

## ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 556.531.4 (282.256.341)

Л. М. СОРОКОВИКОВА, В. Н. СИНЮКОВИЧ, И. В. ТОМБЕРГ,  
И. И. МАРИНАЙТЕ, Т. В. ХОДЖЕР

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИТОКОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

*На основе гидрохимических исследований 2010–2012 гг. и с учетом более ранних данных оценивается современное состояние качества вод основных притоков оз. Байкал. Анализируются наблюдаемые изменения химического состава воды под действием природных и антропогенных факторов. Показано, что снижение качества вод р. Селенги обусловлено поступлением сточных вод, а небольших притоков Южного Байкала — загрязнением атмосферных осадков.*

Ключевые слова: химический состав, качество вод, речной сток, нефтепродукты, биогенные элементы, ПАУ.

*On the basis of hydrochemical investigations from 2010–2012 and with due regard for earlier data, we assess the present status of water quality for the main tributary streams of Lake Baikal. An analysis is made of the observed changes in the chemical composition of water induced by natural and anthropogenic factors. It is shown that the deterioration of the water quality in the Selenga river and in the small tributaries of South Baikal, is caused by wastewater discharges and by pollution of atmospheric precipitation, respectively.*

Keywords: chemical composition, water quality, streamflow, petroleum products, biogenic elements, PAHs.

#### ВВЕДЕНИЕ

Изменение природных условий территории и повышение антропогенной нагрузки сопровождаются трансформацией различных внутриводоемных процессов (водного, термического и гидрохимического режимов, транспорта наносов и др.) в водных объектах и в основном негативно отражаются на качестве поверхностных вод. В конце XX в. поступление загрязняющих веществ в притоки оз. Байкал сократилось в связи со спадом промышленного производства [1]. Уменьшению поступления отдельных компонентов в озеро способствовало также снижение общей увлажненности на значительной части водосбора озера [2]. Исключение составляют северные районы байкальского бассейна, где в результате деградации многолетней мерзлоты отмечается рост водного и химического стока рек.

Цель данной работы состоит в анализе современного химического состава вод основных рек в бассейне оз. Байкал и оценке их качества по химическим показателям.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2010–2012 гг. авторами выполнены наиболее полные с конца XX в. гидрохимические исследования основных притоков оз. Байкал. Селенга, включая основные притоки и протоки дельты, обследовалась от границы с Монголией до впадения в Байкал; Верхняя Ангара и Баргузин — от устья на 100–120 км вверх по течению. Пробы воды отбирались также в устьях основных притоков Южного Байкала, стекающих с хр. Хамар-Дабан (Снежная, Утулик, Хара-Мурин, Переемная, Солзан), и главных притоков Северного Байкала (Кичера, Рель, Тья). Схема перечисленных водотоков, на которых для анализов было отобрано 294 пробы воды, приведена на рис. 1.

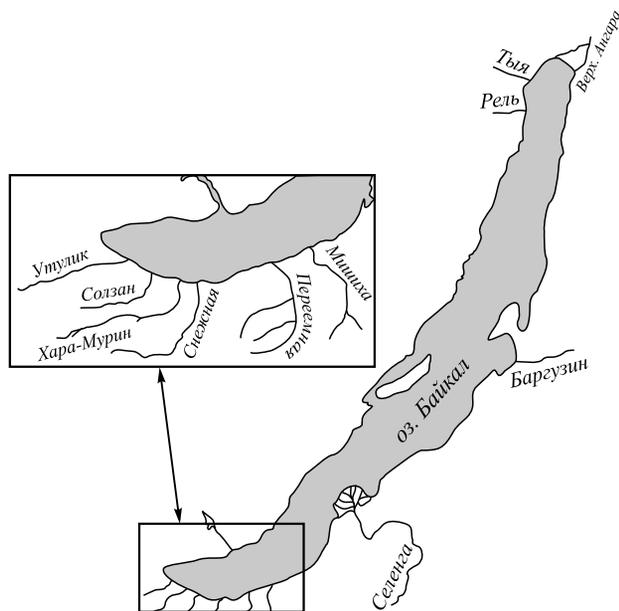


Рис. 1. Общая схема расположения рассматриваемых притоков оз. Байкал. На врезке — притоки Южного Байкала.

Водность исследуемых рек оценивалась по данным Росгидромета. Для оценки происходящих колебаний речного стока параметры его изменчивости приводились к одному расчетному периоду, в качестве которого принят промежуток с 1959 по 2010 г., включающий два полных цикла водности.

Определение катионов выполнено атомно-абсорбционным и пламенно-эмиссионным методами; анионов — методом ВЭЖХ [3, 4]. Достоверность полученных результатов контролировалась по величине ошибки ионного баланса и путем сравнения рассчитанной и измеренной удельной электропроводности [5]. Содержание биогенных элементов определялось колориметрическими методами [4], концентрация полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) — методом хромато-масс-спектрометрии [6]. Количественное определение отдельных ПАУ (фенантрена d10, хризена d12 и перилена d12) проводилось с применением стандартов фирмы Supelco (США).

