протоках, особенно малых. Следует отметить, что газовый режим в Селенге и крупных протоках подо льдом всегда был благоприятным для жизни гидробионтов, включая омуля (содержание кислорода не опускалось ниже 6 мг/л). Однако в последние годы наблюдается тенденция снижения его концентраций, что способствует ухудшению качества воды и условий обитания биоты.

Об изменении экологической ситуации в дельте свидетельствуют постепенные перемены в видовом составе фитопланктона, обусловленные повышенным содержанием биогенных элементов и ЛОВ при низкой водности. Так, в протоке Колпинной к 2013 г. доминирующим видом стали криптофитовые водоросли, что свидетельствует о низком качестве воды, а диатомовые водоросли, ранее занимавшие до 1,5 % в составе планктона, отсутствовали. Очевидно, что подобная трансформация фитопланктона при продолжении маловодья может ожидать и другие малые протоки (Средняя, Северная) и озера дельты, где в настоящее время регистрируется массовое развитие водорослей, в составе которых все большую часть занимают характерные для эвтрофных, загрязненных водоемов представители.

Снижение транспортирующей способности потока при низких расходах воды способствует оседанию в нижнем течении реки и протоках взвешенных веществ, обогащенных биогенными элементами и органическими соединениями. Впоследствии при повышении водности осаждаемые ингредиенты будут выноситься потоком и снижать качество воды в протоках дельты и оз. Байкал.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Лимнологического института СО РАН № 0345–2014–0007 (№ гос. рег. 01201353446).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. Н. Эти изменчивые речные дельты // Природа. — 2002. — № 4. — С. 43–49.
2. Горбунов К. В. Водоемы дельты Волги, их облик, режим и эволюция // Волга-1. Проблемы изучения и рационального использования биологических ресурсов водоемов. — Куйбышев: Куйбышев. кн. изд-во. — 1971. — С. 74–81.
3. 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 // Водные ресурсы. — 2009. — № 4. — С. 465–474.



4. **Синюкович В. Н., Жарикова Н. Г., Жариков В. Д.** Сток реки Селенги в ее дельте // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 3. — С. 64–69.
5. **Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Дрюккер В. В., Потёмкина Т. Г., Нецветова О. Г., Афанасьев В. А.** Экологические особенности реки Селенги в условиях наводнения // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 4. — С. 64–71.
6. **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.
7. **Синюкович В. М., Сороковикова Л. М., Томберг И. В., Тулохонов А. К.** Изменение климата и химический сток реки Селенги // Докл. РАН. — 2010. — № 6. — С. 817–821.
8. **Томберг И. В., Сороковикова Л. М., Поповская Г. И., Башенхаева Н. В., Синюкович В. Н., Иванов В. Г.** Динамика концентраций биогенных элементов и фитопланктона в устье р. Селенги и на Селенгинском мелководье (оз. Байкал) // Водные ресурсы. — 2014. — № 6. — С. 596–605.
9. **Барам Г. И., Верещагин А. Л., Голобокова Л. П.** Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Аналит. химия. — 1999. — Т. 54, № 9. — С. 962–965.
10. **Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши** / Ред. Л. В. Боева. — Ростов-на-Дону: НОК, 2009. — Ч. 1. — 1045 с.
11. **Wetzel R. G., Likens G. E.** Limnological Analyses. — New York: Springer-Verlag, 1991. — 391 p.
12. **Кожова О. М., Мельник Н. Г.** Инструкция по обработке проб планктона счетным методом. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1978. — 51 с.
13. **Синюкович В. Н.** Водный баланс бассейна реки Селенги // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 1. — С. 72–75.
14. **Поповская Г. И., Ташлыкова Н. А.** Фитопланктон реки Селенги // Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 2008. — С. 167–182.
15. **Айнбунд М. М., Давтян Н. А., Судольский А. С., Фиалков В. А.** Исследование динамики устьев рек и придельтовых частей водоемов на примере р. Селенги и оз. Байкал // Труды IV Всесоюз. гидрол. съезда. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — Т. 5. — С. 356–365.
16. **Хендерсон-Селерс В.** Инженерная лимнология. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 335 с.
17. **Перечень** рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: Изд-во Всерос. науч.-исслед. ин-та рыбн. хоз-ва и океаногр., 2010. — 304 с.
18. **Поповская Г. И., Сороковикова Л. М., Томберг И. В., Башенхаева Н. В., Ташлыкова Н. А.** Особенности химического состава воды и развитие фитопланктона в озере Заверняиха // География и природ. ресурсы. — 2011. — № 4. — С. 68–74.

*Поступила в редакцию 29 августа 2016 г.*