DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-394-397

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КИСЛЫХ ВОДАХ РОДНИКА АЖЫГ-СУГ (ЗАПАДНАЯ ТУВА)

Аракчаа К.Д.¹, Копылова Ю.Г.², Гусева Н.В.², Хвашевская А.А.², Оргильянов А.И.³, Крюкова И.Г.³, Сметанина И.В.², Трифонов Н.С.², Акбашева З.Р.², Аюнова О.Д.⁴

¹ГБУ «Научно-исследовательский институт медико-социальных проблем и управления Республики Тыва», Кызыл, Россия, e-mail: chodura@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия, e-mail: unprc_voda@mail.ru

³Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, e-mail: irig@crust.irk.ru

⁴ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН», г. Кызыл, Россия, e-mail: giatran@yandex.ru

АННОТАЦИЯ: В работе представлены результаты исследования распространенности химических элементов в водах и вторичных новообразованиях кислого источника Ажыг-Суг (Западная Тува). Формирование кислых углекислых сульфатных вод связано с хорошо развитой зоной окисления сульфидных руд и характеризуется накоплением в водах Fe, Mn, Al, Zn, Be, Mn, Co, Ni, редкоземельных элементов (La-Lu). Высокая кислотность среды способствует нахождению большинства указанных элементов в виде простых катионов и сульфатных комплексов. Определена существенная роль фторидных комплексных соединений в миграции алюминия. Коэффициенты концентрирования накапливающихся в водах элементов изменяются от сотых до десятых долей единицы. В новообразованиях гипса отмечено накопление йода, серы, брома, теллура, кальция, а также мышьяка, железа, меди и хлора.

1. ВВЕДЕНИЕ

Распространение кислых вод в природных условиях в основном приурочено к зонам окисления сульфидных месторождений [5, с. 179]. Образующийся при этом состав вод характеризуется повышенными значениями концентраций сульфат-иона и микрокомпонентов. В их числе наиболее известно Гайское месторождение кислых высокожелезистых сульфатных вод, формирующихся в зонах окисления медно-колчеданных руд (гайский, уланбулакский типы). Своеобразный источник Ажыг-Суг (в литературе – Ир-Сайлых, Ажиг-Суг [7]) кислых сульфатных вод находится в Западной Тuve [4, 7]. Сведения о вещественном составе этих вод остаются все ещё неполными. Вода родника Ажыг-Суг соответствует гайскому типу минеральных вод. Наряду с изучением геохимических особенностей формирования вод зон рудной минерализации, не меньший интерес вызывает использование кислых сульфатных вод в бальнеологических целях, тем более что местное население Республики Тыва использует воду источника Ажыг-Суг при лечении заболеваний ЖКТ. Высокий интерес населения к рассматриваемым водам поддерживается научной и медицинской общественностью [8]. Эти обстоятельства определяют актуальность исследований по изучению распространенности хи-

мических элементов в роднике Ажыг-Суг, уточнению их потенциального влияния на качество вод и, прежде всего, форм нахождения химических элементов, поскольку разные миграционные формы одного и того же элемента могут иметь иногда резко различную токсичность и биогеохимический эффект [5]

2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Туве известно несколько очагов разгрузки кислых вод, расположенных кучно в западной части республики. Помимо родника Ажыг-Суг это родники Талдыг-Чул (Чаа-Хольский район) и Демирлиг-Чоога (Сут-Хольский район) (рис.).