Полученные данные сопоставлялись с результатами гидрохимических исследований притоков оз. Байкал, выполненных в середине XX в. [7] и в последующие годы [1, 8, 9]. Постоянное местоположение пунктов наблюдений в разное время повышает достоверность полученных оценок химического состава речных вод и прогноза его изменения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Гидрологические условия.** Изменение климата на Байкале, связанное с глобальным потеплением, усилившимся с начала 1970-х гг., отразилось на динамике гидрологических процессов в его бассейне [2, 10]. Сопоставление некоторых характеристик стока главных рек и общего притока воды в озеро показывает, что в расчетный период происходило общее снижение притока со скоростью около  $1 \text{ км}^3$  за 10 лет, а с начала потепления — до  $12 \text{ км}^3$  за 10 лет.

В 1996–2012 гг. приток в озеро в среднем был на 8 % ниже нормы (табл. 1). При этом сток Селенги, главного притока озера, сократился на 23 %, и только благодаря росту стока других байкальских рек, в первую очередь Верхней Ангары, снижение суммарного поступления речных вод с бассейна озера было не столь критичным.

Оценка межгодовых колебаний стока других рек показывает, что статистически значимые долговременные тенденции снижения или повышения их водности отсутствуют (достоверность соответствующих трендов ниже 5%-го уровня значимости).

Помимо межгодовой изменчивости притока воды в оз. Байкал и водности отдельных рек, потепление отразилось и на внутригодовом распределении стока. Повышение температуры воздуха и вытаивание льда в деградирующих многолетнемерзлых породах ведет к увеличению запасов подземных вод и речного стока, особенно в зимнее время. За период потепления среднемеженный (ноябрь–март) сток Верхней Ангары увеличился приблизительно на  $6,3 \text{ м}^3/\text{с}$  (8,1 %), а Селенги — на  $20 \text{ м}^3/\text{с}$  (13 %). Однако в последние годы на Селенге он заметно снизился в связи с уменьшением влагонасыщения деятельного слоя и запасов подземных вод из-за общего падения увлажнения в ее бассейне. В Кабанске, например, сокращение годовых сумм осадков со второй половины XX в. составило 49 мм [2].

Таблица 1

Сток главных рек бассейна оз. Байкал и притока в него в разные периоды,  $\text{км}^3/\text{год}$

Сток	Селенга	Верхняя Ангара	Баргузин	Общий приток
Средне-многолетний	28,0	8,66	4,00	63,5
1971–2012 гг.	26,5	8,82	4,05	62,8
1996–2012 гг.	21,7	9,44	4,06	58,5

Для притоков Южного Байкала тенденции роста зимнего стока также достаточно неустойчивы и прерываются годами с пониженным зимним стоком. Например, зимний расход воды р. Снежной был особенно повышенным в 1993–2001 гг., а в 2002–2005 гг. ее сток, наоборот, был минимальным за весь период наблюдений. Только для р. Хара-Мурин сток первого квартала (январь–март) характеризуется постоянным повышением с уровнем значимости выше 1 %, что отмечалось и ранее [11]. Одновременно с увеличением водности зимних месяцев можно говорить о некотором снижении стока рек в теплое время года.

Все отмеченные изменения стока рек бассейна оз. Байкал сопровождаются трансформацией и других характеристик речных вод, в том числе содержания в них растворенных и взвешенных веществ, поступающих в озеро. На примере р. Селенги видно [2], что снижение выноса рекой растворенного вещества особенно заметно проявляется в периоды исключительно низкой водности, несмотря на общий рост минерализации ее вод. Уменьшение химического стока в Байкал с водами притоков может вызвать дефицит отдельных элементов в его экосистеме. При недостатке биогенных элементов в течение продолжительного времени будет снижаться по крайней мере интенсивность продукционных процессов в прибрежной зоне, где в основном распространяются воды притоков.

**Минерализация и главные ионы.** В бассейне оз. Байкал практически не отмечается превышения нормативов [12] по величине минерализации речных вод и содержанию в них главных ионов (табл. 2, 3), однако пространственно-временные колебания этих показателей достаточно существенны и требуют подробного рассмотрения.

Таблица 2

Пределы концентраций главных ионов (мг/дм<sup>3</sup>) в воде притоков Северного Байкала, 2012 г.

Река	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σи
Верхняя Ангара								
выше устья р. Янчуй*	0,9	0,14	4,0	0,4	0,05	1,4	5,9	10,7
выше устья р. Кичеры	0,7–5,4	0,43–0,87	5,9–17,6	0,91–3,3	0,13–0,43	4,2–10,2	23,5–74,1	35,9–111,8
устье (Кичерская прорва)	1,2–3,7	0,37–0,91	9,6–16,9	1,6–2,9	0,07–0,32	5,5–8,0	32,94–69,54	51,3–102,3
Холодная	0,5–1,1	0,26–0,59	6,4–14,4	1,12–2,6	0,01–0,16	4,5–10,1	10,3–47,5	23,0–76,4
Кичера	0,8–1,9	0,36–0,70	3,2–6,7	0,51–0,9	0,04–0,20	5,0–5,5	16,5–25,2	28,5–40,5
Тыя	0,5–1,4	0,47–1,25	5,6–17,8	1,5–5,5	0,05–0,88	4,3–9,2	21,4–75,9	34–111,9
Рель	0,5–4,4	0,25–1,92	1,8–8,7	0,1–0,4	0,16–0,30	1,3–4,6	3,2–36,6	7,3–12,6
Янчуй*	0,8	0,24	3,96	0,45	0,11	1,9	13,8	21,3
Гонкули*	1,2	0,52	27,9	8,9	0,04	12,4	113,5	164,4
Катера*	0,7	0,44	15,1	1,6	0,03	10,4	4,7	70,0
ПДК [12]**	200	–	–	–	350	500	–	1000

\* Пробы отобраны в июле.

