

УДК 556.3+550.536.314

## ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ БОТЧИ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ) В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

В.П. Шестеркин

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,  
ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000,  
e-mail: shesterkin@iver.as.khb.ru

*В работе рассмотрены особенности химического состава природных вод бассейна р. Ботчи в зимний период. Показано, что воды рек, питающиеся подземными водами вулканогенных образований, отличаются невысоким значением минерализации (46–56 мг/дм<sup>3</sup>), гидрокарбонатно-кальциевым составом, низкой концентрацией ионов калия, хлоридных и сульфатных ионов, повышенным содержанием соединений кремния и минерального фосфора. Более низкие уровни минерализации, концентраций кремния и фосфора и повышенное содержание сульфатного иона, аммонийного азота, растворенного железа и органического вещества отмечены в воде малых рек, дренирующих современные аллювиальные отложения. Воды Ботчинского минерального термального источника характеризуются температурой 42–44 °С, повышенными значениями рН и минерализации (>120 мг/дм<sup>3</sup>), концентраций хлоридного и сульфатного ионов, соединений кремния, гидрокарбонатно-натриевым составом, низким содержанием ионов кальция и магния, аммонийного азота и растворенного железа.*

**Ключевые слова:** бассейн р. Ботчи, зимний период, малые реки, термальный источник, химический состав, минерализация.

### Введение

Река Ботчи берет начало на восточном склоне северного Сихотэ-Алиня, впадает в бухту Гроссевици Татарского пролива. Длина реки составляет 106 км, площадь водосбора 2810 км<sup>2</sup>. Основные притоки: Елизаровская, Кукша, Мульпа и Иха. Бассейн р. Ботчи на западе ограничен осевым хребтом Сихотэ-Алиня, имеющим гребни с гольцовыми вершинами (гора Бо-Джауса, 1637 м). На севере водосбор отделен от бассейна р. Коппи безымянным хребтом, на юге водораздельная линия проходит по Туманному хребту.

В 1994 г. в бассейне р. Ботчи с целью изучения и сохранения южноохотских биоценозов и биологического разнообразия был организован государственный природный заповедник «Ботчинский» площадью 267 380 га.

Большая часть бассейна р. Ботчи относится к Ботчинскому вулканогенному гидрогеологическому бассейну Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса, в строении фундамента которого участвуют нижнемеловые терригенные дислоцированные отложения, представленные песчаниками, алевролитами, аргиллитами общей мощностью до 5000 м. Нижний ярус, сложенный верхнемеловыми-палеоценовыми эффузивами кислого и среднего состава мощностью до 3000 м,

прорван многочисленными интрузиями. Верхний ярус в основном образован миоценовыми эффузивами кизинской свиты (базальты, андезиты и др.), мощностью до 700 м. Выше располагаются четвертичные отложения, представленные ниже-верхнечетвертичными (галечники, валуны, пески) и современными аллювиальными и морскими (пески, галечники, суглинки) отложениями мощностью до 20 м [3, 4].

С породами горного обрамления, фундамента и нижнего яруса бассейна связаны преимущественно трещинные и трещинно-жильные подземные воды, с породами верхнего яруса – пластовые и порово-трещинные воды [3].

Первые сведения о подземных водах были получены В.К. Арсеньевым в 1908 г., согласно которому в среднем течении р. Ботчи находится минеральный источник с температурой 28,6 °С [2]. В 2009 г. появилась первая информация о химическом составе воды Ботчинского источника, в 2011 г. – Ивлюхинского источника. Последний был выявлен на р. Иха, где температура воды на глубине 30–40 см в районе поднимающихся со дна газов достигала 17 °С [5]. Одновременно с этими материалами были получены данные по химическому составу вод некоторых малых рек – притоков р. Мульпа [13].

Такие уникальные особенности водных объектов бассейна р. Ботчи наряду с их низкой гидрохимической изученностью обусловили необходимость изучения химического состава природных вод в зимний период, когда отсутствует влияние поверхностного стока.

#### **Объекты и методы**

Исследования проводили преимущественно на водотоках верхней части бассейна р. Мульпа (длина 49 км) – одного из основных притоков р. Ботчи, а также термальном источнике «Ботчинский» в декабре-феврале 2010–2012, 2017, 2018 гг.

