

УДК 552.5

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -ВОЗРАСТ ФЕНГИТА ИЗ ПЕСЧАНИКА ОФИОЛИТОКЛАСТИТОВОЙ ТОЛЩИ БАСЕЙНА Р. РАССОХА, КОЛЛИЗИОННЫЙ ПОЯС ХР. ЧЕРСКОГО

© 2024 г. Г. В. Леднева^{1,*}, А. В. Травин², С. Н. Сычев^{1,3,4}, Б. А. Базылев⁵, А. В. Рогов⁶,
член-корреспондент РАН С. Д. Соколов¹

Поступило 11.10.2023 г.

После доработки 24.11.2023 г.

Принято к публикации 01.12.2023 г.

Полученный раннепермский (275.3 ± 3.1 млн лет) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -плато-возраст детритовой слюды (хромистого фенгита) из обломков в листовитовом песчанике офиолитокластитовой толщи Рассохинского террейна хр. Черского, по-видимому, отвечает времени или близок ко времени образования листовитов в источнике сноса — в массивах офиолитов хр. Черского — и ограничивает нижний предел времени осадконакопления кластических отложений. В качестве менее вероятной альтернативы рассмотрена возможность частичной потери аргона слюдой в результате деформаций и постседиментационного преобразования отложений офиолитокластитовой толщи в раннепермское время.

Ключевые слова: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование, хромистый фенгит (марипозит), хромистый мусковит (фуксит), листовит, песчаник, хр. Черского, Верхояно-Колымская складчатая область

DOI: 10.31857/S2686739724030038

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование детритовых минералов, в том числе слюд, позволяет решать ряд задач: установить нижнюю границу времени осадконакопления, определить возраст пород из источника сноса кластического материала и реконструировать термальную историю осадочных бассейнов [1]. В задачи настоящего исследования входило $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование детритовой слюды из песчаника офиолитокластитовой толщи коллизионного пояса хр. Черского с целью определения возраста пород, являвшихся ее источником в области размыва, и нижней возрастной границы осадконакопления этой толщи.

Толща относится к структурам Рассохинского террейна [2] (Рассохинского блока Омутлевского террейна [3]) или принадлежит офиолитовому поясу Мунилканского террейна [4] в составе Колымо-Омолонского супертеррейна (Верхояно-Колымская складчатая область) (рис. 1). Она расположена в бассейне р. Рассоха в районе впадения в нее руч. Шумный, где слагает несколько небольших тектонических пластин. Отложения толщи суммарной мощностью 100–190 метров [5] в пределах пластин интенсивно деформированы и разбиты разрывными нарушениями [6]. Толща сложена алевритами, песчаниками, гравелитами и конгломератами, преимущественно мелкогалечными. Обломочные породы представлены серпентинитовыми и листовитовыми разновидностями. Среди галек и обломков более крупной размерности резко преобладают доломитовые породы. Отдельные прослои не выдержаны ни по мощности, ни по простираанию. Источником кластического материала были породы (преимущественно метаультрамафиты и метамафиты) неопротерозойских массивов офиолитов хр. Черского и со вмешенные с ними карбонатные (доломитовые) толщи [5, 7–9].

¹Геологический институт

Российской Академии наук, Москва, Россия

²Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения

Российской Академии наук, Новосибирск, Россия

³Санкт-Петербургский государственный
университет — Институт наук о Земле,
Санкт-Петербург, Россия

⁴Всероссийский геологический институт
им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

