

ПРОБЛЕМЫ ВОД СУШИ

УДК 541.11

**ФОРМИРОВАНИЕ ИОННОГО СОСТАВА ВОД р. БАРГУЗИН  
(БАССЕЙН оз. БАЙКАЛ) В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

© 2020 г. В. Н. Синюкович<sup>1,\*</sup>, В. Г. Ширеторова<sup>2</sup>, И. В. Томберг<sup>1</sup>, Л. М. Сороковикова<sup>1</sup>,  
Л. Д. Раднаева<sup>2</sup>, академик РАН А. К. Тулохонов<sup>2</sup>

Поступило 22.07.2020 г.

После доработки 30.08.2020 г.

Принято к публикации 31.08.2020 г.

Представлены результаты анализа ионного состава вод р. Баргузин в разные по водности периоды и оценки гидрологических факторов самоочищения водотока. Впервые показано, что реализация самоочищающего потенциала реки, возрастающего с повышением расходов воды, лимитируется поступлением минеральных веществ из соленых озер и засоленных земель озерно-аллювиальной равнины, занимающей значительную часть Баргузинской котловины, расположенной в среднем течении реки. Распространение засоленных ландшафтов в котловине связано с ее рифтовым происхождением, сейсмической активностью, обилием выходов подземных вод и аридностью климата. Подпорное влияние Шаманского порога, расположенного у с. Баргузин, обуславливает масштабное затопление котловины в периоды высокой водности и интенсивное вымывание солей с ее территории. Своеобразие природных условий в бассейне реки определяет и особенности формирования ионного состава баргузинских вод, отличающиеся от классических представлений о снижении минерализации рек при повышении их стока.

*Ключевые слова:* расход воды, концентрации ионов, вымывание солей, самоочищение, источники питания

**DOI:** 10.31857/S2686739720110146

Для большинства байкальских рек минерализация вод изменяется асинхронно колебаниям их стока. Исследования гидрохимического режима р. Баргузин – третьего по величине водного стока притока Байкала (средний годовой сток 4 км<sup>3</sup>), выполненные с середины прошлого столетия, свидетельствуют о более сложном характере связи этих показателей. В условиях определенного снижения качества баргузинских вод с конца XX века на фоне антропогенного роста содержания сульфатов и биогенных элементов отчетливо проявляется поступление ионов, связанное с распространением засоленных ландшафтов на водосборе реки, в связи с чем выявление механизма формирования ионного состава водотока становится особенно актуальным.

По составу ионов вода р. Баргузин относится к гидрокарбонатному классу группы кальция.

Ее минерализация изменяется от 70–80 мг/л во время весеннего половодья до 200–240 мг/л в период зимней межени. Перед замыкающим гидроствором (у с. Баргузин) река на протяжении 200 км течет по межгорной Баргузинской рифтовой котловине (рис. 1), шириной до 40 км, с обширными степными ландшафтами, изобилием выходов минеральных вод, содово-соленых озер и очагов засоленных земель [1–3].

В котловине выделяются 4 группы минеральных озер [2, 3]. Вблизи с. Баргузин находятся Кокуйские содовые озера, с минерализацией до 18 г/л. Здесь же на юге котловины у с. Суво расположены Суво-Алгинские сульфатные озера. Минерализация воды в отдельных из них достигает 50 г/л [2], и некоторые озера до середины XX века использовались в качестве источников мирабилита для стекольной промышленности. При впадении в Баргузин р. Аргады находятся Усть-Аргадинские содовые озера с минерализацией до 16 г/л. В междуречье Аргады и Гарги (центральная часть котловины) располагаются Гаргинско-Харамадунские озера, которые по составу солей относятся к карбонатному типу при значительной доле сульфатов и хлоридов с минерализацией до 43 г/л.

<sup>1</sup> Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия

\*E-mail: sin@lin.irk.ru



Рис. 1. Схема расположения бассейна р. Баргузин и Баргузинской котловины.

