

## Мышьяксодержащий ярозит Верхне-Докторских источников, остров Кунашир, Курильские острова, Россия

*О.М. Топчиева, А.В. Сергеева, Е.С. Житова, М.А. Назарова*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [topchieva2011@mail.ru](mailto:topchieva2011@mail.ru)*

### Введение

Ярозит – минерал надгруппы алунита, его химическая формула  $KFe^{3+}_3[SO_4]_2[OH]_6$ . Ярозит, как правило, образуется как первичный минерал в гидротермальных системах при низких температурах, или же как вторичный минерал в зоне окисления сульфидосодержащих пород, зачастую являясь продуктом разложения пирита. Стоит отметить, что минералы надгруппы алунита также встречаются на термальных полях Паужетско-Камбально-Кошелёвского района [6].

Мышьяксодержащий ярозит Верхне-Докторских источников впервые описан в работах А.В. Зотова [1] и С.И. Набоко [4, 5]. В работах данных авторов отмечено высокое содержание As в осадках, при этом по комплексу методов мышьяк отнесен ими к отдельной фазе – минералу скородиту,  $FeAsO_4 \cdot 2H_2O$ , в то время как Р был принят как примесь в ярозите. В нашей работе приводятся новые данные по исследованию ярозита Верхне-Докторских источников.

### Район работ

*Кунашир* – крайний юго-западный остров Большой Курильской гряды (рис. 1). На острове существуют четыре хорошо выраженных вулкана, все они – действующие. Северную часть острова занимают вулканы Тятя и Руруй; вулканы Менделеева и Головнина расположены в южной части острова [3].

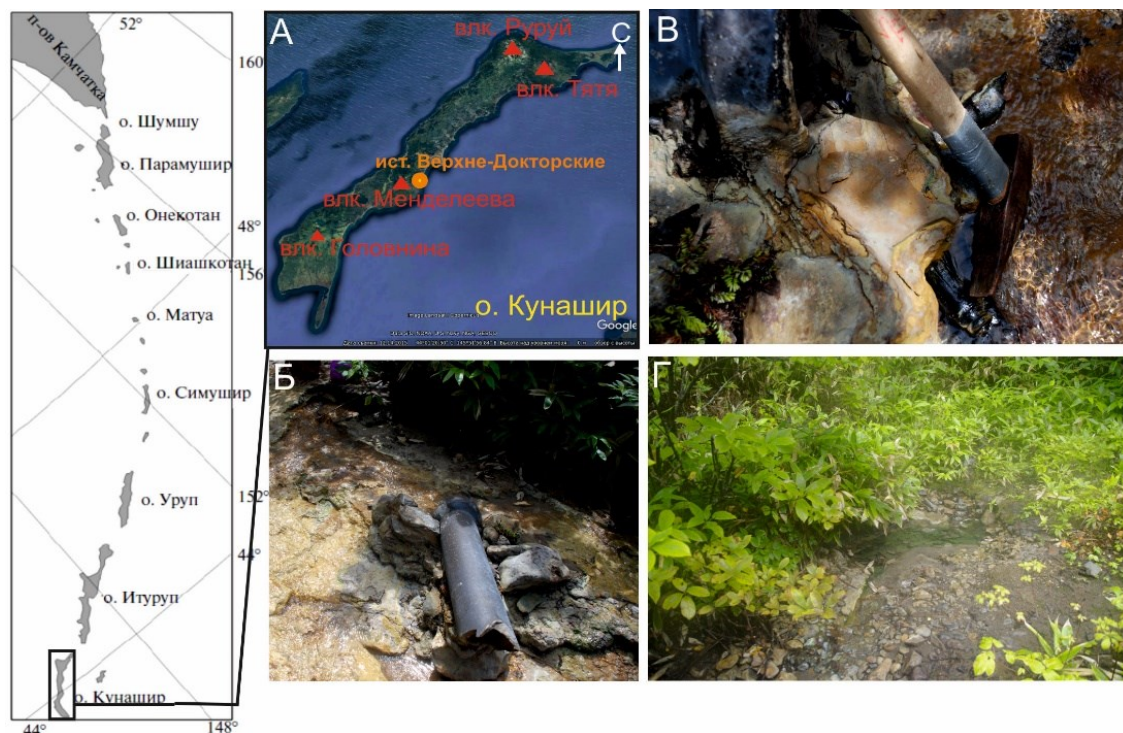


Рис. 1. А – место расположения Верхне-Докторских источников, Б – русло источников, покрытое рыхлыми корками ярозита, В – коренная порода в ассоциации с ярозитом, Г – общий вид Верхне-Докторских источников. Фото Л.В. Котенко.