\*\* Для нецентрализованного водоснабжения.

Таблица 3

Пределы концентраций главных ионов (мг/дм<sup>3</sup>) в воде рек бассейна Баргузина и притоков Южного Байкала, 2011 г.

Река	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σи
Баргузин								
выше устья р. Аргады	1,1–5,0	0,66–1,39	25,0–36,7	1,2–3,1	0,11–0,49	10,0–15,1	73,2–124,41	115,0–181,7
устье	2,3–5,2	0,73–1,2	16,7–28,4	1,8–2,8	0,48–1,46	7,5–11,6	60,0–98,8	92,8–148,0
Улюн*	0,93	1,44	30,3	1,4	0,11	20,2	76,9	131,2
Алла*	0,53	1,19	23,9	0,9	0,13	15,5	59,8	102,0
Аргада	1,9–4,9	0,84–2,22	10,6–57,2	2,1–10,4	0,14–0,51	4,0–7,6	43,3–268,4	62,9–347,7
Ина	0,8–2,9	0,45–0,95	6,45–21,4	1,6–5,8	0,13–0,46	4,6–22,4	32,6–76,9	49,4–130,5
Утулик	1,1–2,8	1,30–2,70	8,2–20,2	1,8–5,7	0,08–0,31	9,7–37,1	25,7–59,4	47,9–127,5
Солзан	0,7–1,2	1,53–2,14	5,3–20,2	1,1–2,1	0,09–0,31	4,8–37,1	18,2–34,4	32,0–61,4
Хара-Мурин	0,9–2,3	0,77–0,96	3,3–8,0	0,8–1,8	0,11–0,29	4,8–12,6	10,4–24,4	21,1–48,8
Снежная	0,8–1,3	0,68–0,83	6,4–15,3	0,9–1,8	0,09–0,27	5,5–11,6	19,0–46,7	33,4–77,7
Переменная	0,8–1,3	0,53–0,75	2,9–6,1	0,5–0,9	0,04–0,33	6,3–14,5	6,1–10,1	17,4–33,1
ПДК [12]	200	–	–	–	350	500	–	1000

\* Пробы отобраны в июле.

Результаты исследований 2010–2012 гг. показывают, что химический состав вод Селенги в сравнении с 1950–1960 гг. [7] претерпел заметные изменения на всем протяжении реки. Сумма ионов ( $\Sigma$ и) в реке ниже российско-монгольской границы (пос. Наушки) в зависимости от водности изменялась от 142 до 262 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2, а). В нижнем течении в результате поступления менее минерализованных вод притоков, за исключением вод р. Джиды (181–273 мг/дм<sup>3</sup>),  $\Sigma$ и снижалась до 91–189 мг/дм<sup>3</sup>. В межгодовом аспекте концентрация главных ионов и их сумма в 2012 г. были ниже, чем в 2001–2005 гг. [1], вследствие более высокой водности. Для селенгинских вод заметен рост содержания сульфатов, которое в значительной степени зависит от уровня антропогенной нагрузки. В нижнем течении реки его максимальные значения были отмечены в 1970–1980 гг., с последующим снижением в 1990-е гг. из-за спада промышленного производства в Байкальском регионе [1]. Рост концентрации сульфатов в последние годы, особенно в зимний период, связан с увеличением доли подземного питания реки в условиях пониженной водности, а также с активизацией хозяйственной деятельности, главным образом в Монголии. В водах, поступающих с территории Монголии, содержание сульфатов