Засоленные почвы приурочены к низкой озерно-аллювиальной равнине и обязаны разгрузке по тектоническим разломам и трещинам подземных слабоминерализованных вод [3]. Наличие многолетнемерзлых пород препятствует промыванию солей, а криоаридный климат способствует подтягиванию солей к поверхности в сухие теплые периоды и при промерзании. В понижениях вокруг минерализованных озер формируются сильнозасоленные почвы (солончаки).

Наличие Шаманского порога, расположенного в 10 км ниже с. Баргузин обуславливает подпор реки и определяет большую площадь затопления котловины во время подъема воды.

Межгодовые и сезонные различия стока р. Баргузин достаточно велики. На три летних месяца (июнь–август) приходится около 50% годового объема стока. Половодье сравнительно невысокое и по величине максимального расхода воды обычно уступает дождевым паводкам. Однако роль дождевых вод в питании реки хоть и выше, чем снеговых, но преобладающим источником питания по данным [4] являются грунтовые (подземные) воды (50% от годового объема стока), а дождевое стоит на втором месте (31%).

С 2010 г. водность реки была крайне низкой и качество баргузинских вод несколько ухудшилось, однако их ионный состав изменился незначительно. Повышение стока в 2018 и 2019 г. сопровождалось заметным снижением содержания биогенных элементов, но концентрации главных ионов практически не уменьшились. Предварительный анализ показывает, что связь минерализации и концентраций отдельных ионов с расходами воды р. Баргузин сравнительно невысока (рис. 2) – коэффициент детерминации не более 0.4. По данным [5], сезонные колебания минерализации и концентраций главных ионов и в маловодные и многоводные годы более согласованы с генезисом вод по источникам питания, что позволяет диагностировать содержание отдельных ионов в зависимости от характера питания реки и наоборот.

Низкая связь минерализации и водности рек объясняется в основном слабой реакцией само-

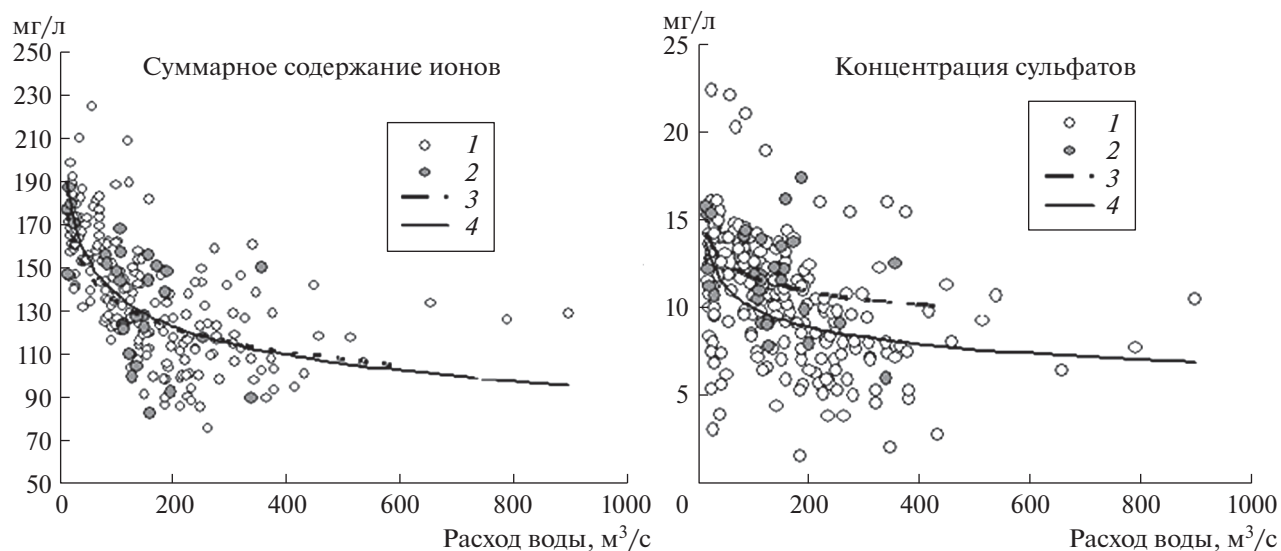


Рис. 2. Зависимости суммарного содержания ионов и концентрации сульфатов от расходов воды. Данные: 1 – до 2010 г.; 2 – 2010–2019 гг.; Линия связи: 3 – 2010–2019 гг.; 4 – до 2010 г.

