

УДК 556.55:550.45(571.65)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОД МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Минюк П. С., Пожидаева Д. К., Бурнатный С. С.

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт
им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан
E-mail: minyuk@neisri.ru

Исследованы гидрохимические характеристики водных объектов, включающих озера, ряд ручьев и рек, а также техногенных отстойников, расположенных в зоне разработок россыпных месторождений золота. Определены общая минерализация, содержания отдельных катионов и анионов, жесткость воды, сухой остаток, кислотный показатель pH. Озерная вода относится к ультрапресной с общей минерализацией 15.08–52.6 мг/л. Повышенные значения этого показателя выявлены в озерах, расположенных в долине р. Берелёх, где ведется разработка россыпей золота. Водные объекты из участков отработки россыпных месторождений характеризуются повышенной минерализацией (до 394 мг/л) и жесткостью (среднее 2.20 мг-экв./л). В некоторых водоемах установлены высокая кислотность и содержания аммиака, железа, превышающие допустимые значения.

Ключевые слова: гидрохимия, минерализация, водоемы, озера, Магаданская область.

DOI: 10.34078/1814-0998-2022-2-45-58

ВВЕДЕНИЕ

Водные объекты чувствительны к изменению природной среды, включая антропогенное воздействие. В Магаданской области озера покрывают огромные площади, хотя коэффициент озерности, по сравнению с коэффициентом других территорий, пониженный и составляет 0.24. Высокие коэффициенты (3.9 %) отмечены на озерно-аллювиальных равнинах Яно-Индигирской, Колымской и Абыйской низменностей (Измайлова, Корнеевская, 2020).

В пределах области на спутниковых снимках 2013 г. дешифрировано более 27 тыс. водоемов различного генезиса и размера, площадью более

0.1 га (площадь, дешифрируемая на большинстве снимков области). Суммарная площадь водного покрытия более 1550 км², в том числе естественными водоемами – около 1100 км², суммарный объем озерных вод составляет 2.86 км³ (Измайлова, 2018). Озер площадью более 1 га насчитано около 10 150, в том числе более 20 га – 795. Более 17 тыс. водоемов имеют площади от 0.1 до 1 га (Информационная система «Озера России». http://limno.ru/developments/catalogs/lakes_rus/; дата обращения декабрь 2021) (табл. 1).

Гидрохимические характеристики воды являются главными индикаторами состояния водных объектов. Состав воды зависит от многих природных и техногенных факторов. Основными из них являются географическое и гипсометрическое положение водных объектов, морфологические характеристики водосбора и водных объектов, локальный климат, геологическое строение дренируемой территории, мерзлотное состояние, состав растительности, удаленность от промышленных и сельскохозяйственных объектов и т. д. (Моисеенко, Гашкина, 2010; Дау-вальтер, Кашулин, 2014).

Таблица 1. Распределение водоемов Магаданской области (включая искусственного происхождения) по градациям площадей

Table 1. Distribution of water reservoirs in Magadan Oblast (including those of the artificial origin) by area gradations

Градация площади, км ²	> 100	50–100	10–50	5–10	1–5	0.2–1	0.05–0.2	0.01–0.05	< 0.01
Количество водоемов	1	0	7	5	115	680	2150	7200	17000
Площадь водного покрытия, км ²	441	0	168	34	210	260	214	160	64

1. Исследованы озера, имеющие различные физические и гидрологические параметры, географическое и гипсометрическое положение, различный возраст и состав окружающих горных пород (табл. 2). Все озера, кроме двух, расположены вне зоны добычи полезных ископаемых. Как правило, они находятся вдали от городов и поселков и представляют собой не нарушенные деятельностью человека водные системы.

Озеро Чистое находится в Ланковской кайнозойской впадине Северного Приохотья, на левобережье р. Ланковая (приток р. Ола), с которой оно соединяется протокой Олачан (Белая) протяженностью 15 км. Около 30 ручьев различной длины впадают в озеро. Наиболее крупным на западе озера является руч. Учасан длиной 9.65 км. Его исток находится на сопке с абсолютной отметкой 660.8 м. Сопка сложена пъягинской свитой нижнего мела, представленной базальтами, андезитами и их туфами, реже туфами кислого состава, туфопесчаниками (Геологическая..., 1985). На юге в озеро впадает крупный руч. Сев. Норчан длиной 11.4 км, берущий начало на сопке с абсолютной отметкой 841.8 м. На южном берегу озера распространены торфяники голоценового возраста, в отдалении на сопках – пъягинская свита. С восточной стороны в озеро впадает р. Мурындыкан длиной 10.9 км. Исток реки находится на сопке с абсолютной отметкой 734.3 м. Река дренирует неогеновые отложения, пъягинскую свиту, нерасчлененные верхнемеловые отложения, представленные дацитами, андезидацитами, риодацитами и их туфами. На севере в озеро

впадает р. Интримнэн длиной 6.35 км. Река размывает неогеновые осадочные отложения, голоценовые торфяники, а в верховьях – верхнемеловые дациты, андезидациты, риодациты и их туфы.

Озеро Корчан находится на правобережье р. Ланковая в Ланковской впадине. Абсолютная отметка уреза воды составляет 119 м. Оно соединено небольшой протокой с р. Корчан (правый приток р. Ланковая). Окружающие озеро отложения представлены преимущественно голоценовыми торфяниками. В северной и северо-восточной частях распространены делювиально-пролювиальные отложения, образованные по верхнемеловым гранитам, в западной части отмечены выходы осадочных пород палеогенового и неогенового возраста, выполняющие Ланковскую впадину (Геологическая..., 1985).

Озеро Гранд входит в группу Эликчанских озер и расположено на водоразделе Арктического и Тихоокеанского бассейнов. Это самое большое озеро из группы Эликчанских озер. В него впадает несколько мелких ручьев, берущих начало на прибрежных сопках, вытекает – р. Майманджа (Яма). Абсолютные отметки окружающих гор составляют 1200–1500 м. Они сложены меловыми вулканогенными и юрскими осадочными породами, преимущественно вулканомиктовыми песчаниками. Меловые породы преобладают и представлены риолитами и их туфами. Делювиальные и пролювиальные отложения распространены повсеместно вблизи озера и на прилегающих сопках (Геологическая..., 1969).