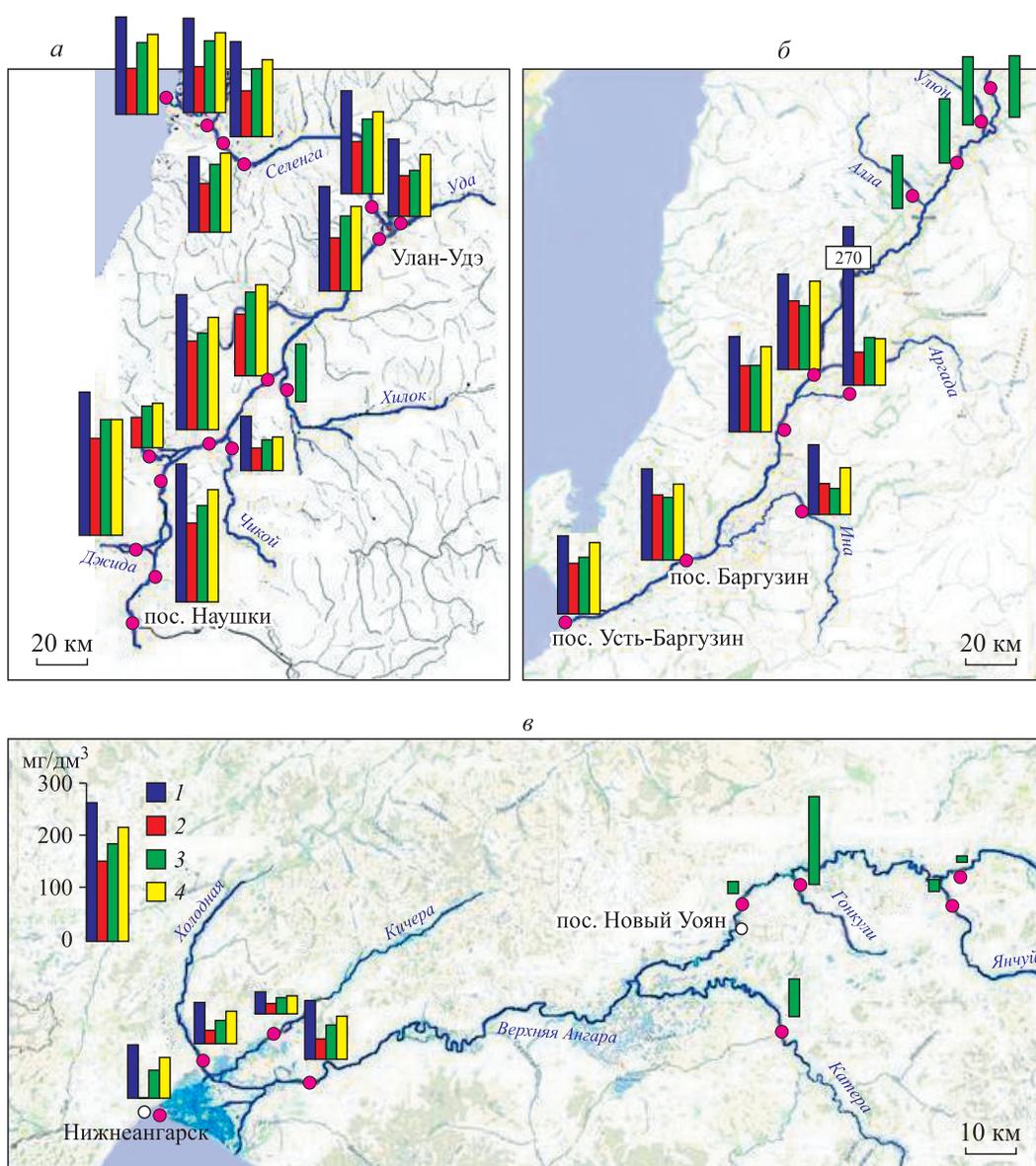


Рис. 2. Изменение суммы ионов в воде Селенги (а), Баргузина (б) и Верхней Ангары (в) в 2010–2012 гг. 1 — март, 2 — июнь, 3 — июль, 4 — сентябрь.

и хлоридов возросло в два раза [13]. В сравнении с серединой XX в. диапазон современных концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  в воде Селенги увеличился от 6,2–8,6 [7] до 7,6–18,7 мг/дм<sup>3</sup>.

По относительному содержанию главных ионов воды Селенги и ее притоков на всем протяжении относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. В многолетнем аспекте относительный состав ионов в речных водах остается достаточно стабильным [1, 7, 8]. Минерализация воды и концентрация главных ионов в воде Селенги и ее притоков не превышают норм ПДК [12] для водотоков, используемых в целях рекреации и нецентрализованного водоснабжения.

Анализ концентрации ионов и их суммы в воде Верхней Ангары, второго по водоносности притока оз. Байкал, а также ее притоков свидетельствует о значительно меньшей изменчивости абсолютных концентраций главных ионов в многолетнем аспекте. В течение 2012 г. сумма ионов изменялась от 10,7 до 111,8 мг/дм<sup>3</sup> (см. рис. 2, в) с максимумом в зимний период и минимумом во время половодья. По длине реки наименьшие концентрация ионов и их сумма наблюдались в ее верхнем течении (см. табл. 2). Так, в июле в воде Верхней Ангары, на участке выше впадения р. Янчуй, Σи составляла 10,7 мг/дм<sup>3</sup>, увеличиваясь на отрезке перед впадением Кичеры за счет более минерализованных вод притоков до 64,4 мг/дм<sup>3</sup>, а к устью под влиянием вод Кичеры вновь снижаясь до 51,3 мг/дм<sup>3</sup>.

Реки Рель и Тья, также впадающие в Северный Байкал, отличаются низкими концентрациями главных ионов. В соответствии с изменениями водного стока их минимальные значения характерны для периода половодья, или высоких летних паводков. По относительному содержанию главных ионов воды Верхней Ангары, ее притоков, а также Рели и Тьи относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция.