очищающей способности водотоков на повышение стока или спецификой природных условий речных водосборов, по-разному влияющих на разные компоненты химического состава вод [6–9].

Для проверки этих предположений нами выполнено сопоставление материалов по гидрохимическому режиму р. Баргузин у с. Баргузин за десятилетний период (2010–2019 гг.) с гидрологическими факторами самоочищения водотока, которые оценивались по измерениям Росгидромета в данном населенном пункте. Определялись также основные источники питания реки (снеговое, дождевое и подземное) посредством расчленения гидрографов стока и метода поперечных сечений [10].

Как известно, снижение концентраций растворенных и взвешенных веществ в реках происходит за счет их самоочищающей способности, основными составляющими которой являются разбавление (в нашем случае менее минерализованными тальми и дождевыми водами) и интенсивность процессов (физико-химических, биохимических, сорбционных и др.) распада веществ. Если говорить о содержании консервативных примесей, то оно целиком зависит от величины расхода воды. Для неконсервативных веществ, помимо этого, важны еще такие физические факторы, как температура воды ( $T$ ), скорость ( $v$ ) и глубина ( $h$ ) потока. Температура определяет порядок ( $n$ ) процессов распада веществ, а два других показателя – условия перемешивания водной толщи и насыщение ее кислородом, нехватка которого служит одним из первых признаков загрязнения рек [6].

Порядок процессов распада рассчитывался нами по логарифмической зависимости [11]

$$n = [0.5 \lg(T + 1)]^2,$$

а интенсивность перемешивания вод оценивалась по коэффициенту турбулентной диффузии ( $D$ ) и числу Фруда ( $Fr$ ), зависящих от скорости и глубины потока [8–13]:

$$D = ghv/(mC), \quad Fr = v^2/(gh),$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $C$  и  $m$  – соответственно коэффициент Шези и его функция.

Расчеты показывают, что осредненные внутригодовые изменения минерализации баргузинских вод в целом противоположны распределению стока (рис. 3) и больше согласуются с соотношением источников питания – при подземном питании (зимой) она самая высокая, а при преобладании снегового (весеннее половодье) – минимальна.

Порядок же процессов распада веществ  $n$  более согласован с расходами воды (см. рис. 3) и изменяется от нулевых значений при ледоставе до 0.46 в июле. Значения  $Fr$  в июне–августе на поря-