Рис. Ареал распространения кислых родников Тувы

Родник Ажыг-Суг расположен в урочище Ир-Сайлых на абсолютной отметке в 1150 м над уровнем моря, в гористой местности на ле-

вом берегу Саяно-Шушенского водохранилища в 6 км ниже устья р. Хемчик. Впервые источник был обследован в 1958 г. сотрудником ВСЕГЕИ А.В. Зуевым [4], более подробно изучен в 1967 г. Е.В. Пиннекером и Ю.И. Кустовым [7]. В 1991-1993 гг. родник посещали Г.М. Шпейзер (Иркутский госуниверситет) и М.Б. Букаты с коллегами (Томский политехнический институт, ВСЕГЕИ) в рамках договорных НИР по комплексной оценке гидроминеральных ресурсов Республики Тыва. Исследования кислых вод родника Ажыг-Суг авторами настоящей статьи проводились неоднократно в летние и осенние периоды 2012-2017 гг. [3, 6].

В основу настоящей публикации положены материалы летних 2017 года опробований воды родника Ажыг-Суг, образцов вмещающих пород и вторичных отложений в местах выхода источников на дневную поверхность.

Изучение химического состава природных вод выполнено в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета с использованием методов титриметрии, потенциометрического титрования, ионной хроматографии, масс-спектрометрии. Минералогический состав вторичных минеральных образований выполнен рентгенофазовым анализом методом порошковой дифракции в Институте земной коры СО РАН В.Б. Савельевой [6]. Для изучения форм миграции химических элементов в полевых условиях отбирались две пробы, одна из которых фильтровалась через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм с использованием шприца. Изучение форм нахождения элементов выполнено с помощью программного комплекса HydroGeo [1].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование химического состава вод родника Ажыг-Суг тесно связано с проявлениями интенсивно окисляющейся сульфидной минера-

лизации в Хемчикско-Куртушибинской минералогической зоне в пределах Западно-Саянской минерагенической субпровинции. Благодаря резкой расчлененности рельефа, сильной дислоцированности пород и наличию глубоких тектонических разломов, подземные воды разгружаются многочисленными источниками в глубоко врезанных долинах. Разгрузка родника Ажыг-Суг происходит в зоне Шугурско-Акольского разлома и связана с контактом зеленокаменных эффузивно-осадочных пород нижнего кембрия с брекчиевидными отложениями вулканитов нижнего девона и интрузией гранодиоритов. Водовмещающие породы несут следы оруденения.

Подземные воды родника Ажыг-Суг разгружаются в условиях окислительной среды с Eh от +310 до +430 мВ и являются кислыми с pH 2,97-3,9 сульфатными кальциево-магниевыми с содержанием фтора от 15,6 до 17,6 мг/л (более 1%-экв), умеренно солоноватыми с минерализацией в разные периоды опробования от 4404 до 4841 мг/л. Характер взаимодействия системы подземных вод с сульфидными минералами определяет появление свободной углекислоты в 2013 г в количестве 660 и 1307 мг/л в 2016 г. и высоких концентраций кремния, халькофильных, сидерофильных и редкоземельных элементов.

Своеобразие химического состава воды родника Ажыг-Суг по исследованиям 2017 года отражено в формуле Курлова:

В этих условиях при взаимодействии вод с минералами горных пород концентрации халькофильных химических элементов в водах достигают целых и десятых долей миллиграммов в литре, а редкоземельных элементов – сотых долей миллиграмм в литре (табл).

Таблица. Содержание микрокомпонентов в водах родника Ажыг-Суг, мг/л

Элемент	Be	B	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Содержание	0,013	0,18	0,0022	0,00015	0,0027	14,1	0,49	0,7	2,11	0,1
Элемент	Al	Zn	As	Se	Br	Y	Cd	Pr	Nd	Sm
Содержание	85,95	0,96	0,0009	0,0062	0,061	0,26	0,0044	0,013	0,076	0,028
Элемент	Sb	Eu	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Re	Th	U
Содержание	0,000012	0,01	0,051	0,0098	0,024	0,0029	0,017	0,00056	0,000035	0,0053

Наибольшие значения коэффициента концентрирования (относительно их кларков в земной коре) характерны для сульфат-иона и

рения, величина которых близка к единице, а для кальция и хлора и ряда других микрокомпонентов эти значения достигают десятых и