В воде р. Баргузин и его притоков концентрация главных ионов и их суммарное содержание в многолетнем аспекте также изменились незначительно, за исключением концентрации сульфатов, повышение которой отмечается с середины XX в. [1, 7]. В сезонном аспекте максимальная концентрация ионов отмечена в зимнюю межень (см. рис. 2, б). По длине реки наиболее высокие их величины регистрируются в верховье, снижаясь вниз по течению в результате разбавления водами притоков. Эту картину не нарушает и р. Аргада, в воде которой сумма ионов зимой повышается до 347 мг/дм<sup>3</sup>, но водный сток в это время очень низкий. Пределы колебаний концентрации ионов в воде Баргузина и его притоков (см. табл. 3) отражают характер формирования химического состава вод, внутригодовые изменения которого, как и в других реках, определяются сезонной динамикой водного стока. По составу главных ионов воды Баргузина и его притоков относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция.

Реки Южного Байкала (Снежная, Утулик, Хара-Мурин, Солзан и Переемная) вследствие значительных высот их бассейнов и повышенной увлажненности отличаются, как и притоки Северного Байкала, низкой минерализацией (см. табл. 3). Минимальная концентрация ионов отмечена в воде р. Переемной.

Водосборы рассматриваемых рек на протяжении многих десятилетий находились в зоне влияния промвыбросов Байкальского целлюлозно-бумажного комбината и регионального переноса от Ангаро-Черемховского промышленного комплекса, оказывающих негативное воздействие на химический состав атмосферных осадков и, как следствие, речных вод [9]. Под влиянием кислых атмосферных осадков в реках Хара-Мурин и Переемная, имеющих крайне низкую буферную емкость, снизилась устойчивость вод к закислению [9]. По составу ионов значительную часть года вода этих двух рек относится к сульфатному классу, группе кальция. Воды рек Солзан, Утулик и Снежная, имеющие более высокую буферную емкость и более устойчивые к закислению, относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. В сравнении с 1950–1960 гг. под воздействием антропогенных факторов в воде притоков Южного Байкала в относительном составе главных ионов увеличилось содержание сульфатов. Концентрация нормируемых компонентов в воде притоков Южного Байкала не превышает ПДК [12] для водных объектов нецентрализованного водоснабжения и рекреационного использования.

**Биогенные элементы.** Качество природных вод и экологическое состояние водных объектов в значительной степени зависят от содержания в них биогенных элементов и органических веществ. Наиболее важным показателем является концентрация различных форм азота и фосфора, способствующих интенсификации развития фитопланктона, продуцированию легкогидролизуемого органического вещества и эвтрофикации водных объектов [14]. В притоках Байкала содержание биогенных элементов и органических веществ зависит от природных условий их бассейнов, уровня антропогенной нагрузки и потому существенно различается (табл. 4).

Таблица 4

## Пределы изменения концентраций биогенных элементов в воде главных притоков оз. Байкал

Компоненты	Селенга	Верхняя Ангара	Баргузин
O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	4,9–12,1	7,6–12,6	5,7–12,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,02–0,38	0,01–0,29	0,03–0,32
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0–0,004	0–0,005	0–0,002
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup>	0,02–0,40	0,02–0,27	0,03–0,21
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мкг P/дм <sup>3</sup>	2–40	0–9	2–25
P <sub>общ</sub> , мкг P/дм <sup>3</sup>	18–346	9–23	12–181
БО, мг O/дм <sup>3</sup>	5,4–18,5	3,6–14,4	2,3–32,3

Максимальная концентрация биогенных элементов наблюдается в воде Селенги, в бассейне которой наиболее развиты промышленность и сельское хозяйство; минимальная — в воде Верхней Ангары и ее притоков вследствие малой освоенности бассейнов этих рек. Сезонная динамика концентрации биогенных элементов в основном определяется изменениями водного стока и интенсивностью развития планктона. Повышенные концентрации аммонийного азота и органических веществ характерны для периода половодья и паводка; пониженные — для зимнего времени, когда отсутствует поверхностный сток с водосбора. И наоборот, максимальные концентрации нитратного азота и минерального фосфора регистрируются зимой, минимальные — во время летней межени.

Согласно экологической классификации [15] и нормам СанПиН, вода Селенги по содержанию биогенных элементов и органических веществ в основном соответствует разрядам «вполне чистая» и «достаточно чистая». Исключение составляет приграничный участок Селенги (ниже пос. Наушки), где концентрация общего фосфора в 2010 г. достигала значений, характерных для сильно загрязненных эвтрофных водотоков.

Увеличенное содержание биогенных элементов в реке в течение всего года наблюдается и ниже Улан-Удэ, включая протоки дельты. Тем не менее оно не превышает норм ПДК для водотоков рекреационного назначения. Однако в условиях низкой водности уровень развития фитопланктона в нижнем течении Селенги и протоках ее дельты достигает величин, характерных для высокоэвтрофных водоемов [16].

