DOI: 10.31554/978-5-7925-0536-0-2018-284-287

ИЗОТОПНЫЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ВОСТОЧНЫЙ (о. САХАЛИН)

Ершов В.В.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия, E-mail: valery_ershov@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены результаты исследований изотопного и химического состава вод грязевого вулкана Восточный (о. Сахалин). Установлено, что, несмотря на общность геологических обстановок, существуют различия гидрохимических показателей по сравнению с Южно-Сахалинским грязевым вулканом. Температура формирования вод исследуемого вулкана по гидрохимическому геотермометру Mg-Li составляет 40-60 °С. Термодинамические расчеты показывают, что воды вулкана Восточный перенасыщены по кальциту.

1. ВВЕДЕНИЕ

Сахалин – единственный регион на Дальнем Востоке России, где известны наземные грязевые вулканы. Здесь традиционно выделяют четыре района проявления грязевого вулканизма: Дагинский грязевулканический участок на севере, группа Пугачевских грязевых вулканов и вулкан Восточный в центральной части, Южно-Сахалинский грязевой вулкан и Лесновский грязевой вулкан на юге острова. Наиболее крупным, активным и хорошо изученным является Южно-Сахалинский вулкан, регулярные обследования которого проводятся сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН, начиная с 2004 г. В полевые сезоны 2015-2017 гг. на этом вулкане был проведен гидрогеохимический мониторинг [5]. Отметим, что подобный мониторинг на грязевом вулкане реализован впервые в мировой практике.

Химический состав вод грязевого вулкана Восточный, напротив, изучен очень слабо. Гидрохимические исследования проводились здесь только в 60-х гг. прошлого века [6]. Изотопные определения ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) для вод этого вулкана отсутствуют вовсе. Цель данной работы – дать характеристику изотопного и химического состава вод грязевого вулкана Восточный, а также провести сравнительный анализ с Южно-Сахалинским грязевым вулканом.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Грязевой вулкан Восточный расположен примерно в 2,5 км юго-западнее пос. Восточный Макаровского района – на небольшой возвышенности. Здесь расположены несколько участков, лишенных растительного покрова, на которых в небольшом количестве регулярно выделяются газ, жидкая грязь и вода (рис. 1).

Согласно литературным данным в составе свободных газов рассматриваемого вулкана преобладает CH_4 – более 60 об. %, содержание CO_2 – около 25 об. % [6]. Для сопочных вод в литературе имеются результаты химического анализа только для одной пробы [6]. По этим данным воды гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые, минерализация – немногим менее 11 г/л.

Считается, что большинство грязевых вулканов о. Сахалин находятся в схожих геологических условиях [4]. Особенно это касается Южно-Сахалинского вулкана, группы Пугачевских вулканов и вулкана Восточный. В частности, они все приурочены к региональному субмеридиональному взбросо-надвику (Центрально-Сахалинскому разлому). Размещаются все эти вулканы в поле одной и той же верхнемеловой алевритово-аргиллитовой высокопластичной формации (быковская свита), питающей вулканы. Однако в отличие от других вулканов на вулкане Восточный нет грязевых полей, регулярно образующихся после извержений. Данные об извержениях в современное время (как минимум, за последнее столетие) здесь отсутствуют.

В августе 2017 гг. были отобраны три пробы водогрязевой смеси, изливающейся из грифонов грязевого вулкана Восточный. Водные пробы последовательно очищались от грязевой взвеси с помощью центрифугирования и мембранных (0.45 мкм) фильтров. Анализ химического состава сопочных вод проводился в Центре коллективного пользования ИМГиГ ДВО РАН. Содержание Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} определялось методом ионной хроматографии. Концентрация HCO_3^- определялась титриметрическим методом с визуальной индикацией конечной точки титрования. Концентрация CO_3^{2-} определялась в основном рас-

четным методом в предположении равновесия всех ионов в растворе из уравнения второй степени диссоциации угольной кислоты. Коэффициенты активности ионов определялись по формуле Дэвиса. Содержание общего азота, неорганического и органического углерода определялось методом термokatалитического окис-

ления на анализаторе TOC-L (Shimadzu, Япония). Измерения массовой концентрации бора проводились фотометрическим методом с азометином-Аш. Изотопные определения ($\delta^{18}\text{O}$ и δD) были выполнены в Ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ.