Таблица 2. Физико-географическая характеристика исследованных озер Магаданской области
Table 2. Physical and geographical characteristics of the studied lakes in Magadan Oblast

Озеро	Координаты	Длина, км	Ширина, км	Площадь водного зеркала, км ²	Макс. глубина, м
Чистое	59°32'35.81" N, 151°48'49.99" E	8.8	6.5	42.50	6.6
Корчан	59°47'08.33" N, 151°52'18.56" E	1.7	1.3	1.96	2.7
Гранд	60°43'47.87" N, 151°53'05.84" E	4.0	1.5	3.00	22.5
Черное	61°01'14.87" N, 151°44'13.76" E	1.2	0.8	0.69	6.1
Грязевое	61°08'21.18" N, 152°19'57.22" E	0.2	0.2	0.03	2.7
Джека Лондона	62°04'49.51" N, 149°31'24.89" E	9.0	1.5	13.80	50.0
Хариузовое	63°18'44.13" N, 147°46'47.75" E	0.2	0.2	0.03	2.7
Большое	63°17'55.27" N, 147°51'06.99" E	1.1	0.9	3.65	6.0
Малык	63°30'18.17" N, 147°53'25.73" E	12.0	2.6	22.60	68.5
Сапог	63°29'22.74" N, 147°50'17.55" E	1.1	0.3	0.33	14.0
Момонтай	63°42'12.62" N, 148°08'15.93" E	10.3	2.57	15.6	110.0
Пересохшее	63°44'13.83" N, 148°10'49.19" E	1.5	0.2	0.24	2.5
Водораздельное	63°44'07.95" N, 148°13'06.07" E	0.7	0.5	0.39	2.5
Близнецы	63°43'54.82" N, 148°16'39.28" E	1.9	0.3	0.51	42.0
Юг	63°48'17.72" N, 147°39'09.52" E	3.5	1.0	2.24	30.0
Валунное	63°49'15.27" N, 147°48'52.89" E	1.8	0.5	1.25	4.0
Уи	63°49'27.81" N, 147°53'21.71" E	4.3	1.2	2.30	1.5
Форель	63°50'01.61" N, 147°51'03.75" E	0.8	0.3	0.18	10.7
Урультун	63°48'43.09" N, 148°20'57.28" E	9.0	0.7	5.95	90.0

Озеро Черное окаймляют четвертичные отложения. На восточном берегу расположены крутые обнажения высотой более 10 м, представленные песком и алевритами с жилами ископаемого льда. На удалении от озера на дневную поверхность выходят нижнемеловые вулканиты (Геологическая..., 1969). С севера в озеро впадают несколько ручьев, с юга вытекает ручей, являющийся притоком р. Басандра.

Озеро Грязевое расположено в небольшой седловине в верховье руч. Озерный, левого притока р. Талая. На западе озера, на сопках с абсолютными отметками 1994 м, распространены верхнемеловые породы верхнетальской свиты, сложенной риолитами, кварцевыми трахитами, дацитами. На востоке отмечены выходы плинсбахских и тоарских пород, представленных алеврито-глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками. Эти породы слагают горы с абсолютной высотой около 900 м (Геологическая..., 1974а).

Озеро Джека Лондона лежит в поле ледниковых отложений последнего оледенения. Острова озера сложены также моренами. Основные крупные ручьи, длиной до 15 км, впадают в озеро с запада и берут начало в горах, сложенных позднеюрскими гранитами, откуда двигались ледники. Высота над уровнем моря составляет 778 м. С восточной стороны, за выходами ледниковых отложений, распространены нижнеюрские осадочные породы (Геологическая..., 1974б). Озеро протокой Вариантов соединено с оз. Танцующих Хариусов.

Озера Хариузовое и Большое расположены в междуречье Берелёха и Малык-Сиена в области развития верхнеплейстоценовых ледниковых отложений. Древние породы представлены верхнеюрской сусуманской свитой, сложенной глинистыми сланцами, песчаниками, алевролитами (Геологическая..., 1962). Озеро Хариузовое проточное. С севера в него впадает ручей, который с юга вытекает и впадает в р. Берелёх. Озеро Большое расположено в 3 км восточней оз. Хариузовое. В озеро впадает ручей, вытекающий из недалеко расположенного оз. Малое.

Озера Малык, Сапог (неформальное название) расположены в области распространения ледниковых отложений. В окрестностях озер наблюдаются отдельные выходы верхнеюрской сиестьянской толщи, сложенной песчаниками, сланцами, алевролитами. В северной части оз. Малык отмечены выходы позднеюрских гранитов, которые доминируют в гальке пляжа озера (Геологическая..., 1967). С юга озера вытекает р. Малык-Сиен. Две крупные реки (Охандя и Обдра) впадают в озеро с северо-запада и северо-востока. Длина р. Охандя и Обдра составляет около 25 и 15 км соответственно. Высота окру-

жающих озеро гор 1430–1610 м. Озеро Сапог отделено от оз. Малык узким песчано-галечным баром.

Озеро Момонтай высокогорное. Абсолютная отметка уреза воды составляет 1048 м. Оно проточное, с запада впадают руч. Зеленый длиной около 10 км и около 15 мелких ручьев, длина которых несколько километров. С юга в озеро впадает руч. Заболоченный протяженностью более 10 км, а с востока – руч. Заря и Чара длиной около 8 км каждый. На востоке озера расположена г. Момонтай высотой 2002 м, абсолютные отметки восточных гор составляют 1500–1600 м, западных – 200–1600 м.

Ледниковые отложения распространены на севере и западе озера, на востоке доминируют юрские породы серганьинской свиты, представленные андезитами, дацитами, риолитами, терригенными осадочными разностями (Геологическая..., 1964).

Озеро Близнецы высокогорное, абсолютная отметка уреза воды составляет 1044 м. Расположено в 5.3 км восточнее оз. Момонтай. С запада в озеро впадает руч. Ульбутакан, который вытекает с востока и впадает в оз. Младшее и р. Урультун. Окружающие озеро горы имеют абсолютные отметки около 1500 м. Вблизи озера обнажены среднеюрские осадочные терригенные породы, представленные песчаниками, алевритами, глинистыми сланцами (Геологическая..., 1964).

Озера Водораздельное и Пересохшее (неформальные названия) небольшие, расположены в ледниковых отложениях между оз. Близнецы и Момонтай. Озеро Водораздельное лежит непосредственно на водоразделе. Через оз. Пересохшее протекает ручей, впадающий в оз. Момонтай.

Озера Юг, Валунное, Уи, Форель. Среди них самое крупное оз. Уи. Названные озера проточные, расположены цепочкой, через них протекает р. Уи. Абсолютная отметка уреза реки в этом районе составляет 1062 м. Озера находятся в поле распространения ледниковых отложений. Все ручьи, впадающие в эти озера с юга, берут начало с гор высотой 2150–2300 м, сложенных позднеюрскими гранитами. На западном берегу оз. Юг обнажены верхнеюрские отложения сиестьянской толщи, представленной песчаниками, алевролитами, сланцами. В северной части названной группы озер за выходами ледниковых отложений закартированы среднеюрские породы сусуманской свиты и позднеюрские субвулканическими породы, представленные дацитами (Геологическая карта..., 1967). Озеро Форель расположено на северо-западе от оз. Уи, с которым соединяется протокой длиной несколько десятков метров.

