

О выносе мышьяка низкотемпературными гидротермами Курильских островов (острова Кунашир, Шиашкотан)

К.В. Тарасов, О.М. Топчиева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
e-mail: belfast@kscnet.ru*

Исследованы гидротермальные источники островов Кунашир и Шиашкотан (Курильская гряда), определены их физико-химические параметры. Рассмотрены особенности миграции и осаждения мышьяка в гидротермах.

Введение

Исследования химического состава гидротермальных источников, а также изучение их придонных осадков, дает возможность выявить условия образования вторичных гидротермальных минералов. Исследованные горячие источники приурочены к вулкану Менделеева (остров Кунашир) и к береговой части острова Шиашкотан.

Вулкан Менделеева довольно хорошо изучен, наиболее значимые работы на нём были проведены С.И. Набоко в 1959 году [10] и Л.М. Лебедевым и др. в 70-х годах [9]; также проведена геологическая съемка масштаба 1: 200 000 [4,6].

Береговые источники острова Шиашкотан изучены Стратулой в 1966 г. [11], Евсеевым и др. [4].

Геологическое строение

Кунашир — крайний юго-западный остров Большой Курильской гряды. Он отделен от Итурупа проливом Екатерины в 22 км шириной. На острове имеется четыре хорошо выраженных вулкана, все они — действующие. Северную, расширенную часть острова занимают высокие вулканы Тятя и Руруй; остальные два вулкана расположены в южной части острова. Средняя часть острова, между этими двумя группами, представляет область распространения третичных вулканогенных пород с интрузиями гранодиоритов [3].

Нижний структурный ярус Кунашира здесь представлен относительно сильно дислоцированными фациально-изменчивыми основными, средними и кислыми вулканическими породами, песчаниками, конгломератами, алевролитами, выделяемыми в кунаширскую и ловцовскую свиты. Выше залегают породы алёхинской и головнинской свит, представленные вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями преимущественно кислого и среднего составов, хотя среди них встречаются и базальты.

Нижнеплейстоценовые платоэффузивы относятся к образованиям ареального вулканизма и представлены, преимущественно, потоками базальтов, андезибазальтов и андезитов, бронирующими высокие террасы и выровненные привершинные поверхности рельефа.

Современная вулканическая активность сосредоточена в пределах четырёх вулканов: Головнина, Менделеева, Тятя и Руруй [7].

Шиашкотан — один из островов Онекотанского блока Большой Курильской гряды. Основными морфологическими структурами острова являются два многоцентровых вулканических массива среднего плейстоцена-голоцена Синарка и Кунтоминтар [11]. В строении вулканических массивов отмечена [8] смена вверх по разрезу примерно одинаковых комплексов пород, состоящих из переслаивающихся

толщ лавовых и пирокластических потоков базальтового, андезибазальтового и андезитового составов. Фундамент четвертичных вулканов обнажается узкой полосой вдоль Тихоокеанского берега и на перешейке Макарова, разделяющий остров на две части.

Исследуемые гидротермальные поля острова Шиашкотан расположены на Охотоморском побережье (источники Дробные и Башмачные), коренные породы представлены округловской свитой неогенового возраста (N_{1-2ok}). Представлена агломератовыми туфами базальтов, андезибазальтов и андезитов, гаиалокластитами андезибазальтов, туфопесчаниками, туффитами, редко базальтами и андезитовыми туфами [4].

Результаты исследований

Исследования осадка Верхне-Докторских источников (о. Кунашир) выявили, что он представляет собой смесь минералов опала и ярозита. По результатам РФА отмечены очень высокие содержания As (до 10656 г/т), Ва (до 3542 г/т), Рb (до 4774 г/т) (анализ выполнили Е.В. Карташева, Н.Ю. Курносова, В.М. Рагулина; ИВиС ДВО РАН).

Наиболее высокие содержания мышьяка в осадках Башмачных и Дробных источников (о. Шиашкотан) показали образцы гётита (более 64000 г/т и более 6500 г/т соответственно; анализ выполнили Е.В. Карташева, Н.Ю. Курносова, В.М. Рагулина; ИВиС ДВО РАН), отлагающегося в руслах источников.

