



Ковач В.П., Котов А.Б., Смелов А.П., Старосельцев К.В., Сальникова Е.Б., Загорная Н.Ю., Сафронов А.Ф., Павлушин А.Д. Этапы формирования континентальной коры погребенного фундамента восточной части Сибирской платформы: Sm-Nd изотопные данные // *Петрология*. 2000. Т. 8. С. 394–408.

Ларин А. М., Котов А. Б., Ковач В. П., Сальникова Е. Б., Гладкочуб Д. П., Саватенков В. М., Великославинский С. Д., Сквитина Т. М., Ризванова Н. Г., Сергеева Н. А., Водовозов В. Ю. Граниты рапакиви Кодарского комплекса (Алданский щит): возраст, источники и тектоническое положение // *Петрология*. 2021. Т. 29. № 4. С. 339–364.

Ларин А.М., Котов А.Б., Великославинский С.Д. и др. Раннедокембрийские гранитоиды А-типа Алданского щита и его складчатого обрамления: источники и геодинамические обстановки формирования // *Петрология*. 2012. Т. 20. № 3. С. 242–265.

Ларин А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б. и др. Раннепротерозойские коллизионные и постколлизионные граниты северной части Байкальской складчатой области // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2006. Т. 14. № 3. С. 3–15.

Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Котов А.Б. и др. Каларский анортозит-чарнокитовый комплекс (Алдано-Становой щит): возраст и тектоническое положение // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2004. Т. 12. № 3. С. 3–11.

Самсонов А.В., Постников А.В., Спиридонов В.А., Ларионова Ю.О., Ларионов А.Н., Травин А.В., Постникова О.В., Соловьева Н.В., Сабиров И.А., Спиридонов И.В. Неоархейские гранитоиды на западе Тунгусского супертеррейна, фундамент Сибирской платформы: геохронология, петрология, тектоническое значение // *Петрология*. 2021. Т. 29. № 5 (в печати)

Donskaya T.V. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from paleoproterozoic Granitoids // *Precambrian Res.* 2020. V. 348. 105869.

Priyatkina N., Ernst R E., Khudoley A.K. A preliminary reassessment of the Siberian cratonic basement with new U-Pb-Hf detrital zircon data // *Precambrian Res.* 2020. V. 340. 105645.

ЦЕОЛИТЫ В АРГИЛЛИЗИТАХ ВОСТОЧНО-ПАУЖЕТСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)

Сандиминова Е.И., Рычагов С.Н., Чубаров В.М.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия,
sand@kscnet.ru*

Паужетское геотермальное месторождение является перспективным цеолитоносным объектом Камчатского района Тихоокеанской цеолитоносной провинции, прогнозные ресурсы которого оцениваются в 200 млн. т. (Буров, 1992). В недрах месторождения была выделена мощная зона цеолитизированных пород на глубине до 500 м (Набоко, 1963). Цеолиты отмечены также в отложениях субповерхностных термопроявлений месторождения, в осадках термальных источников, в трубопроводах и др. технических сооружениях. Однако в этих отложениях они мало изучены.

В 2008–2020 гг. сотрудники лаборатории геотермии ИВиС ДВО РАН исследовали состав и строение толщи гидротермальных глин Восточно-Паужетского термального поля. Шурфами и скважинами колонкового бурения вскрыт разрез толщи на глубину до 10 м, сложенный (сверху вниз) следующими основными горизонтами: пестроцветными охристыми полутвердыми каолиновыми глинами мощностью от 30 до 250 см; светло-серыми мягко-тугопластичными каолинит-монтморрилонитовыми глинами мощностью 40–300 см; твердыми монтморрилонитовыми пиритизированными «синими глинами» средней мощностью около 250 см и подстилающими пиритизированными и аргиллизированными брекчиевидными андезитами.

Изучение минерального состава аргиллизитов показало, что цеолитовая минерализация развивается во всех горизонтах толщи глин (кроме верхнего, представленного зоной



сернокислотного выщелачивания), а максимальное количество цеолитов фиксируется в зоне перехода «синих глин» в аргиллизированные андезиты, где цеолиты замещают до 20–30 % объема породы. В породах основания толщи цеолиты локализируются в виде скоплений неправильной формы размером до 3–5 см; отлагаются на стенках пустот и трещин в виде корок и щеток кристаллов; заполняют поры и пустоты различной конфигурации и мощности. Цеолитовые отложения имеют белый цвет. По данным энергодисперсионной спектроскопии выделяется четыре вида цеолитов, содержание CaO в них колеблется в следующих пределах: гейландит-Ca – 4.4–6.2; стильбит-Ca – 6.3–8.4, ломонтит – 10.2–12.4 и морденит – 5.3–5.9 мас. %. Характерные составы цеолитов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав цеолитов из аргиллизитов Восточно-Паужетского термального поля по данным энергодисперсионной спектроскопии (мас. %).