Отбор проб производился в районе вулкана Менделеева на термальной площадке Верхне-Докторских источников в 2017 г. Источники представлены высокотемпературными немногочисленными выходами термальной воды в верхнем течении руч. Лечебного. Они отмечаются высоким содержанием As, Pb и Ba, pH ~1.3 [1, 2]. Пробы представлены вмещающей монолитной *андезитовой породой в ассоциации с ярозитом (R-47) и осадком (R-46)*, отобраным из русла Верхне-Докторских источников, который сформировался в виде натечных образований и рыхлых корок.

### Результаты исследований

Рентгенофлуоресцентный анализ проб проведен на приборе PIONEER S4, аналитики Курносова Н.Ю., Рагулина В.М., Чеброва Н.И. По результатам анализа в пробе R-47 (порода) выявлены повышенные содержания As, Ba и Pb – 15037 г/т, 2996 г/т, 963 г/т, соответственно. В образце R-46 (осадок) отмечаются повышенные содержания тех же элементов: As, Ba и Pb – 15433 г/т, 6789 г/т, 20297 г/т.

Также образцы исследовались с помощью электронно-зондового микроанализа с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 (U=20 кВ), аналитики Философова Т.М., Москалева С.В. В результате анализа R-47 обнаружены следующие основные элементы: S, K, Fe, O; в небольших количествах зафиксирован As, встречены низкие содержания Ba, Pb и P. В ассоциации отмечаются минералы исходной породы – ортопироксены (энстатит и ферросилит), а также выявлены опал, кварц и титаномагнетит.

Для образца R-46 характерны следующие элементы: S, K, Fe, O; присутствуют As, Ba, Pb и P. В ассоциации выявлены алунит, опал и кварц.

Усредненные данные по химическому составу ярозита из образцов породы (R-47) и осадка (R-46) приведены в табл. 1. Низкая сумма элементов объясняется качеством полировки рыхлой породы.

Таблица 1. Средний химический состав ярозитов (в мас. %)

Образец №	R-47	R-46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.84
SO <sub>3</sub>	29.25	23.52
K <sub>2</sub> O	8.08	7.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.55	44.28
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.81	2.11
BaO	0.48	0.82
PbO	0.20	3.49
H <sub>2</sub> O	8.95	10.60
Сумма	93.55	93.18

Рентгенодифракционные исследования проводились на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 MAXima, аналитик Назарова М.А. Все присутствующие на дифрактограммах изученного вещества рефлексы [ $d$  (Å) ( $I$  (%))]: 5.92 (12); 5.09 (28); 3.08 (100); 2.86 (16); 2.54 (18); 2.29 (35); 1.97 (36); 1.82 (35); 1.54 (18); 1.34 (10) относятся к ярозит-алунитовому структурному типу, к примеси опала и кварца (рис. 2).

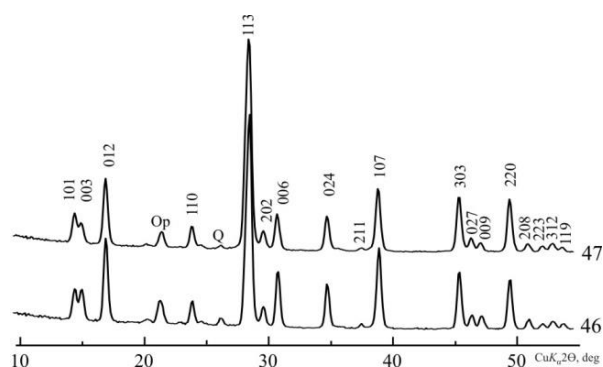


Рис. 2. Дифрактограммы ярозитов: 46 – осадок из источников; 47 – порода в ассоциации с ярозитом. Условные обозначения: цифрами обозначены  $(hkl)$  ярозита, Op – опал, Q – кварц.

Инфракрасные (ИК) спектры поглощения (рис. 3) записывались с помощью ИК Фурье-спектрофотометра Shimadzu IR Affinity-1, аналитик Назарова М.А. Отнесение полос инфракрасного спектра к структурным фрагментам приведено в табл. 2. ИК-спектры R-46 и R-47 имеют схожие волновые числа, поэтому данные представлены в одной таблице.