Озеро Урультун имеет изогнутую форму и крутые склоны сопки. Озеро проточное, через него протекает р. Урультун, впадающая в озеро

с запада и вытекающая с юго-востока. Абсолютная отметка уреза воды составляет 944 м. Окружающие горы имеют вершины 1200–1500 м. С востока они сложены верхнетриасовыми и нижнеюрскими терригенными породами (Геологическая..., 1964). На западе залегают преимущественно позднеюрские вулканические породы серганийской свиты. В восточной части озера распространены ледниковые отложения.

2. Вторую группу составляют водные объекты, расположенные в зоне добычи россыпных полезных ископаемых. Эти объекты выборочно опробованы в долинах рек вблизи дорог, включая федеральную трассу (см. рисунок; табл. 3).

Точки отбора проб В-(1–8) расположены в бассейнах рр. Такичан и Дегдекан, которые дренируют осадочные породы омчакской свиты поздней перми, представленные аргиллитами, алевролитами, песчаниками. Породы прорваны позднеюрскими интрузивными образованиями нерского комплекса (Геологическая..., 2016).

Образцы В-(9–12) отобраны в бассейне р. Берелёх и ее притоков, размывающих осадочные юрские отложения артыкской, хара-юрхской, бурустахской серий, сложенных преимущественно аргиллитами, алевролитами, песчаниками (Геологическая..., 2016).

Пробы воды В-(13–21) отобраны из рр. Лев. Буркала, Дебин, Оротукан, руч. Сентябрьский, а

Таблица 3. Водные объекты исследований, расположенные вдоль федеральных дорог

Table 3. Studied water objects, located along federal roads

Объект	Координаты	Проба	Примечание
уч. «Такичан», р. Такичан, в 100 м ниже базы	62°05'39.8" N 146°42'47.8" E	В-1	Река
уч. «Такичан», левый приток р. Такичана, 915 м ниже базы	62°03'46.3" N 146°46'50.8" E	В-2	Ручей
		В-3	Ручей
р. Дегдекан	61°59'35.7" N 147°03'41.8" E	В-4	Ручей
Прииск «Гвардеец», р. Дегдекан	61°59'20.4" N 147°05'03.4" E	В-5	Отстойник
Прииск «Гвардеец», р. Дегдекан	61°59'16.5" N 147°05'08.3" E	В-6	Ручей
р. Дегдекан, мост	62°00'25.7" N 147°11'39.9" E	В-7	Река
		В-8	Отстойник
472-й км Тенькинской трассы, руч. Бабай	62°43'25.8" N 147°28'07.4" E 62°43'25.4" N 147°28'07.6" E	В-9	Отстойник
		В-10	Отстойник
1360-й км основной трассы, р. Чай-Урия	62°41'59.7" N 147°32'58.7" E	В-11	Отстойник
1417-й км основной трассы, руч. Лукич	62°51'03.6" N 148°27'15.0" E	В-12	Отстойник
1463-й км основной трассы, Лев. Буркала	62°39'27.1" N 149°01'38.3" E	В-13	Отстойник
р. Дебин	62°40'05.5" N 149°09'59.0" E 62°40'07.4" N 149°10'04.3" E	В-14	Река
		В-15	Отстойник
1497-й км основной трассы, р. Дебин	62°39'00.8" N 149°14'17.8" E 62°33'09.1" N 149°33'16.1" E	В-16	Отстойник
		В-17	Ручей
р. Дебин	62°20'16.2" N 150°46'50.0" E 62°21'49.5" N 151°58'35.4" E	В-18	Отстойник
		В-19	Река
руч. Сентябрьский	62°17'42.5" N 151°22'09.5" E	В-20	Ручей
р. Верхний Оротукан	62°15'21.8" N 151°30'16.8" E	В-21	Ручей
руч. Обрывистый	62°06'27.2" N	В-22	Ручей
р. Паутовая	151°47'40.3" E	В-23	Река
1732-й км основной трассы, р. Мякит	61°33'49.5" N 152°15'20.6" E	В-25	Отстойник

также отстойников, расположенных в долинах названных рек, выполненных аллювиальными отложениями. В районе отбора проб распространены юрские отложения хара-юрхской и артыкской серий, моржовской и бюченнахской свит, сложенных песчаниками, алевролитами, аргиллитами, сланцами (Геологическая..., 2007, 2016).

Образцы воды В-(22, 23) отобраны из р. Паутовая и руч. Обрывистый, которые дренируют триасовые осадочные отложения орутуканской толщи, кюнгуйской и среднеканской свит, сложенных преимущественно алевролитами, аргиллитами, туфопесчаниками, известняками (Геологическая..., 2007).

Проба В-25 взята из р. Мякит, которая в месте отбора размывает нижнеюрские отложения калтаховской свиты, представленной алевролитами, аргиллитами, песчаниками (Геологическая..., 2007).

МЕТОДИКА

Отбор проб и лабораторные исследования. Пробы воды (59 проб) объемом 2 л отбирали в летнее время на глубине 10–30 см от поверхности водоемов. Химический анализ проб выполнен в Северо-Восточном центре коллективного пользования СВКНИИ ДВО РАН методами титриметрии, фотоколориметрии и атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием утвержденных унифицированных методических указаний на спектрофотометре UVmini-1240 (SHIMADZU), атомно-эмиссионном спектрометре Agilent 4100 MP-AES, а также весовым методом. Определяли содержание анионов и катионов, жесткость и щелочность воды, значения pH, а также элементов-примесей – Cd^{2+} , Cr^{3+} , Mo^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} . Предел изменений для элементов составлял 0.005 мг/л.

В работе использована классификация вод О. А. Алекина (1953).

По преобладающему аниону, согласно этой классификации, природные воды делятся на три класса:

- гидрокарбонатные и карбонатные;
- сульфатные;
- хлоридные.

Каждый класс по преобладающему катиону делится на три группы: кальциевую (Ca), магниевую (Mg), натриевую (Na).

Каждая группа, в свою очередь, подразделяется на 4 типа вод, определяемых соотношением между содержанием ионов:

- I тип – $\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$;
- II тип – $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$;
- III тип – $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ или $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$;
- IV тип – $\text{HCO}_3^- = 0$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

На территории Дальневосточного федерального округа качество вод большинства водных объектов оценивалось как «загрязненная»: Республик Саха (Якутия) (91.4 %), Бурятия (76.7 %), Камчатского (82.7 %), Забайкальского (80.8 %), Хабаровского (61.2 %), Приморского (60.0 %) краев, Сахалинской (72.5 %), Магаданской (64.3 %), Амурской (52.8 %) областей, Еврейской автономной области (46.1 %). Число случаев экстремально высокого и высокого загрязнения поверхностных вод Колымы в 2020 г. составило 11 (Обзор..., 2021). Гидрохимическая характеристика исследованных водных объектов во многом зависит от степени техногенного загрязнения.