Рис. 1. Один из действующих грифонов на грязевом вулкане Восточный (29 августа 2017 г.)

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате химико-аналитических исследований установлено, что изливающиеся воды вулкана Восточный являются слабощелочными (pH от 7.8 до 8.2). Минерализация составляет 9-12 г/л. Это примерно вдвое меньше, чем минерализация вод Южно-Сахалинского вулкана. Тип вод у обоих сравниваемых вулканов одинаковый – гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый. Но доля Na^+ в составе катионов будет выше для вод вулкана Восточный (рис. 2). Отметим, что при этом сравнении целесообразно разделить воды Южно-Сахалинского вулкана на две группы – активные и пассивные грифоны. В работе [5] показано, что для активных грифонов характерны повышенные содержания Na^+ , Mg^{2+} и HCO_3^- (при одинаковом содержании Cl^-). Среди анионов в водах вулкана Восточный доля HCO_3^- выше, чем в водах Южно-Сахалинского вулкана.

Гидрохимический геотермометр Mg-Li считается наиболее подходящим для использования в отношении грязевых вулканов [3]. Температуры формирования сопочных вод вулкана

Восточный, вычисленные с помощью этого геотермометра, составляют 40-60 °С. Это соответствует глубине залегания питающих водоносных горизонтов 1.5-2 км [1]. Аналогичные температурные оценки для вод Южно-Сахалинского вулкана заметно выше и составляют 100-110 °С (опробование 2015 г.). Однако следует помнить, что при подъеме подземных вод на земную поверхность происходит переуравновешивание минеральных компонентов водного раствора в соответствии с изменяющимися в процессе подъема температурными условиями. Следовательно, чем медленнее происходит разгрузка сопочных вод, тем сильнее геотермометр занижает оценки температуры питающего резервуара. Активность грифонов вулкана Восточный значительно ниже, чем Южно-Сахалинского вулкана. Наблюдаемые низкие дебиты грифонов вулкана Восточный позволяют предположить, что пластовые температуры должны быть выше, т.е. источник водного питания вулкана находится на глубине гораздо большей, чем 2 км. И в этом отношении различия между сравниваемыми вулканами могут быть уже не столь существенными.

Рис. 2. Треугольники Ферре для химического состава вод грязевых вулканов о. Сахалин: вулкан Восточный (1); Южно-Сахалинский вулкан, опробование 2015 г. – активный (2) и пассивный (3) грифоны

Впервые определен изотопный состав вод вулкана Восточный. Значения показателей $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ лежат в интервале (+1.0; +6.4) ‰ и (–34; –23) ‰ SMOW соответственно. Эти значения сильно удалены от линии метеорных вод Крейга и позволяют охарактеризовать исследуемые воды как седиментогенные (погребенные в глубоких слоях осадочных пород). При этом проба с меньшей минерализацией имеет более легкий изотопный состав. Это говорит о возможном подмешивании метеорных вод к сопочным водам в некоторых грифонах. Отметим, что в целом изотопные показатели для вод Южно-Сахалинского вулкана имеют близкие значения.

Отношение Cl/Br для вод вулкана Восточный составляет от 900 до 1400. Это свидетельствует не в пользу вывода о высокой метаморфизации исследуемых вод и их приуроченности к хорошо закрытым структурам (зонам замедленного водообмена). Однако следует учитывать, что при использовании метода ионной хроматографии, скорее всего, происходит некоторое занижение концентрации Br^- . Хроматографические пики для Cl^- и Br^- могут накладываться друг на друга и при большой разнице в концентрациях этих анионов происходит занижение результата по аниону, содержащемуся в меньшем количестве [2]. Отношение Cl/Br может достигать 1000 и более в случае выщелачивания соленосных отложений. В нашем случае это маловероятно хотя бы в силу относительно небольшой минерализации сопочных вод. К снижению коэффициента Cl/Br часто приводит поступление в подземные воды биогенного брома (из органического вещества).

Здесь можно заметить, что содержание органического углерода в водах вулкана Восточный близко к нулю. Содержание общего азота – еще одного биогенного элемента, образующегося при разложении органики – также невелико и составляет 3–6 мг/л. В целях сравнения укажем, что в водах Южно-Сахалинского вулкана примерно такие же содержания органического углерода и общего азота.