Водотоки Солончаковый, Моховой, Подземный и др. дренируют южные склоны обширного плато с максимальной отметкой 1210 м (г. Уюнку). Они характеризуются небольшой длиной (<4 км), отсутствием в нижнем течении ледяного покрова из-за разгрузки подземных вод вулкано-генных образований, бесцветны. В питании руч. Спокойный помимо подземных вод выше названных образований участвуют воды современных аллювиальных отложений, обуславливающих их повышенную цветность (<50°).

Ботчинский источник расположен в 2 км выше впадения руч. Угарный. Разгрузка термальных вод происходит через аллювий у правого берега р. Ботчи, в период открытого русла источник затопливается. Зимой на дне р. Ботчи в пределах 3-метровой зоны фиксируются выделения газа, а низкие дебиты источника и близкое расположение к урезу воды р. Ботчи обуславливают разбавление термальных вод. Температура воды источника согласно [5] составляет около 30 °С. Более высокие значения (42–44 °С) отмечены на глубине 20–25 см в феврале 2018 г. Поэтому воды этого источника по температуре, согласно [11], относятся к группе горячих (35–70 °С), мало отличаются от температуры вод Тумнинского источника [6].

Расположение исследуемых объектов дано на рис. В 2010–2011, 2017 гг. пробы воды отбирали сотрудники Ботчинского заповедника, в 2012 и 2018 гг. – автор. Аналитические работы осуществляли в Центре коллективного пользования при ИВЭП ДВО РАН по принятым при гидрохимических исследованиях методам [10].

#### **Результаты исследования**

Формирование химического состава природных вод зависит от структуры горных пород и почв, климата, рельефа, растительности, гидрогеологических условий и др. факторов [1].

Воды рек, питающиеся подземными водами вулкано-генных образований, отличаются стабильным солевым составом и узким диапазоном ко-

лебаний минерализации, максимальное значение которых не превышает 54 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Более низкие значения отмечаются в воде руч. Спокойный, в питании которого участвуют подземные воды аллювиальных отложений. По химическому составу исследуемые воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу [1]. По величине рН они в основном нейтральные (6,52–6,96), реже слабощелочные (7,07–7,37).

Содержание главных ионов в подземных водах невысокое (табл. 1). Среди катионов доминирование иона кальция выражено не сильно (48% экв). В руч. Моховой и Солончаковый на втором месте находится ион магния (33% экв), в руч. Подземный различия в содержании между ионами натрия (до 23% экв) и магния (27% экв) небольшие. Содержание хлоридного иона и иона калия соизмеримо с атмосферными осадками и, так же как во многих водотоках восточного макросклона Сихотэ-Алиня, находится ниже предела обнаружения [12].

Концентрация сульфатного иона варьирует в широких пределах. В воде руч. Солончаковый и Моховой его значения находятся ниже предела обнаружения. Значительно больше содержится сульфатов в воде руч. Спокойный (табл. 1).

Содержание биогенных и органических веществ по сравнению с главными ионами изменяется в более широких пределах (табл. 1). Наибольшие концентрации органического вещества, аммонийного азота и железа, а также низкое содержание фосфора и кремния характерны для вод руч. Спокойный, водосбор которого отличается наибольшей заболоченностью.

Преобладающей формой минерального азота является нитратная. Максимальное содержание нитратного азота, обусловленное влиянием пирогенного фактора [15], отмечали в марте 2012 г. в воде руч. Мишунин ключ (2,9 мг/дм<sup>3</sup>) и в феврале 2018 г. в воде р. Ботчи (до 2,0 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрации нитритного и аммонийного азота в воде руч. Моховой, Солончаковый и др. находятся ниже предела обнаружения (0,03 и 0,04 мг/дм<sup>3</sup> соответственно).

Среди биогенных элементов выделяется фосфор. Наиболее низкие его концентрации наблюдаются в воде руч. Спокойный (табл. 1). В остальных водотоках его содержание превышает 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Такое повышенное содержание фосфора в воде обусловлено геологическими особенностями исследуемой территории, в составе подстилающих пород которой преобладают базальты, андезиты-базальты и их туфы, которые являются

Chemical composition of the Botchi basin stream waters in winter periods of 2010–2012, 2018