Характеристика воды озер. По геохимическим показателям воды исследованные озера разделены на две группы. В первую группу входит большинство изученных озер, расположенных вне зон разработки россыпных полезных ископаемых. Вода этих озер характеризуется очень слабой минерализацией и относится к классу гидрокарбонатных. Минимальные значения общей минерализации характерны для вод оз. Юг (6.98 мг/л), Форель (9.84 мг/л), Пересохшее (15.08 мг/л), Урульгун (17.78 мг/л), Малък (19.87 мг/л). Незначительное повышение отмечено для воды оз. Черное (110.66 мг/л, Черное-2) и Грязевое (49.80 мг/л) (табл. 4). Берега оз. Черное сложены плейстоценовыми осадками, включающими мощные жилы льда, при оттайке которых происходит активный смыв детритового материала в озеро. Сухой остаток в пробе Черное-2 составляет 160.2 мг/л. Озеро Грязевое слабопроточное, ил с озера использовался на курорте Талая. Минерализация, возможно, обусловлена подземными водами. В воде р. Талая минерализация составляет 62 мг/л, в термальных скважинах – 450–980 мг/л (Брагин и др., 2021).

В группе катионов воды оз. Юг, Уи, Форель, Малък доминируют $\text{Ca} \rightarrow \text{Na} \rightarrow \text{Mg}$. Эти озера проточные; крупные ручьи, впадающие в них, берут начало с гор, сложенных юрскими гранитами. К натриевым относятся воды оз. Корчан, к калиевым – оз. Джека Лондона и Пересохшее. Различие обусловлено, видимо, геологическим строением районов, что наблюдается и в других регионах. Эти озера находятся в областях распространения ледниковых отложений, включая морены, которые характеризуются неоднородным составом детритового материала, принесенного ледниками. Связь компонентного химического состава вод с геологическим строением дренируемых территорий отмечается повсеместно (например, Кожевникова и др., 2017).

Во вторую группу озер входят оз. Хариузовое и Большое, расположенные в долине р. Берелёх, где в настоящее время идет добыча россыпных полезных ископаемых.

Таблица 4. Гидрохимия воды исследованных озер
Table 4. Hydrochemistry of the studied lakes water

Озеро (количество проб)	Чистое (7)	Чистое-2 (1)	Корчан (2)	Гранд (4)	Черное (2)	Черное-2 (1)	Грязевое (2)	Джека Лондона (3)	Хариузовое (1)	Большое (1)
Щелочность, мг-экв./л	0.61	0.47	0.60	0.25	0.42	1.20	0.55	0.43	0.28	0.28
Окисляемость (ХПК), мг/л O ₂	6.22	8.80	8.02	2.60	4.36	2.16	1.75	6.50	9.28	9.52
pH	5.96	6.60	6.50	6.58	6.65	6.50	6.80	6.20	6.80	6.00
Na ⁺	2.74	4.86	1.82	1.44	1.08	2.07	2.50	0.36	2.86	1.04
K ⁺	0.73	0.42	–	0.25	0.49	1.02	0.27	4.35	1.36	0.34
Ca ²⁺	2.07	5.46	0.86	3.60	5.22	15.92	9.46	1.24	50.77	5.19
Mg ²⁺	1.28	2.28	0.74	0.42	2.01	3.04	0.88	0.40	3.69	1.13
Mn ²⁺	–	–	–	0.02	0.01	0.57	0.01	–	–	–
Ba ²⁺	0.01	–	0.14	–	–	–	–	–	–	–
Str ²⁺	0.02	–	0.01	–	–	–	–	–	–	–
Al ³⁺	0.26	–	0.06	–	–	–	–	0.02	–	0.02
Fe ³⁺	1.64	–	0.52	0.02	0.05	0.06	0.02	–	–	–
Cu ²⁺	0.12	–	–	0.01	–	–	0.03	0.10	–	–
Co ²⁺	–	–	–	0.01	–	–	0.01	–	–	–
Zn ²⁺	0.07	–	–	0.08	–	–	0.04	–	–	–
NH ₄ ⁺	–	0.04	0.69	0.06	0.02	0.05	0.04	–	0.04	0.04
Сумма катионов	8.77	13.06	4.82	5.82	8.95	22.84	13.18	6.49	58.72	7.76
CO ₃ [–]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
HCO ₃ [–]	26.60	28.80	12.20	15.83	25.32	73.69	33.90	13.20	23.00	17.30
SO ₄ [–]	0.56	5.00	0.47	0.25	0.67	0.66	0.35	0.61	124.50	2.50
NO ₂ [–]	0.51	0.10	3.62	0.85	11.80	13.4	2.00	0.14	0.09	0.09
NO ₃ [–]	–	–	0.95	0.09	0.03	0.04	0.08	–	0.03	0.03
Cl [–]	–	6.80	0.31	0.42	–	0.03	0.25	–	1.05	2.20
Сумма анионов	27.68	40.70	17.54	17.43	37.80	87.82	36.58	13.95	148.67	22.12
Общ. минерализация, мг/л	36.45	53.76	22.36	23.31	46.75	110.66	49.80	20.44	207.39	29.88
Сухой остаток, мг/л	44.40	71.50	9.43	26.48	38.50	160.20	61.95	10.45	250.15	48.30
Потери при прокаливании, %	48.80	53.01	19.33	19.90	8.49	13.29	21.45	52.57	77.33	59.83
Общая жесткость, мг-экв./л	0.20	0.46	0.10	0.21	0.43	1.05	0.54	0.09	2.84	0.35

Озеро (количество проб)	Малык (2)	Пересохшее (1)	Водораздельное (1)	Близнецы (1)	Уи (2)	Юг (1)	Форель (1)	Урульгун (2)
Щелочность, мг-экв./л	0.55	0.30	0.60	0.50	0.45	0.30	0.40	0.35
Окисляемость (ХПК), мг/л O ₂	7.87	7.15	6.67	7.21	6.89	7.68	7.94	6.45
pH	5.50	6.10	6.20	6.50	4.60	6.00	6.10	6.40
Na ⁺	1.38	0.20	0.23	0.04	2.11	0.39	0.86	0.33
K ⁺	–	2.79	2.30	0.15	0.26	–	–	0.48
Ca ²⁺	1.81	1.37	2.52	3.47	2.84	0.46	0.89	2.09
Mg ²⁺	0.48	0.31	0.42	0.83	1.38	0.10	0.12	1.09
Mn ²⁺	–	–	–	–	1.46	–	–	–
Ba ²⁺	0.02	–	–	–	–	–	–	–
Sr ²⁺	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06	–	–	0.03
Al ³⁺	0.12	0.03	0.05	0.01	0.35	0.01	0.04	0.01
Fe ³⁺	0.33	–	–	–	0.21	–	–	–
Cu ²⁺	–	0.48	–	–	–	–	–	–
Co ²⁺	–	–	–	–	–	–	–	–
Zn ²⁺	–	–	–	–	–	–	–	–
NH ₄ ⁺	0.73	–	–	–	–	–	–	–
Сумма катионов	4.88	5.24	5.57	4.55	8.67	1.96	2.91	4.04
CO ₃ [–]	–	–	–	–	–	–	–	–
HCO ₃ [–]	9.65	9.10	15.20	15.20	24.40	6.10	6.10	12.20
SO ₄ [–]	0.46	0.61	0.62	0.61	1.04	0.72	0.65	0.64
NO ₂ [–]	3.62	0.13	0.12	0.80	0.28	0.16	0.18	0.90
NO ₃ [–]	0.93	–	–	–	–	–	–	–
Cl [–]	0.34	–	–	–	–	–	–	–
Сумма анионов	14.99	9.84	15.94	16.61	25.72	6.98	6.93	13.74
Общ. минерализация, мг/л	19.87	15.08	21.51	21.16	34.39	8.94	9.84	17.78
Сухой остаток, мг/л	9.08	21.10	26.45	84.45	268.20	6.10	17.35	61.48
Потери при прокаливании, %	9.36	39.10	44.23	9.95	52.50	14.80	37.20	29.43
Общая жесткость, мг-экв./л	0.12	0.09	0.16	0.24	0.26	0.03	0.05	0.19

Примечание. Прочерки – содержания ниже предела обнаружения.