С целью выявления условий образования минералов, а также объяснения высокое содержание в них мышьяка и других элементов, были изучены физико-химические параметры самих источников (табл.1).

Таблица 1. Физико-химические параметры, содержания As, Ва, Рb в водах термальных источников островов Кунашир, Шиашкотан

Место отбора	Источники	pH	T°C	As (мг/л)	Ва (мг/л)	Рb (мг/л)
Остров Кунашир	Верхне-Докторские	2,92	52	1,5	0,13	0,16
Остров Шиашкотан	Дробные	6,66	67	2,2	0,16	0,05
	Башмачные	6,33	56	6,4	0,9	0,05

Анализы выполнены: пробы с о. Кунашир – ГИН РАН (Москва); с о. Шиашкотан – МГУ, кафедра геохимии (Москва)

Обсуждение результатов

Поскольку соединения мышьяка летучи при высоких температурах, он не накапливается в водах гидротермальных источников, где присутствуют возгоны и фумаролы (T >500 °C). В таких условиях As в большей степени рассеивается в атмосфере, в меньшей – осаждается около устьев фумарол. Например, на Мутновском вулкане, в кратере «Активная воронка», фумаролы (температура в устьях – от 153 до 507 °C, в глубине >700 °C) выносят на поверхность от 39 до 292,5 кг/сутки мышьяка; также он осаждается как продукт реакций газ – порода в виде мышьяковистой серы (содержание As 35 – 42 масс. %) [5]. Однако, в гидротермальных водах самого вулкана (Донное фумарольное поле) концентрация мышьяка небольшая [1] (табл. 2).

Схожая ситуация наблюдается и на вулкане Менделеева (остров Кунашир) – содержания мышьяка в водах, где присутствует высокотемпературная газовая составляющая (фумаролы), количество As низкое (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические параметры, содержания As, Ba, Pb в термальных источниках вулканов Мутновский, Менделеева, Кунтоминтар и Синарка

№	Место отбора	Источники	pH	Т°С	As (мг/л)	Ba (мг/л)	Pb (мг/л)
1	Мутновский (юго-восточная Камчатка)	Донное фумарольное поле	-0,56 до 1,95	65,5- 87,3	0,06-0,61	0,083- 2,13	-
2		Южная часть Донного фумарольного поля	0,55 до 2,8	87,4- 92,9	0,2-5,7	0,017- 0,03	0,12
3	Менделеева (остров Кунашир)	Столбовские	6,09	78,0	0,01	0,088	0,0005
4		Третьяковские	7,24	95,7	0,24	0,014	0,0002
5		Верхне- Менделеевские	2,35	99,6	0,002	0,0033	0,0009
6		Северо-Западное фумарольное поле	2,09	56,6	0,002	0,0039	0,0022
7	Кунтоминтар (остров Шиашкотан)	Фумарольное поле	2,34	76,1	0,25	0,009	0,008
8		Фумарольное поле	1,73	96,1	0,11	0,34	0,06
9	Синарка (остров Шиашкотан)	Бурлящий	3,48	95,1	0,008	0,02	0,005
10		Котел водный	3,49	97,6	0,002	0,04	0,02

Данные взяты: 1-2 [1]; 3-6 - ГИН РАН (Москва); 7-10 - МГУ, кафедра геохимии (Москва)

Соответственно, в местах, где присутствует разгрузка термальных вод без газовой составляющей, соединения мышьяка остаются в воде, и в дальнейшем осаждаются в виде мышьяковистого осадка, как в случае Верхне-Докторских, Башмачных и Дробных источников.

Характерной особенностью изучаемых осадков является то, что мышьяк осаждается при наличии железистых минералов (в нашем случае – гетит и ярозит). Также вместе с As накапливаются такие элементы как свинец и барий. Поэтому важно выявить условия образования обнаруженных минералов.

Гетит $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – образуется в окислительных условиях и при низких температурах в гидротермальных системах. Замещает магнетит, Fe-Mg минералы и основную массу [2].