Воды Верхней Ангары, ее притоков и других рек Северного Байкала по содержанию биогенных элементов (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) соответствуют разрядам «очень чистая» и «вполне чистая». Среди притоков Верхней Ангары качество воды «слабо загрязненная» имеет р. Катера, где содержание соединений азота достигало 0,54 мг N/дм<sup>3</sup>, из которых 0,39 мг N/дм<sup>3</sup> приходилось на NH<sub>4</sub>. В реках Тья и Рель концентрация NO<sub>3</sub><sup>-</sup> составляла 0,27 и 0,72 мг N/дм<sup>3</sup> соответственно, а содержание минерального фосфора было на уровне 1 мкг P/дм<sup>3</sup>. Наблюдаемая концентрация биогенных элементов в притоках Северного Байкала не превышала норм ПДК для водотоков рекреационного назначения [12].

Качество вод Баргузина и его притоков по содержанию биогенов изменялось от разряда «вполне чистая» до «загрязненная», ухудшение качества воды в основном регистрируется в низовьях реки. Из притоков Баргузина наиболее чистая вода отмечена в р. Улюн, а загрязненная — в р. Аргаде, особенно в зимнее время, что обусловлено крайне низкой концентрацией растворенного в воде кислорода (до 0,30 мг/дм<sup>3</sup>), угрожающей заморами и гибелью гидробионтов. В этот период вода в Аргаде соответствовала разряду «предельно грязная».

В воде притоков Южного Байкала концентрации фосфора и аммонийного азота в основном регистрируются на уровне чувствительности метода, тогда как содержание нитратного азота колеблется в пределах 0,22–1,39 мг N/дм<sup>3</sup> с максимумом в воде Утулика. В соответствии с классификацией [15], воды исследованных притоков, кроме р. Утулик, по содержанию нитратного азота относятся к категории «достаточно чистые». Несмотря на качество воды Утулика от «умеренно-загрязненной» до «сильно загрязненной», концентрация азота не превышала норм ПДК [12] для водотоков рекреационного назначения.

Содержание растворенного кислорода в воде всех исследованных рек благоприятно для жизни гидробионтов, за исключением Аргады в зимний период.

**Нефтепродукты и полициклические ароматические углеводороды.** Наиболее распространенные и опасные экотоксиканты в водных объектах — сложные органические соединения: нефтепродукты и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Для водоемов рыбохозяйственного назначения ПДК нефтепродуктов составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, а для питьевого — 0,1 мг/дм<sup>3</sup> [17].

Концентрация нефтепродуктов в воде Селенги в период исследований изменялась от 0,004 до 0,095 мг/дм<sup>3</sup>, Верхней Ангары — от 0,004 до 0,018 мг/дм<sup>3</sup>, Баргузина — от 0,005 до 0,026 мг/дм<sup>3</sup>. В сезонном аспекте более высокая концентрация нефтепродуктов характерна для периода половодья, что связано с поступлением их с водосбора с тальми водами. Повышенное содержание нефтепродуктов чаще всего наблюдается в районе населенных пунктов. Превышение ПДК нефтепродуктов для

водоемов рыбохозяйственного назначения в 1,5–2 раза регулярно отмечалось в нижнем течении Селенги и протоках ее дельты. Тем не менее среднегодовая концентрация нефтепродуктов в воде Селенги в 2010 г. была ниже таковой в 1984–1988 гг. В районе пос. Наушки ранее она достигала 0,10–0,26 мг/дм<sup>3</sup>, выше Улан-Удэ — 0,04–0,10 мг/дм<sup>3</sup>, ниже Улан-Удэ — 0,06–0,08 мг/дм<sup>3</sup>, ниже Кабанска — 0,04–0,17 мг/дм<sup>3</sup> [18].

Нормирование природных вод по содержанию отдельных ПАУ в России разработано только для бенз[а]пирена [12], тогда как Европейским агентством по окружающей среде контролируется суммарное содержание шести ПАУ в питьевых водах (бенз[а]пирен, бенз[б]флуорантен, бенз[к]флуорантен, бенз[g,h,i]перилен, индено[1,2,3-с,d]пирен, флуорантен) [19, 20]. В притоках Байкала нами определялась концентрация 12 ПАУ, суммарное содержание которых в воде Селенги в течение года изменялось от 1 до 650 нг/дм<sup>3</sup>, Верхней Ангары — от 10 до 156 нг/дм<sup>3</sup>, Баргузина — от 7 до 415 нг/дм<sup>3</sup> (рис. 3).