От вод озер первой группы воды этих озер отличаются повышенными значениями общей минерализации (до 207.39 мг/л), индекса окисляемости (9.28–9.52) и содержанием анионов (см. табл. 4). Вода оз. Хариузовое относится к классу сульфатных ($\text{SO}_4^{2-} = 124.5$ мг/л), с высоким содержанием кальция (50.8 мг/л). Повышенное значение SO_4^{2-} наблюдается и для воды оз. Большое (2.5 мг/л). Для вод этой группы озер отмечаются низкие содержания анионов NO_2^- (0.09 мг/л), повышенные концентрации Cl^- (1.05–2.2 мг/л).

Общая жесткость воды исследованных озер невысокая и варьирует в пределах 0.03–1.05 мг-экв./л. Самые высокие значения этого показателя (2.84 мг-экв./л) установлены для воды оз. Хариузовое.

В целом по степени минерализации озера близки к озерам высокогорных районов, например, Горного Алтая, характеризующимися снежно-ледниковым питанием, обедненностью почв органическими остатками, недостаточным временем контакта вод с породами (Бородин, Бородин, 2019).

Характеристика вод, подверженных техногенному воздействию. Объекты исследований представляют ручьи и реки, а также отстойники, расположенные в долинах рек вдоль трасс. Задача работ заключалась в проведении рекогносцировочных определений химического состава вод и сравнение с таковыми, полученными для озер.

По степени минерализации воды техногенных объектов неоднородные. Многие из них в разы более насыщенные растворимыми компонентами, чем воды озер. Минимальная минерализация (39.91 мг/л) и жесткость (0.42 мг-экв./л) отмечены для воды р. Паутовая (В-23), что сравнимо с характеристиками вод озер (см. табл. 4; 5). Относительно низкой минерализацией (70.14–80.04 мг/л) характеризуется вода руч. Бабай (В-9, -10). Воды с минерализацией от 100 до 200 мг/л свойственны р. Такичан, на некоторых участках рр. Дегдекан и Дебин, руч. Последний, р. Оротукан, руч. Обрывистый, р. Мякит. Минерализация воды в пределах 200–300 мг/л типична для р. Лев. Буркандья, отстойников в бассейне р. Дебин, р. Верхний Оротукан и для некоторых отстойников в бассейне р. Дегдекан. Максимальная минерализация (> 300 мг/л) выявлена для воды р. Дегдекан вблизи пос. Гвардейский, для р. Чай-Урия, руч. Лукич, Сентябрьский.

Доминантами среди катионов являются кальций, магний, натрий, коэффициенты корреляции (r) которых с общей минерализацией составляют 0.90, 0.82, 0.64 соответственно. Среди анионов преобладают HCO_3^- и SO_4^{2-} . По преобладанию анионов и катионов все воды этой группы объектов относятся к классу гидрокарбонатных и группе кальциевых.

Высокая минерализация в природных водах еще не свидетельствует о техногенном загрязнении. Например, минерализация вод озер аридного климата, озер южных районов России может в тысячи раз превышать минерализацию исследованных ультрапресных озер (Цыренова и др., 2009; Гусева и др., 2012; Замана, Вахнина, 2014).

Воды этой группы объектов характеризуются повышенной жесткостью, которая изменяется в пределах 0.42–4.20 (среднее 2.20) мг-экв./л. Отметим, что нормативные показатели жесткости для питьевой воды составляют (7–10) мг-экв./л.

В отдельных водоемах установлена высокая кислотность воды, ниже нормативных значений. Такие характеристики типичны для воды из р. Дебин (В-19) и некоторых отстойников в долине этой реки (В-15, -16), а также для вод р. Паутовая (В-23), руч. Обрывистый (В-22). Минимальные значения pH (4.4) выявлены в воде из отстойника р. Мякит (В-25).

Повышенные концентрации аммония-иона выявлены в пробах В-16 (4 мг/л, отстойник р. Дебин), В-17 (2.5 мг/л, руч. Последний), В-19 (2.2 мг/л, р. Оротукан), В-8 (2 мг/л, отстойник, р. Дегдекан), В-9 (2.2 мг/л, отстойник руч. Бабай), В-12 (3 мг/л, руч. Лукич). В водах этих объектов значение NH_4^+ выше предельно допустимых концентраций как для вод, имеющих рыбохозяйственное значение (0.5 мг/л) (Приказ Государственного комитета Российской Федерации по рыболовству от 28 апреля 1999 г. № 96 «О рыбохозяйственных нормативах»), так и питьевых (1.5–2 мг/л) (Постановление от 28 января 2021 г. № 2 об утверждении санитарных правил и норм СанПин 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Во многих пробах отмечены аномально высокие содержания железа, алюминия и других катионов (В-3, В-6, В-7, В-17, В-20, В-22, В-25), превышающие нормативные показатели (Приказ от 28.04.1999; Постановление № 2 от 28.01.2021 г.). Наблюдается слабая положительная корреляция железа с магнием ($r = 0.24$), NH_4 ($r = 0.22$), NO_3 ($r = 0.36$), корреляция с алюминием отсутствует ($r = -0.1$). Алюминий положительно коррелирует с цинком ($r = 0.52$).

Аномальные значения гидрохимических характеристик обусловлены техногенным воздействием на водоемы. Известно, что разработка россыпных месторождений отражается на экологии природной среды (Зелинская и др., 1998; Коннов, 2007; Золотые..., 2012; Глов, Глотова, 2013б; Егидарев, Симонов, 2014). Отработка россыпей влияет на мутность воды (Махинов и др., 2014; Ушаков, 2016), термические характеристики (Бояринцев, 2014), химический состав (Глов, Глотова, 2013а).