Показатель, ед. измерения	Ручьи				
	Спокойный	Солончаковый	Моховой	Подземный	Мишунин ключ
pH, ед. pH	$\frac{6,40-7,00}{6,73}$	$\frac{6,50-7,29}{6,86}$	$\frac{6,00-7,10}{6,60}$	–	7,29
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{2,7-3,3}{3,0}$	$\frac{2,2-2,8}{2,5}$	$\frac{2,2-3,2}{2,7}$	$\frac{3,1-3,6}{3,4}$	3,0
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	<1,0	<1,0	<1,0	$\frac{1,2-1,6}{1,4}$	1,0
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{4,7-5,5}{5,1}$	$\frac{6,1-6,7}{6,5}$	$\frac{6,3-6,9}{6,7}$	5,5	5,7
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{1,4-1,7}{1,5}$	$\frac{2,2-2,6}{2,4}$	$\frac{2,2-2,6}{2,4}$	$\frac{1,9-2,4}{2,1}$	2,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{16-21}{18}$	$\frac{33-37}{35}$	$\frac{34-38}{36}$	$\frac{31-38}{35}$	26
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{10,7-12,8}{11,8}$	$\frac{<2,0-4,2}{2,0}$	<2,0	<2,0	2,3
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{0,05-0,10}{0,08}$	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{0,29-0,37}{0,33}$	$\frac{0,16-0,67}{0,43}$	$\frac{0,26-0,58}{0,49}$	$\frac{0,29-0,40}{0,35}$	2,88
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{0,02-0,04}{0,03}$	$\frac{0,10-0,16}{0,14}$	$\frac{0,10-0,27}{0,17}$	$\frac{0,17-0,35}{0,22}$	0,45
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{0,14-0,26}{0,20}$	<0,02	<0,02	$\frac{<0,02-0,04}{0,03}$	0,02
Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{39,8-44,1}{42,0}$	$\frac{47,8-50,9}{49,4}$	$\frac{49,3-53,6}{51,0}$	$\frac{46,1-53,6}{49,9}$	45,5
Si, мг/дм <sup>3</sup>	$\frac{7,2-7,9}{7,6}$	$\frac{8,5-9,9}{9,1}$	$\frac{9,5-10,5}{9,9}$	$\frac{10,6-13,9}{12,3}$	11,0
ПО, мг О/дм <sup>3</sup>	$\frac{8,0-8,1}{8,0}$	$\frac{0,6-3,5}{2,0}$	$\frac{0,6-1,4}{1,3}$	$\frac{0,8-4,0}{2,4}$	4,1

**Примечание:** в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение, прочерк – отсутствие данных

главным источником фосфора, поступающего при выветривании и растворении пород в биосферу. Ранее повышенные концентрации фосфатов отмечали в летнюю и зимнюю межень в воде рр. Гыджу, Чистоводная и Бол. Хады [12, 14].

Большое влияние состав подстилающих пород оказывает и на содержание кремния, максимальное значение которого часто превышает

10 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Меньше содержится этих веществ в водах руч. Спокойный.

Содержание окрашенных органических веществ в воде ручьев, дренирующих вулканогенные образования, по величине цветности относится к градации очень малых (5°–10°) [12]. Значения перманганатной окисляемости не превышают 3,5 мг О/дм<sup>3</sup>. Более высокой концентрацией ор-

ганического вещества характеризуются воды руч. Спокойный (табл. 1).

**Термальные минеральные воды** бассейна р. Ботчи относятся к Прибрежной области азотных щелочных терм, протянувшейся вдоль побережья Татарского пролива и Японского моря. Проявления термальных вод обусловлены сочетанием благоприятных структурно-тектонических условий и достаточными ресурсами нагретых подземных вод инфильтрационного генезиса [8].

Значения минерализации и рН Ботчинского термального источника существенно выше, чем ранее рассмотренных речных вод (табл. 1, 2). По химическому составу термальные воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе натрия, первому типу [1]. Среди катионов доля иона натрия достигает 90% экв, остальных катионов – менее 10% экв. Содержание иона калия находится ниже предела обнаружения, иона магния в основном не превышает 1,0 мг/дм<sup>3</sup>. Среди анионов содер-

жание гидрокарбонатов и карбонатов составляет 73% экв, на втором месте сульфатные ионы (22% экв). По величине минерализации и химическому составу воды Ботчинского источника значительно отличаются от более минерализованных (0,4–9,0 г/дм<sup>3</sup>) хлоридно-натриевых термальных вод о. Сахалин [7], хлоридно-гидрокарбонатных натриевых вод (0,30–0,37 мг/дм<sup>3</sup>) Кульдурского [8] и гидрокарбонатно-натриевых вод Тырминского (159 мг/дм<sup>3</sup>) термальных источников.

