

М.Ю. СЕМЁНОВ*, Ю.М. СЕМЁНОВ**, А.В. СИЛАЕВ**,
Л.А. БЕГУНОВА***

*Лимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, smu@mail.ru

**Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664003, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, yumsemenov@mail.ru, anton_s@bk.ru

***Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия, lbegunova@mail.ru

РАСТВОРЕННОЕ ВЕЩЕСТВО ВОД ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЯ: СОСТАВ, ПРОИСХОЖДЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Установлено, что воды абсолютного большинства водотоков западного побережья оз. Байкал относятся к ультра-пресным, гидрокарбонатного класса группы кальция второго типа (по Алекину). Выявлены различия по величине минерализации вод между северной и южной частями побережья: на севере она достигает 190 мг/л и выше, а на юге редко превышает 80 мг/л. Показано, что ионный состав вод Бугульдейского и Листвянского районов значительно отличается от состава вод других районов: первые характеризуются повышенным содержанием гидрокарбоната (до 99 %-экв от суммы анионов), вторые — повышенным содержанием сульфата (до 50 %-экв от суммы анионов). Выявлено противоречие между таксономическим однообразием вод и разнообразием величин отношений концентраций катионов ((Ca²⁺ + Mg²⁺)/K⁺) и анионов (SO₄²⁻/HCO₃⁻) — трассеров источников растворенного вещества. Сделан вывод о необходимости разработки принципов классифицирования вод на уровне подклассов или подгрупп, критериями для выделения которых могут послужить величины вкладов источников растворенного вещества, рассчитанные на основе отношений (Ca²⁺+Mg²⁺)/K⁺ и SO₄²⁻/HCO₃⁻.

Ключевые слова: оз. Байкал, западное побережье, минерализация, ионный состав, трассеры, классификация.

M.Yu. SEMENOV*, Yu.M. SEMENOV**, A.V. SILAEV**,
L.A. BEGUNOVA**

*Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, smu@mail.ru

**V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664003, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, yumsemenov@mail.ru, anton_s@bk.ru

***Irkutsk National Research Technical University,
664074, Irkutsk, ul. Lermontova, 83, Russia, lbegunova@mail.ru

DISSOLVED MATTER OF THE WATERS OF SOUTHWESTERN CISBAIKALIA: COMPOSITION, ORIGIN, CLASSIFICATION

It was found that the waters of the absolute majority of watercourses of the western coast of Lake Baikal refer to ultra-fresh waters belonging to the hydrocarbonate class, the calcium group and the the second type (after Alekin). The study revealed differences in the value of water mineralization between the northern and southern parts of the coast; it reaches 190 mg/L or higher in the north and only rarely exceeds 80 g/L in the south. It is shown that the ionic composition of the waters in the Bugul'deiskii and Slyudyanskii districts differs greatly from the water composition in the other districts: the former are characterized by an increased hydrocarbonate content (up to 99 %-eq of the sum of ions), and the latter—by an increased sulfate content (up to 50 %-eq of the sum of anions). A discrepancy was determined between the taxonomic uniformity of the waters and the variety of the values of the concentration ratios of cations ((Ca²⁺ + Mg²⁺)/K⁺) and anions (SO₄²⁻/HCO₃⁻) which represent tracers of the sources of dissolved matter. It is concluded that there is a need to develop the classification principles for the waters at the level of subclasses or subgroups, and the criteria for identifying them can be provided by the values of the contributions from the sources of dissolved matter calculated on the basis of the (Ca²⁺ + Mg²⁺)/K⁺ and SO₄²⁻/HCO₃⁻ ratios.

Keywords: Lake Baikal, western coast, mineralization, ionic composition, tracers, classification.