Таблица 5. Гидрохимия вод в зонах добычи россыпных месторождений
Table 5. Hydrochemistry of waters in the placer mining areas

Проба, место отбора	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7p	B-8	B-9	B-10	B-11	B-12
Щелочность, мг-экв./л	1.04	1.77	1.14	1.66	2.18	3.22	4.68	1.87	0.62	0.62	3.74	3.12
Окисляемость (ХПК), мг/л O ₂	2.6	4.2	4.2	9.1	9.1	5.9	9.1	9.1	11.6	5.0	7.9	9.1
pH	6.8	7.0	6.8	6.9	7.0	7.1	6.6	6.6	6.1	6.2	6.7	6.8
Na ⁺	2.05	1.87	2.09	1.48	4.69	4.78	4.97	2.62	1.48	1.94	3.30	16.68
K ⁺	0.65	0.49	0.69	0.34	1.01	2.36	2.03	1.03	0.64	1.08	1.22	4.49
Ca ²⁺	12.94	19.67	15.37	19.80	23.28	33.66	41.94	20.88	5.29	6.51	43.00	53.20
Mg ²⁺	5.95	11.21	6.72	10.10	17.70	21.47	30.89	11.83	3.18	3.24	29.60	9.60
Al ³⁺	—	—	0.39	0.04	0.02	0.23	0.07	0.01	0.08	0.02	—	0.02
Fe ³⁺	—	—	0.49	—	—	0.29	2.63	—	—	—	—	—
Zn ²⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu ²⁺	0.007	0.006	0.005	0.007	0.010	0.009	0.005	0.006	0.013	0.009	0.009	0.007
Ni ⁺⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr ²⁺	0.14	0.18	0.14	0.26	0.56	0.56	0.55	0.25	0.03	0.10	1.63	1.56
Ba ²⁺	0.04	0.01	0.01	0.01	0.08	0.04	0.03	0.01	0.04	0.05	0.05	0.06
NH ₄ ⁺	0.3	1.0	1.0	1.2	1.5	0.4	1.5	2.0	2.2	2.2	0.1	3.0
Mn ²⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	—	0.021	0.266	0.008	0.007	0.006	0.008	2.67
Сумма катионов	22.08	34.44	27.91	35.24	51.85	67.82	89.88	44.64	19.96	23.16	78.92	91.29
CO ₃ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO ₃ ⁻	63.4	107.8	69.8	101.5	134.4	195.2	288.0	114.2	38.1	38.1	230.1	190.3
SO ₄ ⁻	1.80	2.00	1.70	4.70	10.00	11.30	8.80	3.20	1.50	4.40	24.50	13.20
NO ₂ ⁻	—	—	—	0.13	—	—	0.10	—	—	—	—	0.11
NO ₃ ⁻	3.74	1.36	1.36	2.72	1.70	—	—	3.40	7.48	7.48	0.34	10.20
Cl ⁻	6.90	5.80	6.20	7.00	8.40	8.70	7.60	8.00	3.10	7.70	8.10	17.10
Сумма анионов	75.8	117.0	79.1	116.1	154.5	215.2	304.5	128.8	50.2	57.7	263.0	230.9
Общ. минерализация, мг/л	97.92	151.40	106.97	151.29	206.35	283.02	394.38	173.44	70.14	80.84	341.96	322.20
Сухой остаток, мг/л	28.8	24.4	114.8	24.8	26.0	1032.4	87.2	36.8	27.2	28.0	36.0	49.6
Общ. жесткость, г-экв./л	1.14	1.90	1.32	1.82	2.62	3.45	4.04	2.02	0.53	0.59	4.58	3.45

Проба, место отбора	B-13	B-14	B-15	B-16	B-17	B-18	B-19	B-20	B-21	B-22	B-23	B-25
Общ. щелочность, мг-экв./л	0.52	0.52	0.31	0.31	0.83	1.46	0.42	2.91	3.95	1.56	0.31	1.35
Окисляемость (ХПК), мг/л O ₂	4.2	5.0	5.0	11.6	3.4	6.7	3.4	4.2	4.2	4.2	8.3	4.2
pH	5.8	6.4	5.6	4.6	6.4	7.2	5.6	7.0	6.8	5.6	5.8	4.4
Na ⁺	4.23	2.57	3.76	8.89	2.45	7.37	3.39	8.53	8.92	2.69	1.50	3.36
K ⁺	1.20	1.01	1.72	2.84	0.82	1.27	0.81	1.32	1.65	0.49	0.58	0.68
Ca ²⁺	39.11	16.64	25.81	40.95	19.39	34.4	20.50	61.22	50.80	16.95	5.81	7.54
Mg ²⁺	8.07	8.94	10.41	8.18	4.63	9.77	6.04	13.92	10.90	6.65	1.52	4.62
Al ³⁺	0.08	0.14	0.06	0.39	0.03	—	0.16	0.39	—	0.25	0.08	2.79
Fe ³⁺	—	—	—	—	3.39	—	—	—	—	—	—	—
Zn ²⁺	0.017	—	0.020	0.430	0.140	0.060	0.060	—	—	—	0.015	0.284
Cu ²⁺	0.010	0.007	0.090	0.009	0.007	0.008	0.009	0.007	0.008	0.032	0.130	0.050
Ni ²⁺	—	—	—	—	—	—	0.06	—	—	0.04	—	0.18
Sr ²⁺	0.36	0.18	0.26	0.47	0.19	0.90	0.23	0.85	1.46	0.14	0.04	0.07
Ba ²⁺	0.02	0.01	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03
NH ₄ ⁺	0.8	0.7	0.9	4.0	2.5	0.4	2.2	1.0	0.3	0.7	0.7	1.2
Mn ²⁺	0.055	0.007	0.061	0.381	—	—	0.537	0.009	—	0.410	0.104	2.370
Сумма катионов	53.95	30.20	43.13	66.57	33.56	54.21	34.03	87.29	74.06	28.37	10.49	23.18
CO ₃ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO ₃ ⁻	138.4	81.7	119.0	158.4	50.8	125.4	62.4	176.6	136.8	96.5	19.0	82.5
SO ₄ ⁻	7.00	0.52	0.60	10.60	14.20	9.50	8.82	59.70	26.40	4.20	2.30	4.30
NO ₂ ⁻	0.10	0.11	—	0.10	—	—	—	0.10	0.12	0.11	—	—
NO ₃ ⁻	2.04	11.22	7.14	3.80	16.70	2.72	—	1.36	—	2.38	1.02	6.12
Cl ⁻	4.40	3.20	4.60	5.40	3.20	9.50	5.80	11.00	19.50	4.50	7.10	1.40
Сумма анионов	151.9	96.8	131.3	178.3	84.9	147.1	77.0	248.8	182.8	107.7	29.4	94.3
Общ. минерализация, мг/л	205.89	126.95	174.47	244.87	118.46	201.33	111.05	336.05	256.88	136.06	39.91	117.50
Сухой остаток, мг/л	20.8	50.0	16.6	27.6	22.0	25.2	194.8	380.8	17.6	924.4	22.4	18.4
Общ. жесткость, мг-экв./л	2.62	1.57	2.15	2.72	1.35	2.52	1.52	4.20	3.44	1.39	0.42	0.76

Для установления степени воздействия конкретного горнодобывающего объекта на природную среду, выяснения динамики изменений водных показателей необходимы специальные тематические исследования.