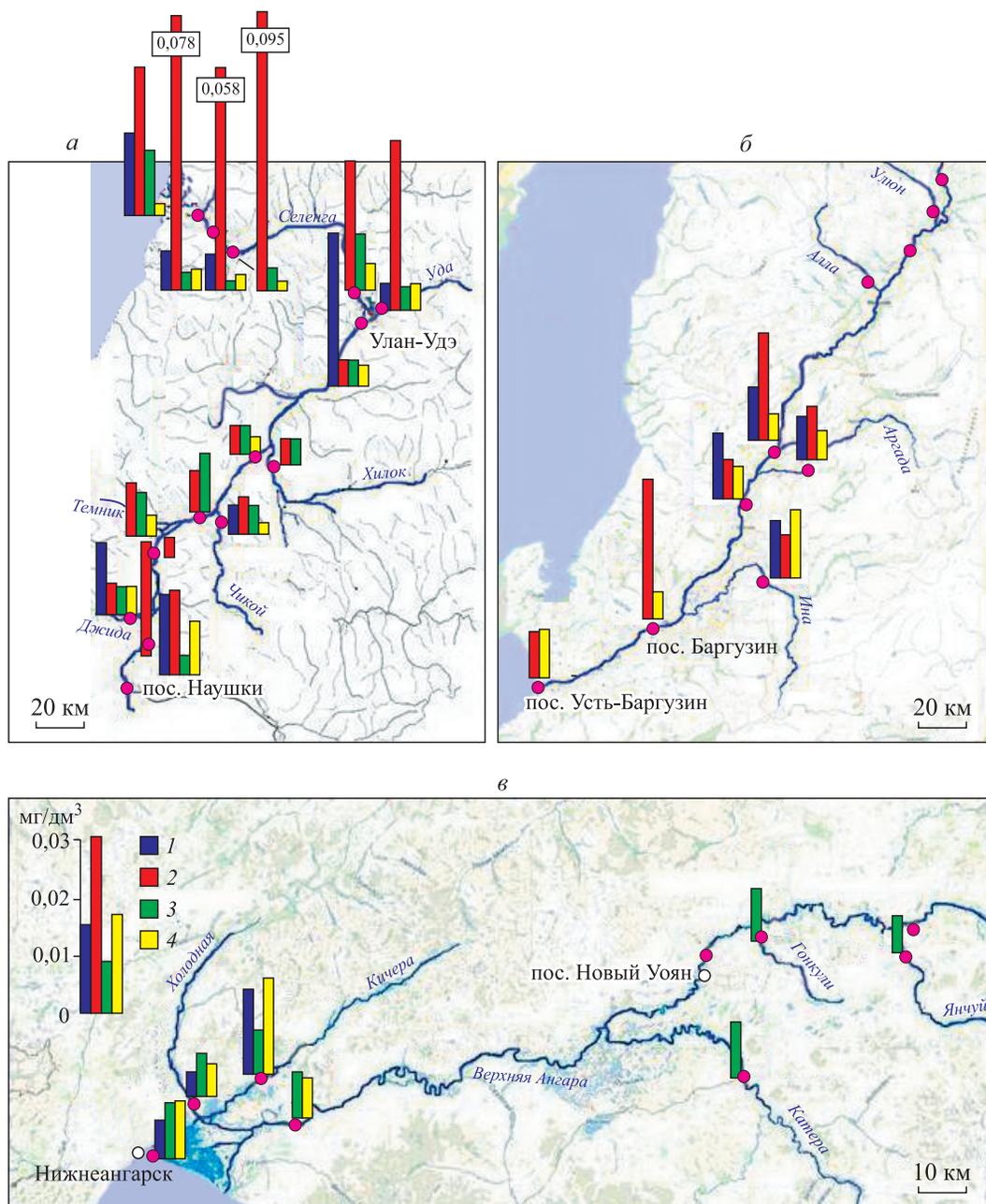


Рис. 3. Содержание ПАУ в воде Селенги (а), Баргузина (б) и Верхней Ангары (в) в 2010–2012 гг. 1 – март, 2 – июнь, 3 – июль, 4 – сентябрь.

Состав ПАУ в течение года заметно различался. Наиболее высокое содержание 12 индивидуальных соединений ПАУ и их суммы приходилось на период открытого русла. В мае и сентябре основной вклад в их сумму (до 90 %) вносили тяжелые углеводороды с пятью и шестью бензольными кольцами (бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, индено[1,2,3-с,d]пирен, бенз[g,h,i]перилен, дибенз[a,h]антрацен). Концентрация бенз[a]пирена в воде Селенги в мае и сентябре колебалась от 0,5 до 50 нг/дм<sup>3</sup>, составляя до 6–15 % от суммы 12 ПАУ и превышая ПДК для водоемов нецентрализованного водоснабжения (5 нг/дм<sup>3</sup>) в 2 и 2,5 раза. Суммарное содержание шести ПАУ в воде Селенги в 2010 г. составляло 211 нг/дм<sup>3</sup> весной и 514 нг/дм<sup>3</sup> осенью. В соответствии с европейскими стандартами, их сумма в нижнем течении реки осенью превышала ПДК (200 нг/дм<sup>3</sup>) для природных вод более чем в два раза. На приграничном участке реки (пос. Наушки) концентрация ПАУ была еще выше, что, вероятно, связано с их поступлением с территории Монголии, где развивается кожевенная промышленность — один из источников ПАУ в составе сточных вод [21].