ВВЕДЕНИЕ

Сведения об источниках растворенного вещества необходимы для понимания механизмов формирования химического состава поверхностных вод и управления их качеством, однако идентификации источников, особенно источников нетоксичных веществ, уделяется недостаточно внимания. Связь между составом вод и природной обстановкой (составом горных пород, почв, атмосферных осадков) часто кажется очевидной и не требующей установления. Так, очевидно, что водами, в анионном составе которых преобладает гидрокарбонат-ион, дренируются силикатные либо карбонатные породы [1]. Преобладание анионов сильных кислот над гидрокарбонат-ионом свидетельствует о присутствии в бассейне легкорастворимых солей, таких как сульфаты [2]. Низкие величины отношения гидрокарбоната к сумме анионов говорят о значительной доле атмосферного вещества в водах [3]. Определенные величины отношений катионов и анионов к натрию свидетельствуют о морском происхождении атмосферного вещества [4]. На генезис растворенного вещества вод указывает и величина их минерализации [5]. По сути, все классификации вод по составу [6–8] представляют собой классификации по составу дренируемых пород, но в очень небольшом приближении. Этот принцип идентификации источников, основанный на явном преобладании какого-либо компонента или группы компонентов раствора над другими, хорош при выявлении глобальных или региональных закономерностей формирования состава вод. В сходных же природных условиях воды обладают сходными составами, поэтому на локальном уровне такой подход малопригоден. Наверное, именно по причине однообразия природных условий и незначительной пространственной вариабельности химического состава вод западного побережья оз. Байкал работ, посвященных исследованию его происхождения, так немного [9, 10]. Целью настоящего исследования было восполнение этого пробела. Для ее достижения решались следующие задачи: изучение химического состава вод западного побережья оз. Байкал, выявление трассеров источников растворенного вещества, идентификация источников на основе выявленных трассеров, оценка величин вкладов источников в химический состав вод, классифицирование составов вод на основе величин вкладов источников растворенного вещества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами исследования послужили данные измерений макрокомпонентного состава вод рек и ручьев западного побережья оз. Байкал, производившихся в 2020 г. Объектами исследований послужили 66 водотоков: от р. Малой Кочерикова, впадающей в озеро севернее о. Ольхон, до р. Ангасолки, впадающей в Байкал на южной оконечности озера. Для удобства интерпретации результатов гидрохимических исследований территория побережья с расположенными на ней водотоками была разбита на районы, названные по наиболее узнаваемым топонимам соответствующих территорий: Маритуйский, Листвянский, Голоустненский, Бугульдейский, Еланцынский и Онгурёнский (рис. 1). Всего было проанализировано 66 проб воды. Концентрации растворенных компонентов измерялись в фильтрованных пробах. Исследовались содержания HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Концентрации HCO_3^- определялись потенциометрическим методом, концентрации SO_4^{2-} и Cl^- — методом ионной хроматографии, концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и Na^+ — методами фотометрии пламени. О связи составов вод и источников растворенного вещества судили по близости их точек на диаграмме смешения, которая представляла собой поле точек проб воды в координатах отношений концентраций ионов. Условием выбора отношений, выступающих в качестве координат, было отсутствие положительной корреляции между их величинами. В качестве источников растворенного вещества использовались воды рек или ручьев, точки которых наиболее далеко отстоят от основного массива точек проб, повторяя его контуры. Такое положение точек означает, что в формировании состава этих вод абсолютно преобладает какой-то один тип горных пород. Предполагалось, что проба речной или ручейной воды (точка), лежащая внутри области смешения, ограниченной линиями, соединяющими точки источников вещества, испытывает в разной степени влияние всех источников. Проба за пределами области смешения испытывает влияние источников, ограничивающих прилегающую к пробе сторону. Чем ближе точка к источнику, тем выше его вклад в химический состав вод. Величины вкладов рассчитывались с использованием систем уравнений многокомпонентного смешения.