№ п/п	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	SrO	BaO	Сумма	Si/Al
1	–	–	–	14.26	59.42	7.81	–	–	81.49	3.53
2	–	–	–	14.35	58.21	7.80	–	–	80.35	3.44
3	–	–	–	14.52	58.73	7.89	–	–	81.15	3.43
4	–	0.52	0.49	16.08	58.68	5.97	–	1.34	83.09	3.09
5	–	0.40	0.74	15.53	60.06	5.75	–	1.16	83.65	3.28
6	–	0.58	0.56	16.14	58.96	5.69	–	1.57	83.50	3.10
7	–	–	–	21.08	50.22	11.56	–	–	82.86	2.02
8	–	–	–	20.39	49.26	10.96	–	–	80.60	2.05
9	–	0.41	–	19.60	51.32	10.48	–	–	81.81	2.22
10	1.06	0.31	–	11.86	65.31	5.21	–	–	83.75	4.67
11	0.52	0.59	–	11.33	64.02	5.20	1.04	–	82.70	4.79
12	1.73	0.19	–	12.07	65.53	5.05	0.71	–	85.28	4.60

Примечание. Анализы выполнены с помощью СЭМ VEGA 3, оснащенного аналитической приставкой OXFORD instruments X-MAX 80 с фирменным программным обеспечением AZtec (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, аналитик – В.М. Чубаров). Анализы: 1–3 – стильбит-Ca, 4–6 – гейландит-Ca, 7–9 – ломонтит, 10–12 – морденит. Прочерк – содержание элемента ниже предела чувствительности микрозонда.

По отношению Si/Al цеолиты относятся к средне- (2–3) и высококремнистым (> 3) кальциевым разновидностям. Наибольшее распространение в аргиллизитах Восточно-Паужетского термального поля имеет *стильбит-Ca*. Он отлагается в виде уплощенных пластинчатых кристаллов до 0.6 мм в длину, параллельно-листоватых и радиально-лучистых агрегатов. В меньшем количестве отмечается *гейландит-Ca*. Для него характерен изометрический габитус кристаллов размером до 0.15 мм, в срезе имеющих форму трапеции и зональное строение, обусловленное колебанием в составе зон элементов-примесей: K, Mg, Sr и Ba. *Ломонтит* присутствует в аргиллизитах в существенно меньших количествах, чем остальные цеолиты. Он развивается преимущественно по плагиоклазам, а также образует самостоятельные удлиненно-призматические кристаллы с совершенной спайностью. *Морденит* чаще встречается в аргиллизированных андезитах, отлагается в полостях и трещинах в виде сноповидных игольчатых агрегатов. Отдельные кристаллы морденита достигают 50 мкм в длину. В ассоциации с цеолитами встречаются кварц, халцедон, кальцит, калиевый полевой шпат (адуляр?), гидросиликаты кальция, смектиты и пирит.

Образование цеолитов в толще гидротермальных глин протекает в очень нестабильных условиях. Цеолиты осаждаются при смешении свободно циркулирующих термальных вод,



паро-газовых смесей и поровых растворов. Давление в паро-газовых струях на поверхности термального поля по приблизительной оценке составляет от 2–3 до 6 атм. Температура аргиллизированных отложений в основании толщи (глубина 3–7 м), в зоне максимального развития цеолитов – 70–100°C. Важную роль в формировании цеолитовой минерализации играют поровые растворы. Они принципиально схожи со свободно циркулирующими трещинными термальными водами, но более минерализованные, более щелочные, имеют сложный химический состав и обогащены кремнеземом, что отмечается и другими исследователями. В основании толщи глин поровые растворы преимущественно близнейтральные до щелочных (рН 6.0–7.7) хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые с повышенными (по сравнению с верхними горизонтами глин) концентрациями аммония, щелочноземельных и щелочных элементов (в сумме до 0.8 г/л), растворенной ортокремниевой кислоты (0.5–1.1 г/л) и ряда микроэлементов (Ba, Sr, Mn, Cu, Zn и др.). Минерализация поровых растворов составляет 2.5–3.8 (до 6–7) г/л. Очевидно, что эти растворы формируются под влиянием восходящего потока щелочных гидротерм. Изменение видового состава цеолитов (от высококремнистого ломонтита в пропилитах нижних горизонтов к среднекремнистому стильбиту-Са в приповерхностных аргиллизитах) подтверждает общий вывод об изменении физико-химических условий от пра-Паужетки к современной гидротермальной системе (Коробов, 2019). При этом, установленное ранее натурными исследованиями падение парциального давления углекислого газа в поднимающихся к дневной поверхности термальных водах приводит к их ощелачиванию и повышению щелочности среды в зонах разгрузки гидротерм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00102).

Литература:

Буров А.И. Сырьевая база природных цеолитов России / В сб. Природные цеолиты России: геология, физико-химические свойства и применение в промышленности и охране окружающей среды. Новосибирск: Институт минералогии и петрографии СО РАН, 1992. Т. 1. С. 11–14.

Коробов А.Д. Гидротермальный литогенез в областях наземного вулканизма. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2019. 120 с.

Набоко С.И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.

Р-Т ПАРАМЕТРЫ И ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАФИЧЕСКИХ КОРОВЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ УДАЧНАЯ

Сапегина А.В.^{1,2}, Перчук А.Л.^{2,1}, Сафонов О.Г.^{1,2}, Янаскурт В.О.², Шацкий В.С.³

¹Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН, Черноголовка, Россия,
anp.sapagina@gmail.com

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра
петрологии и вулканологии, Москва, Россия

³Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева, Новосибирск, Россия

Коровые ксенолиты из кимберлитовой трубки Удачная были объектами изучения в ряде ранее опубликованных работ с применением классической термобарометрии и изотопных методов анализа. Метод моделирования фазовых равновесий, ни разу не применявшиеся до этого к коровым ксенолитам где-либо в мире, включая тр. Удачная, позволяет восстановить термодинамические условия пород, включая не только давление и температуру, но и фугитивность кислорода.