сотых долей единицы и представлены следующим рядом элементов (в скобках показано значение коэффициента концентрирования элемента): Re (0,8), SO_4^{2-} (0,9), Ca (0,01), Cl (0,04), Dy (0,09), Co (0,03), Ni (0,03), Cd (0,03), Zn (0,01), Tm (0,01). Близкими к ним значениям имеют коэффициенты концентрирования Y, Eu, Gd, Ho, Er, что отражает благоприятные условия для их концентрирования в подземных кислых сульфатных водах [4]. Положительным качеством вод родника Ажыг-Суг, можно считать наличие повышенных концентраций бора, цинка и лития. Потенциальный риск использования вод родника Ажыг-Суг может быть вызван превышением ПДК для питьевых вод элементов: первого класса опасности – бериллия, второго – алюминия, кадмия, кобальта, третьего – никеля, марганца. Применительно к оценке качества минеральных вод необходимо отметить, что в подземных водах родника Ажыг-Суг норматив безопасности (ПДК) минеральных вод превышают марганец, кадмий, никель и фтор.

В природных водах изучаемой территории растворенная форма миграции химических элементов является преобладающей. Вместе с тем, для отдельных элементов отмечается существенная роль взвешенной фракции, доля которой порой составляет (в %) для Sb – 60, Fe – 34, Rb – 9, Zr – 29, Au – 29, P – 28, Ti – 26, V – 25, Rh – 22, Be – 17.

Благоприятные условия для накопления халькофильных, сидерофильных и редкоземельных элементов в водах родника Ажыг-Суг определяются кислой реакцией среды и их миграцией в виде простых катионов и сульфатных комплексных соединений. Катионогенные элементы в водах находятся преимущественно в виде простых ионов, которые составляют от 95 до 99,5% в группе Cs, Rb, Na, Li, K. В группе Sr, Ca, Ba, Mg на долю простых ионов приходится от 66 до 87%. Катионогенные элементы в виде комплексных соединений представлены бинарными комплексами с сульфат-ионом (от 6 до 19%) и отрицательно заряженными комплексами с двумя молекулами сульфат-иона (от 6 до 14%).

Элементы-комплексобразователи Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb в кислых углекислых сульфатных водах родника Ажыг-Суг присутствуют в виде простых ионов элементов от 58% (Pb^{2+}) до 87% (Fe^{2+}). На долю комплексных бинарных соединений с сульфат-ионом приходится от 13% ($FeSO_4$) до 39% ($PbSO_4$) и незначительную долю составляют отрицательно заряженные

комплексы с двумя сульфат-ионами: от 0,05% ($Fe(SO_4)_2^{2-}$) до 4% ($Cd(SO_4)_2^{2-}$). Важно при этом отметить роль фтора в миграции алюминия, доля комплексных соединений которого соизмерима, а иногда и превышает процент их нахождения в комплексных соединениях с сульфатами, что было отмечено и ранее [2].

В миграции тория и урана в кислых углекислых сульфатных водах определяющими являются комплексные соединения с сульфатами. Преобладают бинарные нейтральные комплексы уранила с сульфатами (47%), присутствуют отрицательно заряженные комплексы уранила с сульфатами (11%) и положительно заряженные комплексы уранила ($(UO_2HSO_4)^+$ (19%). Соизмерима с последними доля гидрокарбонатов (17,37%). Доля уранила (UO_2^{2+}) в водах составляет всего около 5%.