Сравнение материалов исследований за весь период наблюдений свидетельствует о более высоких значениях рН и концентрации иона натрия в 2018 г., чем в предыдущие годы. Ниже стало содержание иона кальция. Подобные различия в составе воды могут быть обусловлены как отбором проб из углублений, при котором влияние вод р. Ботчи сведено к минимуму, так и межгодовыми колебаниями концентраций. В воде Тумнинского источника, например, минерализация воды в сква-

Таблица 2

Химический состав вод термальных источников бассейна р. Ботчи

Table 2

Chemical composition of thermal springs waters in the Botchi basin

Показатель, ед. измерения	Термальный источник / дата				
	Ботчинский				Ивлюхинский
	30.01.09	25.05.09 [5]	15.01.17	8.02.18	08.08.11 [5]
рН, ед. рН	7,26	–	9,27	9,76	7,2
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	24,0	21,6	13,0	29,3	10,3
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	<1,0	<1,0	<1,0	< 1,0	<1,0
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	3,1	3,4	1,5	1,5	4,0
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1,2	1,1	< 1,0	< 1,0	1,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	66	69	88	57	42
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	–	–	1,35	11,6	–
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	28	21	17	20	2,6
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2,6	2,7	4,0	3,5	<2,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	< 0,04	< 0,04	0,05	0,07	< 0,04
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,43	0,27	–	0,14	0,62
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,111	0,176	–	0,052	0,069
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02
M, мг/дм <sup>3</sup>	126,9	120,2	126,6	124,7	62,0
Si, мг/дм <sup>3</sup>	16,7	15,3	32,7	19,3	11,4
F, мг/дм <sup>3</sup>	–	1,00	–	–	0,24

жине № 8 за 15-летний период эксплуатации изменялась (с учетом кремневой кислоты) в пределах 131–175 мг/дм<sup>3</sup> [6, 9].

Содержание соединений азота в воде Ботчинского источника, так же как и в воде остальных источников термальных вод восточного макросклона северного Сихотэ-Алиня, в основном не превышает 0,4 мг/дм<sup>3</sup>. Повышенные концентрации наблюдаются для соединений фосфора и кремния, причем максимум значения первого отмечался в 2009 г., второго – 2017 г. Причина такой большой амплитуды колебаний концентраций может быть обусловлена геологическими особенностями исследуемой территории. Пересчет на кремнистую кислоту дает значение 52–54 мг/дм<sup>3</sup>, т.е. является более высокой, чем лечебная концентрация (50 мг/дм<sup>3</sup>) [6].

Содержание железа в воде находится ниже предела обнаружения, органического вещества не превышает 1,6 мг О/дм<sup>3</sup>, фторидного иона – 1,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Сравнение данных Ботчинского и Тумнинского термальных источников свидетельствует о близких концентрациях основных ионов и более высоком содержании кремния в воде Тумнинского источника [6, 8]. Гидрокарбонатно-натриевый состав и более низкое содержание ионов натрия, гидрокарбонатного иона и кремния (возможно, обусловленное разбавлением речными водами) характерно для вод термальных источников «Тутто», «Ивлюхинский» и «Чиполи» [8].

#### **Заключение**

Воды малых рек бассейна р. Ботчи в зимний период характеризуются широким разнообразием химического состава, который обусловлен большими различиями в составе подстилающих пород. Преобладание в питании рек подземных вод вулканогенных образований обуславливает гидрокарбонатно-кальциевый состав, низкое содержание хлоридных ионов и ионов калия, аммонийного азота и органических веществ, повышенную минерализацию (до 56 мг/дм<sup>3</sup>) и концентрации соединений кремния и фосфора.

Наименьшие значения минерализации, концентрации фосфатов и кремния и повышенное содержание сульфатного иона, аммонийного азота и органического вещества отмечаются в водах рек, в питании которых участвуют подземные воды современных аллювиальных отложений.

Температура Ботчинского минерального термального источника составляет 42–44 °С. Воды источника характеризуются гидрокарбонат-

но-натриевым составом, щелочными значениями рН, повышенными величинами минерализации (< 120 дм/дм<sup>3</sup>), содержанием сульфатных ионов и кремния, низкой концентрацией ионов калия, кальция и магния. По солево-составу воды Ботчинского источника близки к водам Тумнинского термального источника, отличаются более низким содержанием кремния.