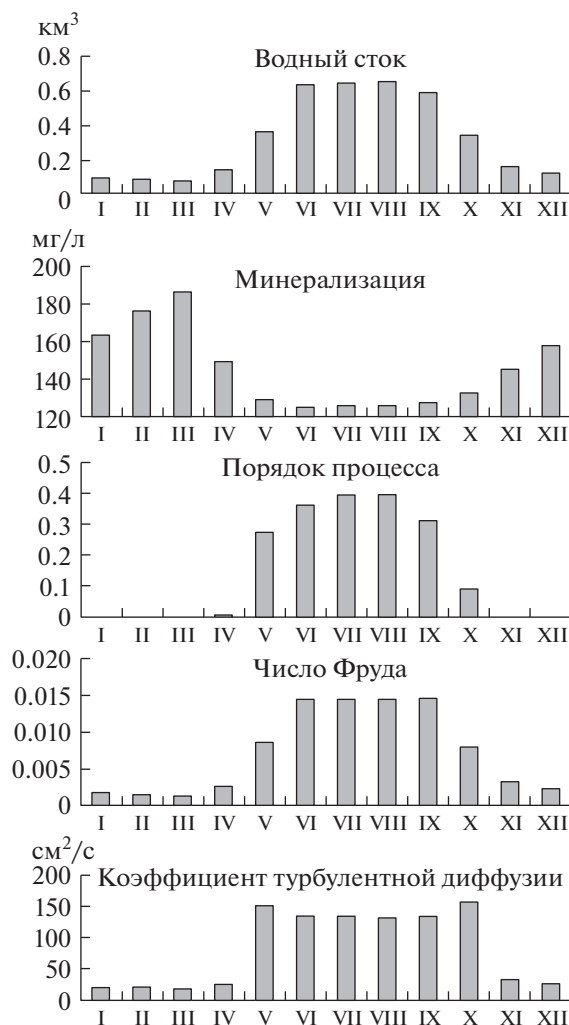


Рис. 3. Внутригодовое распределение стока, минерализации и гидрологических факторов самоочищения.

док выше, чем в зимние месяцы, а коэффициент турбулентной диффузии значительно снижается в подледный период, стабильно удерживаясь в период открытого русла в диапазоне 130–160 см²/с.

Представленный характер распределения факторов самоочищения указывает на безусловный рост самоочищающего потенциала р. Баргузин с повышением расходов воды, в особенности в летний период. Вместе с этим видно (табл. 1), что значимая связь рассчитанных гидрологических факторов самоочищения в разных условиях водности с фактическими концентрациями главных ионов отсутствует, что по исследованиям [7] характерно для рек, отличающихся невысоким модулем стока и распространением засоленных почв на водосборе.

Действительно, средний модуль стока р. Баргузин у с. Баргузин составляет около 6 л/с с км², тогда как в среднем для байкальских рек (без уче-

**Таблица 1.** Гидрологические факторы самоочищения и содержание основных ионов в воде р. Баргузин в разных условиях водности

Показатели	Половодье		Паводок		Осенняя межень		
	год/месяц	2016/V	2019/V	2016/VII	2018/VII	2015/X	2019/X
Q, м <sup>3</sup> /с		88.3	138	110	358	85.6	159
Доля источников питания*, %		с69дбп25	с67д10п23	с9д77п23	с0д87п13	с0д54п46	с0д45п55
Fg		0.0051	0.0087	0.0066	0.0219	0.0049	0.0103
D, см <sup>2</sup> /с		230	208	218	204	232	203
n		0.267	0.216	0.491	0.449	0.228	0.218
Σи, мг/л		119	128	169	150	156	156
HCO <sub>3</sub> , мг/л		70.5	81.3	115	98.9	104	99.0
Ca, мг/л		23.8	25.6	34.8	30.6	29.6	32.9
SO <sub>4</sub> , мг/л		15.5	12.3	10.5	12.5	14.1	16.5

Примечание. \* Источники питания: с – снеговое; д – дождевое; п – подземное.

та Селенги) он почти вдвое больше. В этих условиях летом часть озер в котловине высыхает с образованием гуджира, а при выпадении дождей и повышении стока происходит смыв солевых выделений и обогащение ими речных вод. Кроме того, соли выносятся из соленых озер, смываются и вымываются из засоленных почв. Количество поступающих при этом в реку веществ зависит от высоты подъема паводка (половодья) и его продолжительности, а также от давности и высоты предшествующих подъемов вод. Очевидно, данный “промывной” эффект и сдерживает уменьшение минерализации при увеличении расходов воды, так как в русло р. Баргузин поступают уже не исходные маломинерализованные дождевые (снеговые) воды, а водные массы, обогащенные выносимыми с территории Баргузинской котловины солями. При этом сохраняется определенная согласованность (см. табл. 1) содержания главных ионов и соотношения источников питания реки, обуславливающая наибольшую минерализацию вод при преобладании подземного питания.