Ярозит $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ – образуется в кислых средах ($\text{pH} < 3$), в водах сульфатно-хлоридных, среднеминерализованных, обогащенных закисью железа. Выпадение ярозита из воды обусловлено окислением воды и переходом FeO в Fe_2O_3 [10].

Опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – образуется в кислых и нейтральных средах растворов, при низких температурах ($< 110^\circ\text{C}$). Он замещает компоненты первичных пород [2].

Выводы

Высокие концентрации мышьяка в гидротермальных источниках и их осадках могут быть следствием отсутствия высокотемпературной газовой составляющей. Вероятно, справедлива и обратная зависимость – в гидротермах, где присутствуют высокотемпературные вулканические эксгаляции, содержания мышьяка низкие.

Химический состав и pH гидротермальных источников, скорее всего, не влияют на концентрации As в воде и осадках.

Повышенное содержание мышьяка в гидротермах и их осадках указывает на высокие концентрации других элементов, таких как Ва, Fe, Рb и др.

Мышьяк, определенный в ассоциации с железистыми минералами, отлагающимися в руслах сточных потоков (гетит, ярозит), возможно представлен минералами скородита, аурипигмента, реальгара или арсенопирита.

Источник поступления мышьяка, скорее всего, глубинный, однако, вопрос о его происхождении требует дальнейших исследований.

За помощь в проведении исследований авторы выражают благодарность сотрудникам Института Вулканологии и Сейсмологии ДВО РАН Калачевой Е. Г., Тарану Ю.А., Волошиной Е.В. и Назаровой М. А.

Исследования были проведены по программе гранта РФФИ №15-17-20011.

Список литературы

1. *Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Гора М.П. и др.* Газогидротермы Камчатки и Курильских островов: состав, строение, генезис. Новосибирск: СО РАН, 2013. 282 с.
2. Главные гидротермальные минералы и их значение. Под редакцией Белоусова В.И. Изд-во: Отдел геотермальной и рудной Служб Кингстон Моррис Лимитед, 2009. 40 с.
3. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильских островной дуги. М.: Наука, 1967. 183 с.
4. *Евсеев В.Ф., Шейко В.Т., Ковтунович П.Ю.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Курильская. Листы М-56- XII, XVII, XXIV; М-57-VII, XIII (о. Парамушир), М-56-XXIII, XXIX (о. Онекотан), М-56-XXVIII, XXIX, XXXIV, XXXVI (о. Шиашкотан), М-56-XXXIII, XXXIV; L-56-III, IV (о. Матуа), L-56-II, III, VII, VIII, IX (о. Симушир). Объяснительная записка. Спб.: ВСЕГЕИ, 2001. 123 с.
5. *Зеленский М.Е.* Транспорт элементов и условия минералообразования в зонах разгрузки высокотемпературных фумарол на вулкане Мутновский, Камчатка: Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2003. 22 с.
6. *Ковтунович П.Ю., Сафронов А.Д., Удодов В.В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Курильская. Листы L-55-XXII, XXVIII, XXXIX (Курильск), L-55-XXIII, XXIX (влк. Тятя), K-55-II, L-55-XXXII (Южно-Курильск). Объяснительная записка. Спб.: ВСЕГЕИ, 2002. 269 с.
7. *Мартынов Ю.А., Мартынов А.Ю., Чащин А.А., Рыбин А.В.* Базальты вулкана Тятя: петрология и генезис (остров Кунашир, Курильская островная дуга) // Тихоокеанская геология. 2005. Том № 24. № 3. С. 22-31.
8. *Мархинин Е.К., Стратула Д.С.* Новые данные о вулканах Центральных Курильских островов // Современный вулканизм. 1966. Т. 1. С. 94–98.
9. *Лебедев Л.М., Зотов А.В., Никитина И.Б. и др.* Современные процессы минералообразования на вулкане Менделеева (о-в Кунашир). М.: Наука, 1980. 176 с.
10. *Набоко С.И.* Вулканические эксгальции и продукты их реакций. М.: АН СССР, 1959. 304 с.
11. *Стратула Д. С.* Вулканы острова Шиашкотан и проблемы вулканических рядов. Петропавловск-Камчатский: СО АН СССР, 1968. 308 с.