Проведение исследований в дальнейшем даст возможность более подробно рассмотреть температурный режим, солевой и микроэлементный состав Ботчинского и Ивлюхинского (возможно «Тутто» и «Чиполи») минеральных термальных источников.

*Автор выражает благодарность администрации ФГБУ «Государственный природный заповедник «Ботчинский» за содействие в организации и проведении экспедиционных исследований.*

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. Арсеньев В.К. Избранные произведения. Т. 2. В горах Сихотэ-Алиня. Сквозь тайгу. Дневники, очерки, статьи. Хабаровск: Кн. изд-во. 1997. 624 с.
3. Архипов Б.С., Болдовский Н.В., Дубровина Г.В., Калита В.А., Караванов К.П., Кулаков В.В., Мордовин А.М., Нарбут Н.А., Николаев А.П., Николаева Л.К., Огай М.А., Шаталова С.А. Подземные воды восточной части зоны БАМ. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1992. 206 с.
4. Болдовский Н.В. Подземные воды Восточно-Сихотэ-Алиньского вулканогенного пояса. Владивосток: Дальнаука, 1994. 224 с.
5. Завгородько В.Н., Завгородько Т.И., Сидоренко С.В. Горячие воды холодного побережья. Хабаровск: Изд-во ДВГМУ, 2012. 168 с.
6. Завгородько В.Н., Завгородько Г.В., Завгородько Т.И. Тумнинский минеральный источник. Хабаровск: Изд-во ДГМУ, 1999. 137 с.
7. Жарков Р.В. Геохимические особенности и перспективы использования термальных вод острова Сахалин // Подземные воды Востока России: материалы XXII совещ. по подзем. водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием. Новосибирск: ИНГГ, 2018. С. 204–207.
8. Кулаков В.В., Сидоренко С.В. Минеральные воды и лечебные грязи Приамурья. Хабаровск: ДВГМУ, 2017. 474 с.

9. Потурай В.А., Строчинская С.С., Компаниченко В.Н. Комплексная биогеохимическая характеристика термальных вод Тумнинского месторождения // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 1. С. 22–30.
10. РД 52.18.595-96 Федеральный перечень Методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды (с Изменениями № 1, 2, 3). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200036098> (дата обращения: 20.03.2019).
11. Толстихин Н.И. Классификация природных минеральных вод по температуре // Геология и разведка. Известия вузов. 1970. № 3. С. 97–98.
12. Форина Ю. А., Шестеркин В. П. Особенности химического состава речных вод восточного макросклона Северного Сихотэ-Алиня // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 81–87.
13. Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Костомарова И.В. Гидрохимические исследования в бассейне р. Мульпа // Охрана и научные исследования на особо охраняемых природных территориях Дальнего Востока и Сибири: материалы межд. научно-практ. конф., Чегдомын, 2012. С. 144–146.
14. Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Фосфор в воде таежных рек северного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32, № 1. С. 116–119.
15. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние катастрофических лесных пожаров на химический состав воды рек бассейна р. Анюй (Северный Сихотэ-Алинь) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2016. № 3. С. 47–54.

## FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BOTCHI RIVER BASIN ENVIRONMENTAL WATERS (Khabarovsk Territory) IN WINTER

V.P. Shesterkin

*In the paper the author considers the features of chemical composition of the Botchi River basin environmental waters during winter. He shows that river waters recharging from groundwater of volcanogenic formations are characterized by low mineralization (46–56 mg/dm<sup>3</sup>), bicarbonate-calcium composition, low concentration of potassium ions, chloride and sulfate ions, high content of silicon compounds and mineral phosphorus. Lower levels of mineralization, concentrations of silicon and phosphorus and high concentration of sulphate ion, ammonium nitrogen, dissolved iron and organic matter are revealed in the small rivers water draining modern alluvial deposits. The water in the Botchinsky mineral thermal spring has the temperature 42–44 °C, high pH and mineralization values (> 120 mg/dm<sup>3</sup>), concentrations of chloride and sulfate ions, silicon compounds, hydrocarbonate-sodium composition and low content of calcium and magnesium ions, ammonium nitrogen and dissolved iron.*

**Keywords:** Botchi river basin, winter, small rivers, thermal spring, chemical composition, mineralization.