Таким образом, в отличие от других притоков Байкала и вопреки классическому представлению о снижении минерализации вод с увеличением речного стока, для формирования ионного состава вод р. Баргузин характерно дополнительное поступление солей с засоленных ландшафтов Баргузинской котловины, сдерживающее снижение содержания растворенных веществ при увеличении водного стока.

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках госзаданий (№№ 0345–2019–0008 и 0339–2019–0003, анализ и обработка данных) и поддержке РФФИ (грант № 17–29–05085, полевые работы).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Намсараев Б.Б., Хахинов В.В., Гармаев Е.Ж. и др. Водные системы Баргузинской котловины. Улан-Удэ: Изд. Бурятского Госуниверситета. 2007. 154 с.
2. Дзюба А.А., Тулохонов А.К., Абидуева Т.И. и др. Палеогеографические аспекты формирования соленых озер Баргузинской котловины // География и природные ресурсы. 1999. № 2. С. 66–73.
3. Черноусенко Г.И., Панкова Е.И., Калинина Н.В. Засоленные почвы Баргузинской котловины // Почвоведение. 2017. № 6. С. 652–671.
4. Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. Новосибирск: Наука, 1976. 238 с.
5. Синюкович В.Н. Взаимосвязь водного и ионного стока основных притоков оз. Байкал // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 2. С. 208–212.
6. Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мяжкова К.Г. и др. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 149–160.
7. Обязов В.А., Жулдыбина Т.В. Зависимость изменений химического состава воды рек Забайкальского края от величины речного стока // Вестник Читинского ГУ. 2010. № 8 (75). С. 97–103.
8. P52.24.811–2014. Усовершенствованная система режимных и специальных наблюдений за трансформацией загрязняющих веществ по длине водотоков с использованием математического моделирования происходящих процессов.
9. PД 52.24.611–2017. Порядок проведения расчета условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для установления нормативов допустимых сбросов сточных вод.
10. Манихин В.И., Коновалов Г.С., Коробейникова Н.Д. Гидрохимический режим р. Белой и соотношение

- главных источников ее питания // Гидрохимические материалы. 1977. Т. 66. С. 46–55.
11. *Шарапов Н.М., Турушев Н.П.* Прогноз трансформации загрязняющих веществ по длине водотока // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы геосферных исследований. Чита. 2006. С. 270–273.
12. *Караушев А.В.* Речная гидравлика. Л.: Гидрометеопиздат. 1969. 416 с.
13. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод // под ред. А.В. Караушева. Л.: Гидрометеопиздат. 1987. 285 с.

## FORMATION OF ION COMPOSITION OF THE BARGUZIN R. WATERS (LAKE BAIKAL BASIN) UNDER THE CONDITIONS OF SALINE LANDSCAPES

V. N. Sinyukovich<sup>a,#</sup>, V. G. Shiretorova<sup>b</sup>, I. V. Tomberg<sup>a</sup>, L. M. Sorokovikova<sup>a</sup>,  
L. D. Radnaeva<sup>b</sup>, and Academician of the RAS A. K. Tulokhonov<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

<sup>b</sup> *Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Ulan Ude, Russian Federation*

<sup>#</sup> *E-mail: sin@lin.irk.ru*

The results of ion composition of the Barguzin R. waters during periods of different water content and assessments of hydrological factors of water flow self-purification are presented. It is shown for the first time that realization of self-purification potential of the river increasing with water discharge increase is limited by income of mineral matter from salt lakes and saline lands of lacustrine-alluvial plain occupying a considerable part of Barguzin Depression situated in middle part of the river current. Expansion of saline landscapes in the depression is due to its rift origin, seismic activity, abundant outcome of underground waters and arid climate. Supporting influence of Shaman lip near Barguzin village results in large-scale depression waterflooding during high water content and in intensive salts washing out of its territory. Particular environmental conditions in the river basin determine as well the peculiarities of formation of ion composition of the Barguzin R. waters differing from classic viewpoints concerning the decrease of rivers mineralization at their outflow increase.

*Keywords:* water discharge, ions concentrations, salts washing out, self-purification, supply sources