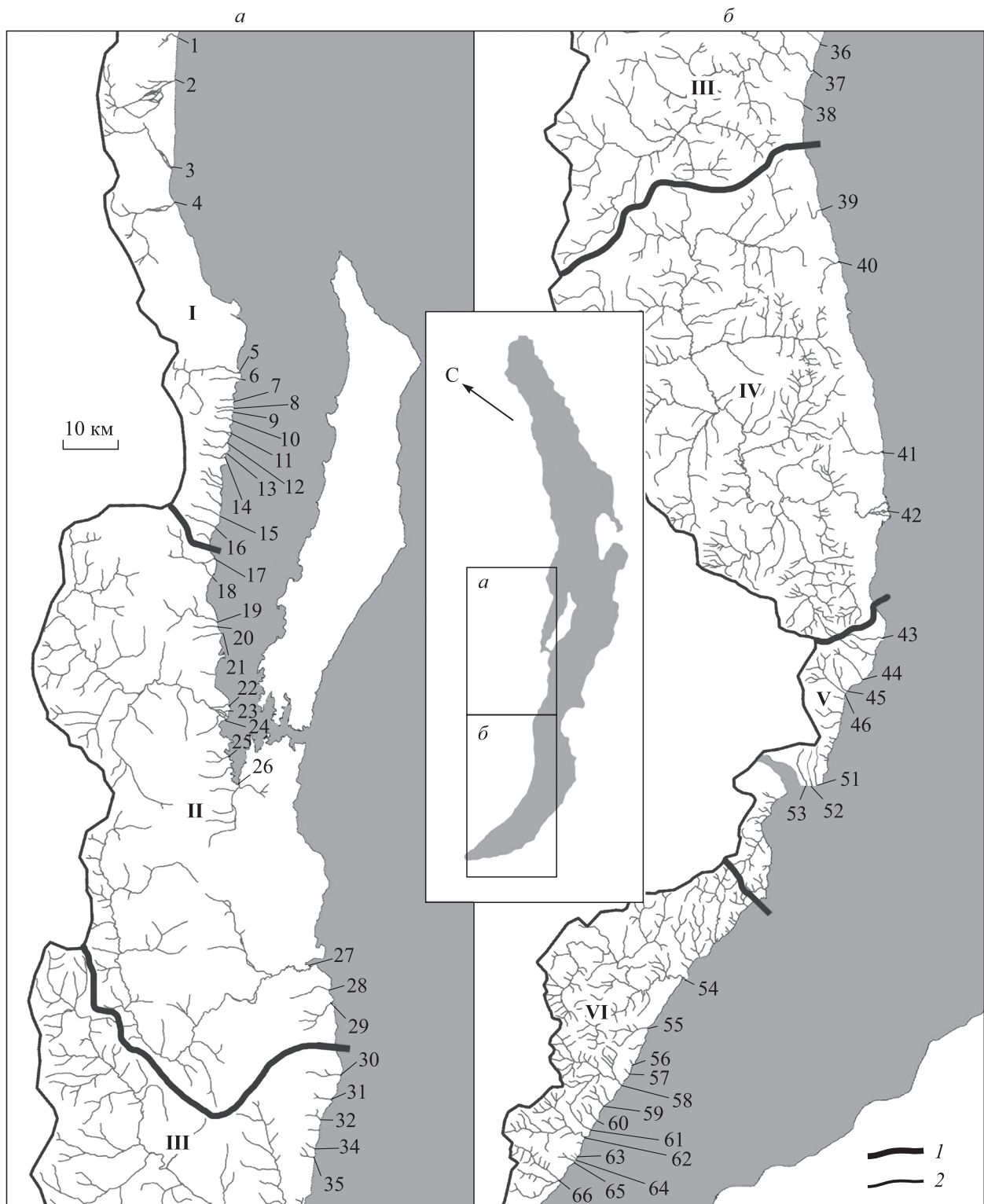


Рис. 1. Обследованные водотоки в северной (а) и южной (б) частях западного побережья озера Байкал. Районы: I — Онгурёнский, II — Еланцынский, III — Бугульдейский, IV — Голоустненский, V — Листвянский, VI — Маритуйский. Границы: VII — районов, VIII — бассейна оз. Байкал. 1–66 — водотоки (см. табл. 1).