Миграция химических элементов в кислых углекислых сульфатных водах в виде простых катионов и комплексных соединений с сульфатом отражается и в составе вторичных минералов в роднике Ажыг-Суг, представленных гипсом, кварцем и гетитом, среди которых доминирует гипс. В новообразованиях гипса выявлены повышенные кларки концентрации серы, кальция, йода, брома, теллура. На уровне концентраций в земной коре в новообразованиях гипса присутствуют мышьяк, железо, медь и хлор.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование кислых углекислых сульфатных вод способствует накоплению (от сотых до десятых значений коэффициентов концентрирования) в водах широкого круга химических элементов и их миграции в виде простых катионов и соединений с сульфатами. Не происходит накопления в кислых углекислых сульфатных водах окислительной геохимической обстановки сурьмы, ванадия, мышьяка, несмотря на то, что для них характерны высокие кларки концентраций в водовмещающих горных породах. Накапливаются в новообразованиях гипса йод, сера, бром, теллур, кальций и в них присутствуют мышьяк, железо, медь и хлор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета, 2002. – Т.305. – Вып. 6. – С. 348-365.
2. Замана Л.В., Букаты М.Б. Формы миграции фтора в кислых дренажных водах вольфрамовых месторождений восточного Забайкалья. // Доклады Академии наук, 2004. – Т. 396. - № 2. – С. 235-238.

3. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Ойдул Ч.К., Аракчаа К.Д., Рычкова К.М., Хващевская А.А., Аюнова О.Д. Формирование химического состава подземных солоноватых и рассольных вод Тувинского прогиба и его обрамления. // Геология и геофизика, 2018. – Т. 59. – С. 172-182.

4. Зуев А.В. Опыт применения гидрохимического метода поисков рудных месторождений в Западном Саяне. // Информационный сборник ВСЕГЕИ, № 31. – Л., 1960. – С. 89-95.

5. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.

6. Оргильянов А.И., Аракчаа К.Д., Крюкова И.Г. и др. Условия формирования кислых вод источника Ажыг-Суг (Республика Тыва). / Всероссийское совещание по под-

земным водам Востока России «XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока»; Июнь 18-24, 2018; Новосибирск (в печати).

7. Пиннекер Е.В., Кустов Ю.И., Крутикова А.И. Закономерности распространения и состав подземных минеральных вод Тувы // Геология и геофизика, – 1971, № 11. – С. 68–78.

8. Салчак С.М., Аракчаа К.Д., Смирнова И.Н. и др. Экспериментальное обоснование внутреннего применения кислой минеральной воды Ажыг-Суг при язвенной болезни желудка. // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Кызыл, 2017. – С. 97-100.

FORMS OF FINDING OF CHEMICAL ELEMENTS IN ACIDIC WATERS OF A SPRING AZHYG-SUG (WESTERN TUVA)

Arakchaa K.D.¹, Kopylova Yu.G.², Guseva N.V.², Kvacshevskaya A.A.², Orgil'yanov A.I.³, Kryukova I.G.³, Smetanina I.V.², Triphonov N.S.², Akbasheva Z.R.², Ayunova O.D.⁴

¹Scientific Research Institute of Medical Social Problems and Management of the Republic of Tuva, Russia, Kyzyl, chodura@yan_dex.ru

²National research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, e-mail: unpc_voda@mail.ru

³Earth crust Institute SB RAS, Irkutsk, Russia, e-mail: irig@crust.irk.ru

⁴Tuvan Institute for integrated development of natural resources SB RAS, Kyzyl, Russia, e-mail: giatran@yandex.ru

ABSTRACT: The paper presents the results of a study of the prevalence of chemical elements in water and secondary ore formation of the acid source of Azhyg-Sug (Western Tuva). The formation of acidic carbon dioxide sulfate waters is associated with a well-developed oxidation zone of sulfide ores and characterized by the accumulation in the waters of Fe, Mn, Al, Zn, Be, Mn, Co, Ni, rare earth elements (La-Lu). High acidity of the medium helps to find most of these elements in the form of simple cations and sulfate complexes. The essential role of fluoride complex compounds in the migration of aluminum is determined. The concentration coefficients of the elements accumulated in the waters vary from hundredths to tenths of a unit. The accumulation of iodine, sulfur, bromine, tellurium, calcium, arsenic, iron, copper and chlorine was noted in secondary ore formation of gypsum.