Таблица 2. Положения ( $\text{см}^{-1}$ ) полос поглощения исследуемых ярозитов Верхне-Докторских источников, остров Кунашир.

Волновое число, $\text{см}^{-1}$	Структурный фрагмент
1182 (?); 3385	[OH]
1965; 2017; 2174	[OH-AsO <sub>3</sub> ]
1004 447 1085; 1182 630; 659	[SO <sub>4</sub> ]
800 842; 870; 900	[AsO <sub>4</sub> ]
474; 512; 570	[Fe <sup>III</sup> O <sub>6</sub> ]

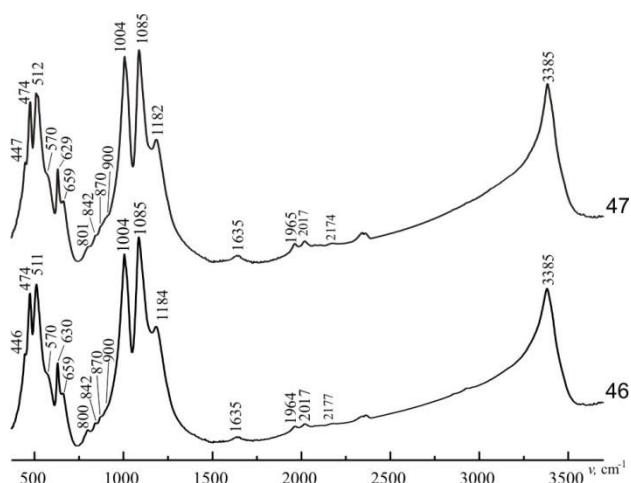
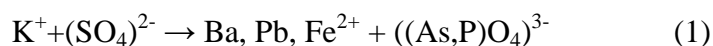


Рис. 3. ИК-спектры ярозитов: 46 – осадок из источников; 47 – порода в ассоциации с ярозитом.

### Выводы

На основании вышеприведенных исследований выявлено, что арсенат ( $\text{AsO}_4$ )<sup>3-</sup> и фосфат ( $\text{PO}_4$ )<sup>3-</sup> входят в позицию сульфата ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup>, дополнительный отрицательный заряд, получаемый при таком гетеровалентном замещении, компенсируется

вхождением двухвалентных катионов (Ba, Pb, и, возможно, Fe<sup>2+</sup>) в позицию K<sup>+</sup>, что проиллюстрировано нами с помощью следующей схемы:



Коллектив авторов благодарит Калачеву Е.Г. за предоставленные материалы и Тарасова К.В. за отбор проб, а также операторов сканирующего электронного микроскопа (TESCAN VEGA 3) Философову Т.М., Москалеву С.В., аналитиков рентгенофлуоресцентного анализа Курносову Н.Ю., Рагулину В.М., Чеброву Н.И.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-17-00016.

### Список литературы

1. *Зотов А.В.* Ярозит в осадках термальных вод острова Кунашир. В кн.: Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов / Отв. ред. С.И. Набоко. М.: Наука, 1970. С. 165-187.
2. *Калачева Е.Г., Таран Ю.А., Котенко Т.А. и др.* Гидротермальная система вулкана Менделеева, о. Кунашир, Курильские острова: геохимия и вынос магматических компонентов // Вулканология и сейсмология. 2017. Том 5. С. 18-35.
3. *Мархинин Е.К.* Вулканы острова Кунашир. В кн.: труды Лаборатории вулканологии / Отв. ред. С.И. Набоко. М.: АН СССР, 1959. № 17. С. 64-155.
4. *Набоко С.И.* Вулканические эксгаляции и продукты их реакций. В кн.: труды Лаборатории вулканологии / Отв. ред. В.И. Влодавец. М.: АН СССР, 1959. № 16. 304 с.
5. *Набоко С.И.* Современные осадки ярозита и гидрогетита и изменение состава ярозита при понижении температуры растворов. В кн.: Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов / Отв. ред. С.И. Набоко. М.: Наука, 1970. С. 187-192.
6. *Сергеева А.В.* Минеральный состав гидротермальных глин, сформированных под действием разгрузок различного типа // Материалы XX региональной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 207-210.