Химический состав вод западного побережья оз. Байкал

Номер водотока	Водоток	Ионный состав						
		K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Онгурёнский район								
1	р. Малая Кочерикова	0,5	1,1	6,5	20,7	5,6	9,1	74,5
2	р. Большая Кочерикова	0,2	1,1	18,6	50,8	0,6	16,0	218,0
3	р. Большие Онгурены	0,5	2,5	8,8	11,4	0,6	10,4	67,1
4	р. Малая Зама	0,6	1,9	5,8	16,0	0,2	5,2	72,4
5	р. Зундук	1,2	4,5	1,8	9,7	0,4	5,1	41,7
6	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	0,8	1,1	10,9	23,0	0,5	7,5	112,3
7	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	2,0	1,9	22,1	33,2	0,7	31,9	167,9
8	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	2,2	1,6	14,6	39,4	0,5	19,5	165,5
9	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	0,9	1,4	5,3	16,0	0,4	7,3	66,8
10	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	1,5	2,3	7,3	21,8	0,5	20,9	78,5
11	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	1,2	3,8	2,8	11,9	1,1	5,4	50,1
12	руч. между м. Ото-Хушун и м. Зундук	1,6	1,0	10,0	24,2	0,5	3,8	117,0
13	руч. м. Ото-Хушун	1,5	1,1	8,5	24,9	0,5	17,6	94,9
14	руч. м. Ото-Хушун	1,2	2,3	4,8	14,0	0,7	5,4	62,4
15	руч. м. Ядыртуй	0,6	1,5	4,8	14,0	2,4	4,2	58,7
16	руч. м. Ядыртуй	0,6	1,2	1,3	8,3	0,6	2,3	30,3
Еланцынский район								
17	руч. Улан-Хан	0,4	1,1	0,8	4,5	0,5	3,3	14,9
18	р. Улан-Хан	0,5	0,8	1,2	5,3	0,5	2,8	19,6
19	руч. Курма	0,5	0,9	1,4	5,0	0,6	2,6	19,7
20	руч. Курма	1,0	2,0	1,5	8,3	0,8	2,2	33,4
21	руч. Курма	0,9	2,1	2,2	10,5	0,8	2,3	42,9
22	руч. д. Сарма	1,0	2,1	1,8	10,0	0,8	2,1	40,2
23	р. Сарма	0,3	1,1	3,1	8,3	0,7	6,1	33,3
24	руч. д. Сарма	1,1	2,1	1,8	8,3	0,8	7,3	29,0
25	р. Шида	1,4	1,3	1,6	8,1	0,7	3,0	31,5
26	р. Кучулга	1,2	2,3	5,5	26,3	0,9	9,7	96,4
27	р. Анга	0,5	2,5	3,5	11,0	1,2	6,4	45,2
28	р. Харгагай	1,5	4,6	9,7	26,6	1,1	3,0	130,8
29	р. Бирхин	1,6	3,6	9,0	24,6	1,2	3,0	119,3
Бугульдейский район								
30	руч. Крестовский	2,8	12,5	19,6	51,8	2,3	51,1	209,2
31	р. Широкая	1,2	8,5	8,9	30,9	2,2	8,6	139,7
32	р. Улан-Ганта	1,9	11,6	7,1	45,4	2,1	16,9	171,7
33	р. Марта	1,1	6,6	21,1	38,2	1,1	7,7	216,2
34	р. Абшин-Хушин	2,0	6,7	27,1	45,9	1,8	9,6	265,5
35	р. Кужиртуй	1,9	9,3	18,7	60,9	2,3	1,8	284,5
36	р. Таловка	1,5	5,0	8,1	31,8	0,8	26,2	111,2
37	р. Бугульдейка	0,5	2,0	15,7	39,7	0,5	27,7	160,4
38	руч. д. Бугульдейка	0,6	1,8	15,2	32,7	0,6	21,3	144,6
Голоустненский район								
39	руч. Лохматый	0,6	1,8	1,6	6,2	0,5	6,9	21,5
40	р. Харгино	0,5	1,4	10,2	21,8	0,3	8,9	104,1
41	р. Еловка	0,5	1,5	10,9	32,2	0,3	19,4	124,9
42	р. Большая Голоустная	0,4	2,2	6,0	16,7	0,5	18,1	59,5
Листвянский район								
43	руч. Падь Кадильная	0,5	5,3	15,2	23,5	0,5	48,6	92,4
44	р. Большая Сенная	0,3	5,3	7,3	9,7	0,3	21,6	47,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	р. Малые Коты	0,3	4,4	4,8	11,2	0,8	26,0	32,2
46	р. Большие Коты	0,3	3,8	2,3	9,7	0,3	17,8	25,5
47	руч. между п. Листвянка и д. Бол. Коты	0,4	3,1	2,6	12,1	0,5	21,0	28,6
48	руч. между п. Листвянка и д. Бол. Коты	0,5	2,2	1,3	15,9	0,5	18,9	34,0
49	руч. Листвянка	1,8	3,9	5,0	17,8	3,2	17,6	60,1
50	руч. Листвянка	0,8	4,3	5,0	18,8	3,2	19,2	60,6
51	р. Крестовка	2,0	2,9	1,8	8,8	0,5	15,2	24,3
52	руч. Банный	1,1	2,0	8,9	23,5	0,6	15,0	97,3
53	руч. Каменный	1,4	3,9	8,5	26,3	2,2	21,9	97,1
Маритуйский район								
54	р. Большая Половинная	0,4	2,2	1,0	5,9	0,5	6,1	18,9
55	р. Маритуй	1,1	2,5	2,4	8,3	0,3	7,7	32,7
56	руч. м. Колокольный	1,6	2,3	1,1	8,6	0,3	8,1	27,4
57	руч. м. Бакланий	1,3	2,3	2,8	6,2	0,3	6,9	29,5
58	р. Шабартуй	0,3	2,1	1,5	5,9	0,3	7,7	19,8
59	руч. м. Шарыжалгай	1,2	2,7	0,3	8,6	0,3	7,3	25,0
60	р. Шарыжалгай	1,0	2,3	0,8	7,4	0,3	7,3	22,5
61	руч. м. Большая Крутая Губа	1,2	2,2	0,5	7,4	0,3	6,9	22,0
62	р. Большая Крутая Губа	0,7	2,2	1,3	5,9	0,3	6,4	20,9
63	руч. м. Хабартуй	1,0	2,2	1,3	6,2	0,2	8,2	20,3
64	руч. м. Хабартуй	1,2	2,2	1,7	10,5	0,3	10,3	32,5
65	р. Хабартуй	0,8	2,1	1,0	6,7	0,3	9,1	18,5
66	р. Ангасолка	1,0	2,1	0,3	8,3	1,0	7,7	20,9