В остальных исследованных реках бассейна Байкала наблюдалось лишь эпизодическое превышение ПДК ПАУ. Для Верхней Ангары таких случаев нами отмечено не было, а для Баргузина превышение нормативов [12] в два раза по бенз[a]пирену регистрировалось в мае 2011 г. на участке выше впадения Аргады. На притоках Южного Байкала такие ситуации могут иметь место во время лесных пожаров, при которых содержание бенз[a]пирена, например в воде р. Снежной, превышало ПДК [12] более чем в 5 раз [22], а суммарное содержание шести ПАУ (500 нг/дм<sup>3</sup>) — в 2,5 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показал, что из исследованных притоков Байкала наиболее низким качеством вод по гидрохимическим показателям отличается Селенга, в бассейне которой сосредоточено большинство населенных пунктов и промышленных предприятий. По суммарному содержанию главных ионов селенгинские воды соответствуют нормативным требованиям для различных видов водопользования, однако концентрация нефтепродуктов и ПАУ периодически превышает ПДК, обуславливая низкое качество воды и ограничивая возможность ее использования для нецентрализованного водоснабжения, а также в рекреационных и рыбохозяйственных целях. Сказанное в значительно меньшей степени может быть отнесено к водам Верхней Ангары и Баргузина, в которых загрязнение в основном проявляется в нижнем течении. Однако повышенная концентрация биогенных элементов в воде Селенги и Баргузина способствует массовому развитию водорослей и эвтрофикации водотоков, что также приводит к снижению качества вод и ограничивает возможности их использования.

Основная проблема качества вод притоков Южного Байкала с крайне низкой минерализацией (Переменная, Хара-Мурин) — их закисление, что обусловлено загрязнением выпадающих здесь атмосферных осадков. При лесных пожарах количество ПАУ в воде этих рек может значительно возрастать, превышая ПДК по бенз[a]пирену. Вода небольших притоков Северного Байкала в основном соответствует категории «вполне чистая» и может использоваться в различных целях.

*Работа выполнена по программе VIII.76.1 в рамках приоритетного направления VIII.76.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
2. **Синюкович В. Н., Сороковикова Л. М., Томберг И. В., Тулоханов А. К.** Изменение климата и химический сток реки Селенги // Докл. РАН. — 2010. — № 6. — С. 817–821.
3. **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.
4. **Руководство** по химическому анализу поверхностных вод суши / Ред. Л. В. Боева. — Ростов н/Д, 2009. — 1150 с.
5. **Technical manual for wet deposition monitoring in East Asia** — 2010. — Network Center for EANET. — November, 2010. — 29 p.

6. Gorshkov A. G., Marinaite I. I., Zhamsueva G. S. et al. Benzopyrene isomer ratio in organic reaction of aerosols over water surface of Lake Baikal // Journ. Aerosol Sci. — 2004. — Vol. 2. — P. 1059–1060.
7. Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965. — 495 с.
8. Обожин В. Н., Богданов В. Т., Кликунова О. Ф. Гидрохимия рек и озер Бурятии. — Новосибирск: Наука, 1984. — 152 с.
9. Сороковикова Л. М., Нецветаева О. Г., Томберг И. В. и др. Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. — 2004. — Т. 17, № 5–6. — С. 423–427.
10. Шимараев М. Н., Куимова Л. Н., Синокович В. Н., Цехановский В. В. О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии // Докл. РАН. — 2002. — Т. 383. — С. 397–400.
11. Латышева И. В., Синокович В. Н., Чумакова Е. В. Современные особенности гидрометеорологического режима южного побережья оз. Байкал // Изв. Иркут. ун-та. Сер. Науки о Земле. — 2009. — № 2. — С. 117–133.
12. Вода. Гигиенические санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения. — М.: ИнтерСЭН, 2004. — 754 с.
13. Сороковикова Л. М., Поповская Г. И., Томберг И. В. и др. Качество воды р. Селенги на границе с Монголией в начале XXI в. // Метеорология и гидрология. — 2013. — № 2. — С. 93–103.
14. Петрова Н. А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер. — Л.: Наука, 1990. — 197 с.
15. Жукинский В. Н., Окснюк О. П., Олейник Г. Н., Кошелев С. И. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2. — С. 38–49.
16. Поповская Г. И., Ташлыкова Н. А. Фитопланктон р. Селенги // Дельта реки Селенги — естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 2008. — С. 167–182.
17. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. — М.: Изд. ВНИРО, 2010. — 304 с.
18. Шандибаева Э. Ф., Однопальев В. В., Татарников В. К. Динамика загрязненности воды р. Селенги (в пределах СССР) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Совершенствование регионального мониторинга состояния озера Байкал. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — С. 212–219.
19. Keith L. H. Organic pollutants in water: identification and analysis // Environmental Sci. Technol. — 1981. — Vol. 15. — P. 156–162.
20. Директива 98/83/ЕС Совета Европейского союза «О качестве воды, предназначенной для потребления людьми» от 29 сентября 2003 г. [Электронный ресурс]. — <http://old.aquaexpert.ru/analitics/?t=2&id=21> (дата обращения 25.06.2014).
21. Li J., Shang X., Zhao Zh. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water, sediment, soil, and plants of the Aojiang River waterway in Wenzhou, China // Journ. Hazardous Materials. — 2010. — Vol. 173. — P. 75–81.
22. Маринайте И. И. Полициклические ароматические углеводороды в воде притоков Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. — 2006. — Т. 19, № 6. — С. 499–503.

*Поступила в редакцию 25 июля 2014 г.*