Концентрация бора в водах вулкана Восточный составляет 280–360 мг/л. Такие высокие концентрации характерны для грязевых вулканов вообще, и для Южно-Сахалинского вулкана в частности. Так, например, при опробовании последнего в 2015 г. содержание бора в сопочных водах составило 210–250 мг/л.

Рассчитан индекс насыщения SI (Saturation Index) по кальциту для вод вулкана Восточный. Значения SI составляют 1.4–1.6. Следовательно, исследуемые воды сильно перенасыщены по кальциту, что обуславливает осаждение этого минерала из водного раствора. Отметим, что для вод Южно-Сахалинского вулкана также характерна сильная перенасыщенность по кальциту. Эту общую для сахалинских грязевых вулканов особенность можно объяснить наличием достаточно большого количества CO_2 в грязевулканических газах. Углекислый газ, растворяясь при высоком пластовом давлении в сопочных водах, способствует росту концентрации HCO_3^- , а также повышению концентрации Ca^{2+} – за счет более интенсивного гидролиза алюмосиликатов. При подъеме сопочных вод происходит декомпрессия и выделению части растворенного CO_2 в свободную фазу. Это при-

водит к смещению химических растворов в водном растворе и частичному выпадению кальцита в осадок.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изотопный и химический состав водных проб, отобранных из грифонов грязевого вулкана Восточный, позволяет говорить о проникновении сопочных вод с больших глубин и о сравнительно небольшом влиянии на них вод зоны свободного водообмена. Исследованные воды относятся к гидрокарбонатно-хлоридно-натриевому типу. Несмотря на общность геологических обстановок, для вулкана Восточный существуют определенные различия гидрохимических показателей по сравнению с Южно-Сахалинским грязевым вулканом. Воды вулкана Восточный более щелочные, имеют меньшую минерализацию, выше доля Na^+ и HCO_3^- в составе катионов и анионов соответственно. На основе расчетов по гидрохимическому геотермометру Mg-Li можно предположить, что источник водного питания вулкана Восточный залегает на глубине не менее 2 км. Термодинамические расчеты показывают, что сопочные воды сильно перенасыщены по кальциту. Это

позволяет говорить о том, что в верхней части канала вулкана непрерывно протекают процессы формирования вторичного (аутигенного) кальцита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселов О.В., Волгин П.Ф., Лютая Л.М. Строение осадочного чехла Пугачевского грязевулканического района (о. Сахалин) по данным геофизического моделирования // Тихоокеанская геология. – 2012. – № 6. – С. 4-15.
2. Ершов В.В. К вопросу об изменчивости химического состава сопочных вод (на примере Южно-Сахалинского грязевого вулкана) // Тихоокеанская геология. – 2017. – № 1. – С. 80-88.
3. Лаврушин В.Ю., Гулиев И.С., Киквадзе О.Е. и др. Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-химические особенности и условия формирования // Литология и полезные ископаемые. – 2015. – № 1. – С. 3-29.
4. Мельников О.А., Ильев А.Я. О новых проявлениях грязевого вулканизма на Сахалине // Тихоокеанская геология. – 1989. – № 3. – С. 42-49.
5. Никитенко О.А., Ершов В.В., Левин Б.В. Первый опыт выделения гидрогеохимических индикаторов грязевулканической активности // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 477, № 5. – С. 586-589.
6. Сирый И.М. Нефтегазоносность восточных склонов Западно-Сахалинских гор. – М.: Наука, 1968. – 248 с.

ISOTOPIC AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATERS FROM VOLCANO VOSTOCHNYY (SAKHALIN ISLAND)

Ershov V.V.

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, E-mail: valery_ershov@mail.ru

ABSTRACT: In the paper we are considering the results of studies isotopic and chemical composition of the waters from volcano Vostochnyy (Sakhalin Island). There are differences in hydrochemical parameters compared to the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano despite the common geological situation. The temperature of formation of the water of the investigated volcano according to the hydrochemical Mg-Li geothermometer is 40-60 °C. Thermodynamic calculations show that the waters of the volcano Vostochnyy are supersaturated to calcite.