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С точки зрения существующих гидрохимических классификаций, состав растворенного вещества вод исследуемого района весьма однообразен: абсолютное большинство вод относится к ультрапресным гидрокарбонатного класса группы кальция (рис. 2). Несмотря на это, различия в составах вод есть, и они весьма заметны. Наибольшая минерализация характерна для вод Бугульдейского и Онгурёнского районов (>190 мг/л), наименьшая — для вод Маритуйского и Еланцынского (50–80 мг/л), а промежуточными величинами характеризуются воды Листвянского и Голоустненского районов (80–140 мг/л). По-видимому, различия в минерализации обусловлены составом дренируемых пород. Легкорастворимые метаморфические породы, обеспечивающие высокую минерализацию вод (плагиогнейсы, амфиболитовые сланцы, амфиболиты, мраморы и т. д.), в центральной и северной частях побережья распространены шире, чем в южной [9]. Что касается ионного состава (см. табл. 1), то среди катионов во всех водах абсолютно преобладает Ca^{2+} (~60 %-экв от суммы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и Na^+), в меньшем количестве содержится Mg^{2+} (17–30 %-экв), и в наименьшем — Na^+ (3–14 %-экв) и K^+ (1–4 %-экв). Среди анионов в водах подавляющего большинства водотоков преобладает HCO_3^- (52–99 %-экв от суммы HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), за ним следует SO_4^{2-} (4–49 %-экв), содержание Cl^- незначительно (0,3–9 %-экв).

По ионному составу особенно выделяются воды рек в пределах Бугульдейского и Листвянского районов. Первые, такие как р. Бугульдейка, характеризуются повышенным содержанием гидрокарбоната, вторые, такие как р. Крестовка, — повышенным содержанием сульфата, что позволяет в период зимней межени относить их к сульфатному классу. Если с Бугульдейкой, в бассейне которой находится мраморный карьер, все ясно — гидрокарбонат поступает в воду в результате растворения карбонатов, то с Крестовкой все не так очевидно. Согласно геологической карте [11], в бассейне р. Крестовки и других водотоков в пределах Листвянского района преобладают граниты и гранодиориты архейского и протерозойского возраста. Осадочные породы и гидротермальные образования с характерными для них легкорастворимыми сульфатсодержащими минералами типа гипса, мирабилита, алуниита и т. д. там не встречаются. Откуда же берется сульфат в водах? Наиболее вероятный его источник — это окисление сульфидсодержащих минералов, таких как пирит, халькопирит, галенит, сфалерит и т. д.