Подобные работы проводились в бассейне р. Мякит, где изучались пробы воды, отобранные выше участков отработки россыпных месторождений золота и на самих участках отработок (Литвиненко, 2013). В зоне влияния техногенных образований воды ручьев показали резкое увеличение общей минерализации, жесткости, сухого остатка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные показывают значительное различие химического состава вод в районах активной добычи природных ископаемых и в водных объектах (озерах), расположенных вдали от хозяйственной деятельности человека. Воды изученных озер слабominерализованные, ультрапресные, гидрокарбонатные, относятся к группам кальциевых, натриевых и калиевых.

Все воды техногенных объектов характеризуются повышенной общей минерализацией и общей жесткостью. В отдельных объектах отмечены аномально высокие значения содержания железа, алюминия и других ионов.

Для выяснения причин техногенного загрязнения необходимы тематические исследования конкретных объектов, с опробованием воды из различных отстойников, русел рек и ручьев, а также геохимическое изучение донного осадка из отстойников. Такие работы просто необходимо провести на объектах, где выявлены предельно допустимые концентрации отдельных химических компонент.

Работы выполнены при финансовой поддержке правительства Магаданской области (грант № 98 от 28.10.2021 г.).

ЛИТЕРАТУРА

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеорологическое изд-во, 1953. 296 с.

Бородин Е. В., Бородин У. О. Формирование химического состава озерных вод особо охраняемых территорий Горного Алтая на примере бассейна р. Мульта // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 4. С. 405–416.

Бояринцев Е. Л. Термическое загрязнение рек бассейна Верхней Колымы при разработке русловых россыпных месторождений // Современные проблемы регионального развития : Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Еврейской автономной области / под ред. Е. Я. Фрисмана. Биробиджан : Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневост. отд-ния РАН, 2014. С. 199–200.

Брагин И. В., Челноков Г. А., Харитонова Н. А. Новые изотопно-геохимические данные по термальным водам Тальского месторождения (Магаданская

область) // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40, № 6. С. 111–119.

Геологическая карта. Лист Р-55-Х. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. З. В. Орлова : 1-е изд., 1962.

Геологическая карта. Лист Р-55-V. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. В. М. Мерзляков : 1-е изд., 1964.

Геологическая карта. Лист Р-55-IV. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. О. Н. Омиров, П. П. Лычагин : 1-е изд., 1967.

Геологическая карта. Лист Р-56-XXVII. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. Г. Н. Чертовских, В. Т. Шейкашева : 1-е изд., 1969.

Геологическая карта. Лист Р-56-XXVIII. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. В. Е. Литвинов, З. Ф. Литвинова, А. В. Федоров : 1-е изд., 1974а.

Геологическая карта. Лист Р-55-XVIII. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. Б. И. Мальков : 1-е изд., 1974б.

Геологическая карта. Лист Q-56-II. Масштаб 1 : 2 000 000 / сост. В. Г. Корольков, А. М. Королькова : 1-е изд., 1985.

Геологическая карта. Лист Р-56. Масштаб 1 : 1 000 000 / сост. В. М. Кузнецов, А. Ф. Васькин, О. В. Желебогло : 3-е изд., 2007.

Геологическая карта. Лист Р-55. Масштаб 1 : 1 000 000 / сост. В. И. Шпикерман, С. В. Жигалов, О. В. Желебогло. 3-е изд., 2016.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Естественные и техногенные изменения химического состава природных вод бассейна Верхней Колымы // Вода: химия и экология. 2013а. № 8. С. 16–22.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Особенности формирования и хозяйственного использования водных ресурсов Магаданской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013б. Т. 15, № 3 (3). С. 910–915.

Гусева Н. В., Копылова Ю. Г., Хвощевская А. А., Сметанина И. В. Химический состав соленых озер Северо-Минусинской котловины, Хакасия // Известия Томского политехн. ун-та. 2012. Т. 321, № 1. С. 163–168.

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Геоэкология озер Мурманской области. Ч. 2. Гидрохимия водоемов. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2014. 222 с.

Егидарев Е. Г., Симонов Е. А. Оценка экологических последствий добычи россыпного золота в бассейне реки Амур // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 5. С. 429–441.

Замана Л. В., Вахнина И. Л. Гидрохимия соленых озер юго-восточного Забайкалья в фазу аридизации климата в начале XXI века // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 11. С. 608–612.

Зелинская Е. В., Горбунова О. И., Щербакова Л. М. Воздействие разработки россыпей на окружающую среду // Горный журнал. 1998. № 5. С. 27–28.

Золотые реки. Вып. 1. Амурский бассейн / ред. Е. А. Симонов. Владивосток : Всемирный фонд дикой природы (WWF); Апельсин, 2012. 120 с.

Измайлова А. В. Озерные водные ресурсы азиатской части Российской Федерации // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 5. С. 453–462.

Измайлова А. В., Корнеевская Н. Ю. Озерность территории Российской Федерации и определяю-

щие ее факторы // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 1. С. 16–25.

Кожеевникова Н. К., Луценко Т. Н., Шамов В. В. Факторы формирования химического состава вод малых рек Южного Сихотэ-Алиня // Чтения памяти В. Я. Леванидова. Владивосток : Федеральный науч. центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, 2017. Вып. 7. С. 76–84.

Коннов В. И. Исследование влияния этапов работ на малые реки при добыче полезных ископаемых в Восточном Забайкалье // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2007. № S4. С. 41–51.

Литвиненко И. С. Гидрохимия ручьев бассейна р. Мякит (Северо-Восток России) на участках отработки россыпных месторождений золота // Вода: химия и экология. 2013. № 10. С. 23–32.

Махинов А. Н., Махинова А. Ф., Шевцов М. Н., Голловкин С. С. Влияние разработки россыпных место-

рождений Приохотья на состояние водных объектов // Вестник ТОГУ. 2014. № 3 (34). С. 103–112.

Моисеев Т. И., Гапкина Н. А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. Москва : Наука, 2010. 266 с.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год / отв. ред. д. г. н., проф. Г. М. Черногаева. Москва : Росгидромет, 2021. 205 с.

Ушаков М. В. Влияние добычи россыпного золота на мутность воды реки Колымы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 9. С. 316–325.

Цыренова Д. Д., Брянская А. В., Хахинов В. В., Жавзан Ч. Гидрохимические исследования соленых и соленых озер южного Забайкалья // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2009. № 3. С. 17–19.

Поступила в редакцию 09.02.2022 г.

Поступила после доработки 26.04.2022 г.

HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL AND TECHNOGENIC WATER BODIES IN MAGADAN OBLAST

P. S. Minyuk, D. K. Pozhidaeva, S. S. Burnatny

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo, FEB RAS, Magadan

The hydrochemical characteristics of water objects, including lakes and a number of streams and rivers as well as technogenic sedimentation tanks located in the areas of placer gold mining have been studied. Total dissolved solids, contents of individual ions, total hardness (TH), total suspended solids (TSS), and acidic pH have been determined. Lake water is ultra-fresh with total dissolved solids of 15.08–52.6 mg/l. Increased values of this parameter have been found in lakes located in the Berelekh River valley, where gold placers are being developed. Water bodies from placer mining sites are characterized by increased total dissolved solids (up to 394 mg/l) and total hardness (average = 2.20 mg-eq/l). In some reservoirs, low pH, high levels of NH_4 , and iron exceeding ecologically admissible values have been established.

Keywords: hydrochemistry, total dissolved solids, water bodies, lakes, Magadan Oblast.

REFERENCES

- Alekin, O. A., 1953. Fundamentals of Hydrochemistry. Leningrad, Ghydrometizdat [In Russian].
- Borodina, E. V., Borodina, U. O., 2019. Factors Affecting Chemical Composition of Lake Water of Specialy Protected Areas in Altai Mountains, Russia, Exemplified by the Multa River Basin, *Water Resources*. 46 (4), 405–416. DOI: 10.31857/S0321-0596464405-416 [In Russian].
- Boyarintsev, E. L., 2014. Thermal Pollution of the Upper Kolyma Basin Rivers during the Development of Channel Placer Deposits, *Modern Problems of Regional Development. Proceeding of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 80th Anniversary of the Jewish Autonomous Oblast*. Birobidzhan, Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS. 199–200 [In Russian].
- Bragin, I. V., Chelnokov, G. A., Kharitonova, N. A., 2021. New Isotope-Geochemical Data on Thermal Waters of the Talskoye Deposit, Magadan Oblast, *Russian Journal of Pacific Geology*. 40 (6), 111–119. DOI: 10.30911/0207-4028-2021-40-5-111-119 [In Russian].
- Dauvalter, V. A., Kashulin, N. A., 2014. Geocology of Lakes in Murmansk Oblast. P. 2. Hydrochemistry of Reservoirs. Murmansk, MSTU [In Russian].
- Geological Map, 1962. Sheet P-55-X. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by Z. V. Orlova [In Russian].
- Geological Map, 1964. Sheet P55-V. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by V. M. Merzlyakov [In Russian].
- Geological Map, 1967. Sheet P-55-IV. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by O. N. Omirov, P. P. Lychagin [In Russian].

- Geological Map*, 1969. Sheet P-56-XXVII. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by G. N. Chertovskikh, V. T. Sheykashcheva [In Russian].
- Geological Map*, 1974. Sheet P-55-XVIII. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by B. I. Malkov [In Russian].
- Geological Map*, 1974. Sheet P-56-XXVIII. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by V. E. Litvinov, Z. F. Litvinova, A. V. Fyodorov [In Russian].
- Geological Map*, 1985. Sheet Q-56-II. Scale 1 : 2 000 000. Compiled by V. G. Korolkov, A. M. Korolkova [In Russian].
- Geological Map*, 2007. Sheet P-56. Scale 1 : 1 000 000. Compiled by V. V. Kuznetsov, A. F. Vaskin, O. V. Zheleboglo [In Russian].
- Geological Map*, 2016. Sheet P-55. Scale 1 : 1 000 000. Compiled by V. I. Shpikerman, S. V. Zhigalov, O. V. Zheleboglo [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2013. Natural and Technogenic Changes in Chemical Composition of Natural Waters in the Upper Kolyma Basin, *Voda: Khimiya i Ekologiya*. 8, 16–22 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2013. Features of Formation and Economic Use of Water Resources in Magadan Oblast, *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 15, 3 (3), 910–915 [In Russian].
- Golden Rivers, 2012. Iss. 1. The Amur River Basin, Ed. E. Simonov. Vladivostok, WWF–Russia, Amur Branch, Apelsin Press [In Russian].
- Guseva, N. V., Kopylova, Yu. G., Khvashchevskaya, A. A., Smetanina I. V., 2012. Chemical Composition of Salt Lakes in the North-Minusinsk Basin, Khakassia, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 321 (1), 163–168 [In Russian].
- Izmaylova, A. V., 2018. Lake Water Resources in the Asian Part of the Russian Federation, *Water Resources*. 45 (5), 453–462 [In Russian].
- Izmaylova, A. V., Korneyenkova, N. Yu., 2020. Lake Area Percentage of the Russian Federation Territory and Its Governing Factors, *Water Resources*. 47 (1), 16–25 [In Russian].
- Konnov, V. I., 2007. Investigation of the Impact of Work Stages on Small Rivers during Mining in Eastern Transbaikalia, *Mining Informational and Analytical Bulletin*. S4, 41–51 [In Russian].
- Kozhevnikova, N. K., Lutsenko, T. N., Shamov, V. V., 2017. Formation Factors of the Water Chemical Composition in Small Rivers of the Southern Sikhote-Alin, *Biennial Readings in Memory of V. Ya. Levanidov*. 7, 76–84 [In Russian].
- Litvinenko, I. S., 2013. Hydrochemistry of the Myakit River Basin Streams (North-East Russia) at Gold Placer Development Sites, *Voda: Khimiya i Ekologiya*. 10, 23–32 [In Russian].
- Makhinov, A. N., Makhinova, A. F., Shevtsov, M. N., Golovkin, S. S., 2014. Influence of Placer Development in Priokhotye on the Water Body Condition, *Bulletin of PNU*. 3 (34), 103–112 [In Russian].
- Moiseyenko, T. I., Gashkina, N. A., 2010. Formation of the Chemical Composition of Lake Waters under Environmental Changes. Moscow, Nauka [In Russian].
- Overview of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2020, 2021, Ed. G. M. Chernogayeva. Moscow, Rosghydromet [In Russian].
- Tsyrenova, D. D., Bryanskaya, A. V., Khakhinov, V. V., Zhavzan, Ch., 2009. Hydrochemical Research of Brackish and Salt Lakes in Southern Zabaikalye, *Vestnik Buryatskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 3, 17–19 [In Russian].
- Ushakov, M. V., 2007. Influence of Placer Gold Mining on the Kolyma River Turbidity, *Mining Informational and Analytical Bulletin*. S4, 41–51.
- Yegidarev, E. G., Simonov, E. A., 2014. Estimation of Ecological Consequences of Placer Gold Extraction in the Amur River Basin, *Geoekologiya*. 5, 429–441 [In Russian].
- Zamana, L. V., Vakhnina, I. L., 2014. Hydrochemistry of Salt Lakes in Southeastern Transbaikalia in the Arid Phase of the Climate Change at the Beginning of the 21st Century, *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 11, 608–618 [In Russian].
- Zelinskaya, E. V., Gorbunova, O. I., Shcherbakova, L. M., 1998. The Impact of Placer Mining on the Environment, *Gornyi Zhurnal*. 5, 27–28 [In Russian].