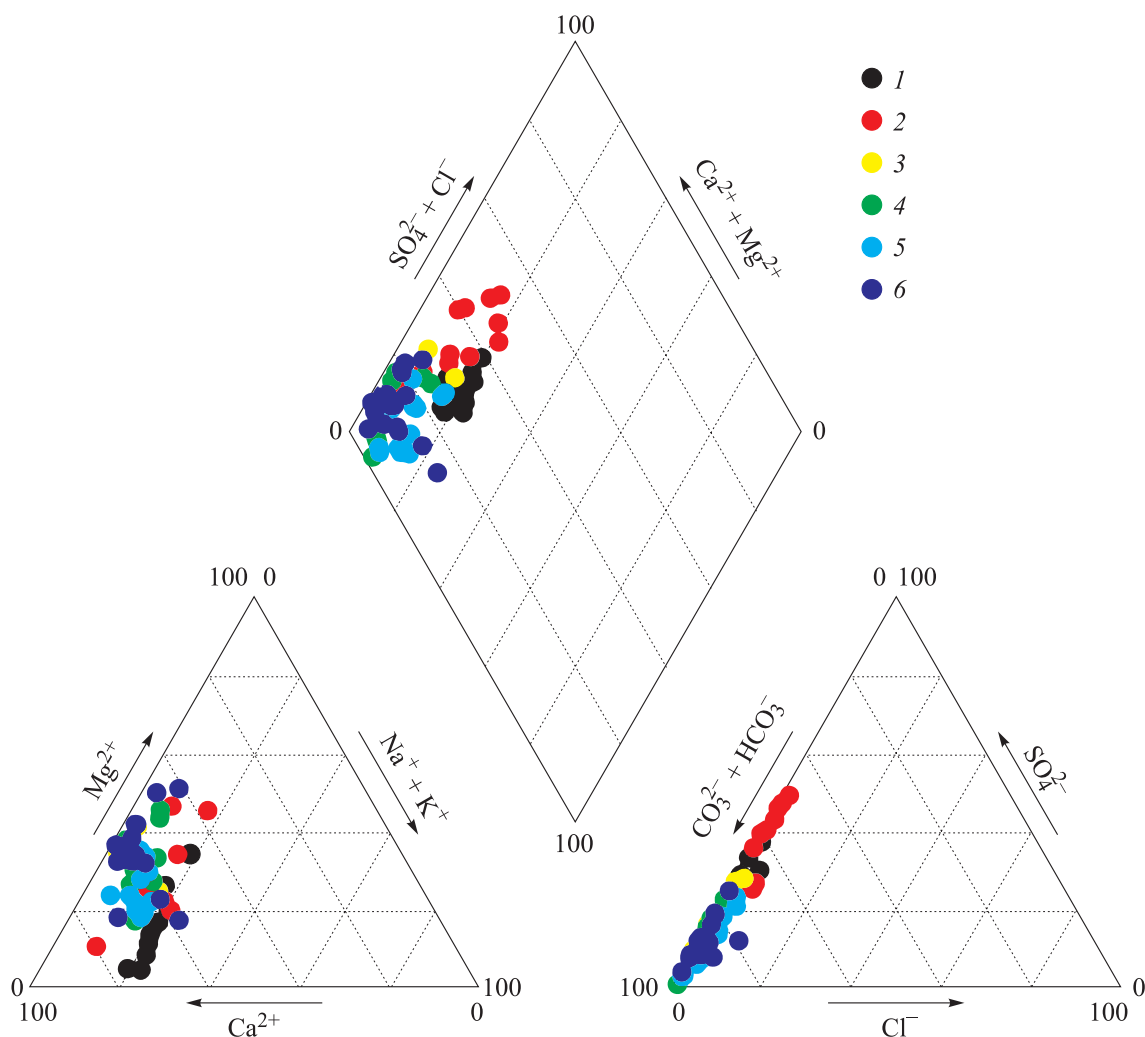


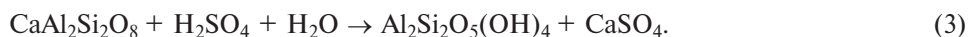
Рис. 2. Группировка вод западного побережья оз. Байкал по ионному составу.

Воды районов: 1 — Маритуйского, 2 — Листвянского, 3 — Голоустненского, 4 — Бугульдейского, 5 — Еланцынского, 6 — Онгурёнского.

Повышенное относительное содержание калия в водах с высоким содержанием сульфатов, наблюдаемое в Маритуйском районе и части Листвянского, может объясняться образованием серной кислоты при окислении сульфидов (1) и ее действием на калиевые полевые шпаты (2):



Повышенное содержание кальция в водах с высоким содержанием сульфатов, характерное для большей части Листвянского района, может объясняться действием серной кислоты на плагиоклазы:



Таким образом, гораздо логичнее выражать различия в составе вод побережья не в соотношениях ионов, тем более что на самом низком таксономическом уровне все воды относятся к одному таксону — второму типу вод (по Алекину) ($\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$), а в величинах вкладов источников растворенного вещества. Для этого растворенное вещество вод можно представить в качестве смеси веществ, образующихся при растворении сульфидсодержащих силикатов, собственно силикатов и карбонатов (рис. 3). В качестве координат диаграммы смешения были выбраны отношения $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{K}^+$ и $\text{SO}_4^{2-}/\text{HCO}_3^-$. В качестве образца вод, состав которых обусловлен растворени-

Таблица 2

Средние величины вкладов источников растворенного вещества в химический состав вод, %

Район побережья	Источники растворенного вещества		
	Сульфидсодержащие силикаты	Силикаты	Карбонаты
Онгурёнский	8	75	17
Еланцынский	9	82	9
Бугульдейский	7	54	40
Голоустненский	20	33	47
Ливтянский	58	22	20
Маритуйский	46	52	2

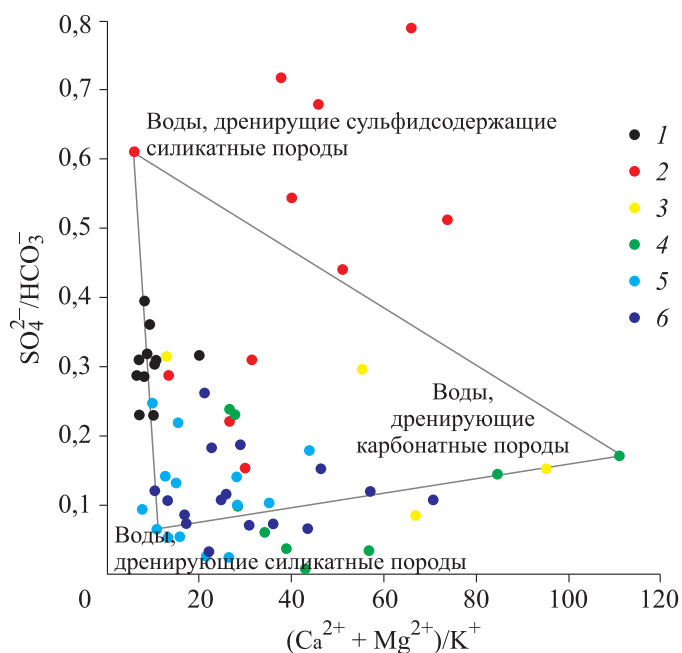


Рис. 3. Воды западного побережья оз. Байкал как смеси продуктов растворения трех типов горных пород: сульфидсодержащих силикатов, силикатов и карбонатов.

Воды районов: 1 — Маритуйского, 2 — Ливтянского, 3 — Голоустненского, 4 — Бугульдейского, 5 — Еланцынского, 6 — Онгурёнского.

ное вещество вод составляют 82 и 75 % соответственно (табл. 2). В гораздо меньшей степени на него влияют карбонаты (9 и 17 %), еще меньше — сульфидсодержащие силикаты (9 и 8 %). Состав вод в пределах Голоустненского и Бугульдейского районов в наибольшей по сравнению с другими районами степени обусловлен растворением карбонатных пород. На их долю приходится до 47 и 40 % растворенного вещества соответственно. Состав вод в пределах Маритуйского и Ливтянского районов определяется преимущественно растворением сульфидсодержащих силикатов (46 и 58 % соответственно). Однако в отношении вкладов остальных двух источников вещества воды этих районов значительно различаются. В Маритуйском районе на втором по величине вкладов месте стоят не содержащие сульфидов силикаты (52 %), а доля карбонатов незначительна (2 %). В Ливтянском же районе доли участия вещества силикатных и карбонатных пород в составе растворенного вещества поверхностных вод примерно одинаковы (22 и 20 % соответственно). Воды этого района также характеризуются значительным разбросом точек проб вдоль внешней стороны треугольника смешения — «сульфидсодержащие силикаты–карбонаты». Это говорит о том, что, возможно, источником кальция и магния в определенной степени являются воды регионального подземного стока, имеющего не характерный для данного ландшафта состав.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило получить и систематизировать данные о составе главных ионов вод западного побережья оз. Байкал. Показано, что, несмотря на принадлежность вод побережья к одному типу (второму) одной группе (группе кальция) одного класса (гидрокарбонатного) по гидрохимической классификации О.А. Алекина, а также к одной группе (ультрапресные) по величине минерализации, они характеризуются значительным разнообразием с точки зрения количественного состава. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости разработки принципов классифицирования вод на более мелких таксономических уровнях, например, на уровне подклассов, подгрупп или типов. Критериями для выделения новых таксономических единиц могут послужить величины отношений концентраций ионов $((Ca^{2+} + Mg^{2+})/K^+)$ и SO_4^{2-}/HCO_3^- , использованных нами в качестве трассеров источников растворенного вещества вод — сульфидсодержащих силикатов, си-

ликатов и карбонатов. Учитывая, что минерализация вод напрямую связана с составом дренируемых горных пород и увеличивается в ряду «воды, содержащие вещество силикатов — воды, содержащие вещество сульфидсодержащих силикатов — воды, содержащие вещество карбонатов», количественными критериями для выделения категорий вод в пределах группы или класса также может послужить соотношение величин вкладов источников растворенного вещества.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А16-116122110065-4, АААА-А17-117041910172-4), при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта (17-29-05068, 20-45-380013) и Правительства Иркутской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Probst J.L., Mortatti J., Tardy Y. Carbon river fluxes and weathering CO₂ consumption in the Congo and Amazon river basins // Applied Geochemistry. — 1994. — Vol. 9, N 1. — P. 1–13.
2. Плюснин А.М., Хажеева З.И., Санжанова С.С., Перязева Е.Г., Ангахаева Н.А. Сульфатные минеральные озера Западного Забайкалья: условия образования, химический состав воды и донных отложений // Геология и геофизика. — 2020. — № 8. — С. 1055–1073.
3. Hounslow A.W. Water Quality Data: Analysis and Interpretation. — Boca Raton: CRC Press LLC, Lewis Publishers, 1995. — 416 p.
4. Keene W.C., Pszenny A.A.-P., Galloway J.N., Hawley M.E. Sea-salt corrections and interpretation of constituent ratios in marine precipitation // Journ. of Geophysical Research. — 1986. — Vol. 91, N D6. — P. 6647–6658.
5. Никаноров А.М. Справочник по гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 391 с.
6. Сулин В.А. Условия образования, основы классификации и состав природных вод. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — 106 с.
7. Алевкин О.А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 443 с.
8. Валяшко М.Г. Основные химические типы вод и их формирование // Доклады Академии наук СССР. — 1955. — Т. 102, № 2. — С. 315–318.
9. Кузьмин В.А. Химический состав вод притоков Юго-Западного и Южного Байкала и его связь с природной обстановкой // География и природ. ресурсы. — 1998. — № 1. — С. 70–77.
10. Семёнов М.Ю., Снытко В.А., Семёнов Ю.М., Силаев А.В., Семёнова Л.Н. Состав металлов поверхностных вод Южного Прибайкалья и его связь с ландшафтно-геологическими условиями // Доклады Академии наук. — 2019. — Т. 486, № 5. — С. 613–619.
11. **Geological map of Central Asia and adjacent areas.** Scale 1:2 500 000 // Atlas of geological maps of Central Asia and adjacent areas. — Beijing: Geological Publishing House, 2008. — P. 5.

Поступила в редакцию 27.09.2020

Принята к публикации 09.10.2020