⁵Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского

Российской Академии наук, Москва, Россия

⁶ООО “Голд Майнинг”, Якутск, Россия

*E-mail: ledneva@ginras.ru

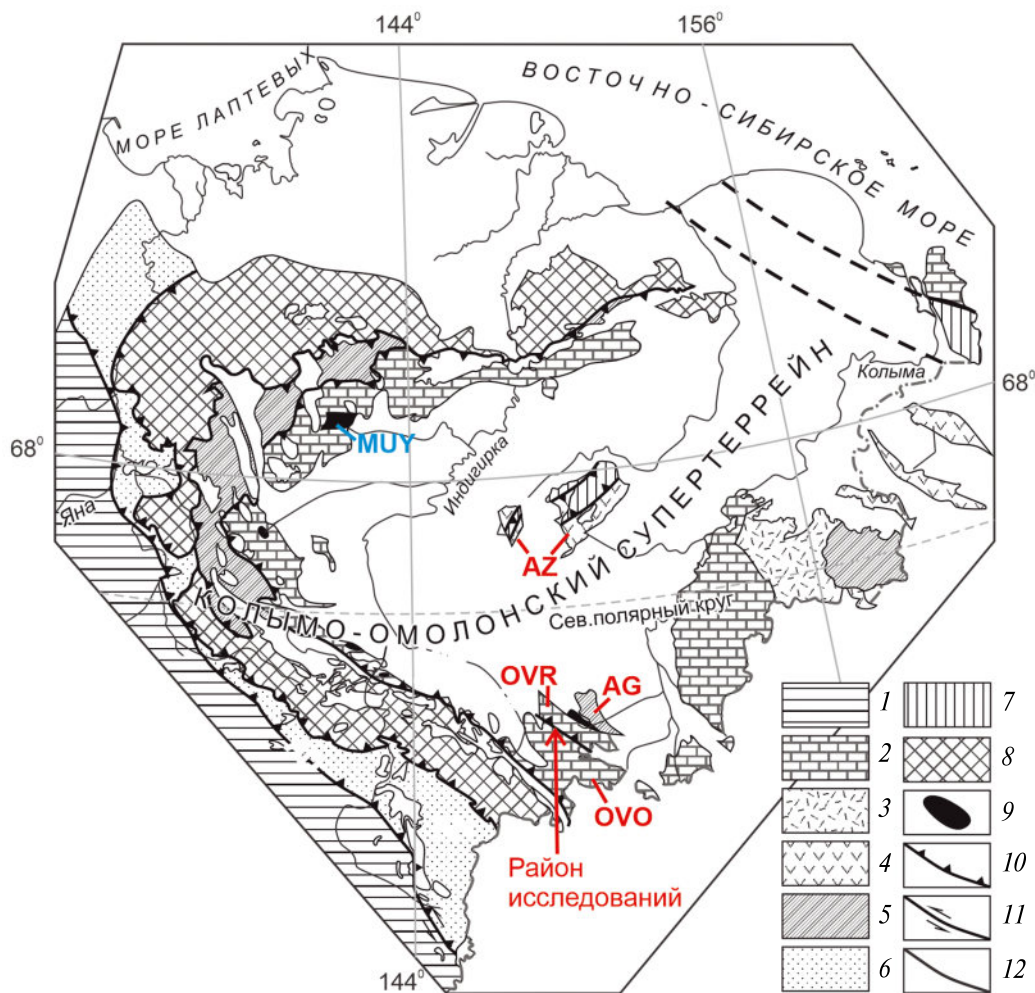


Рис. 1. Положение района исследований на схеме тектонического районирования Верхояно-Колымской складчатой области [3] с изменениями по [2] и упрощениями. 1 – Верхоянский складчато-надвиговый пояс; террейны: 2 – пассивной континентальной окраины; 3 – кратонный (Омолонский); 4 – островодужные; 5 – турбидитовые; 6 – турбидитовый подножия континентальной окраины (сланцевый пояс); 7 – аккреционного клина, сложенные преимущественно океаническими отложениями; 8 – аккреционного клина, преимущественно турбидитовый (Полосно-Дебинский); 9 – массивы офиолитов; 10 – надвиги; 11 – сдвиги; 12 – разломы. AG – Арга-Тасский, AZ – Алазейский, OVO – Омудевский, OVR – Рассохинский террейны; MUY – Уяинский офиолитовый массив.

В настоящее время офиолитокластическая толща считается наиболее древним структурным подразделением Рассохинского террейна [10]. Ее возраст принимается как средний-поздний кембрий на основе предполагаемого несогласного налегания на нее пород конгломератовой толщи ордовикского возраста [5, 10]. При этом, по мнению Е.П. Сурмиловой, фаунистические остатки (трилобиты раннего тремадока и конодонты ордовикского облика), по которым были датированы прослои известняков конгломератовой толщи, переотложены [10], что не позволяет считать кембрийский возраст офиолитокластической толщи достоверно установленным.

В цементе пород офиолитокластической толщи находки фауны не описаны. В настоящее время нижняя возрастная граница осадконакопления толщи может быть принята по единственному определению средневзвешенного $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ SHRIMP-возраста (568 ± 1 млн лет, 99 замеров) детритовых зерен циркона (первоначально магматического генезиса) из серпентинитового песчаника [8]. Обломки пород, встречающиеся в толще, геохронологическими методами не датированы. В литокластах кремнистых пород из офиолитокластической толщи (которые, однако, нами не наблюдались) упоминаются известные с кембрия сферические радиоларии плохой

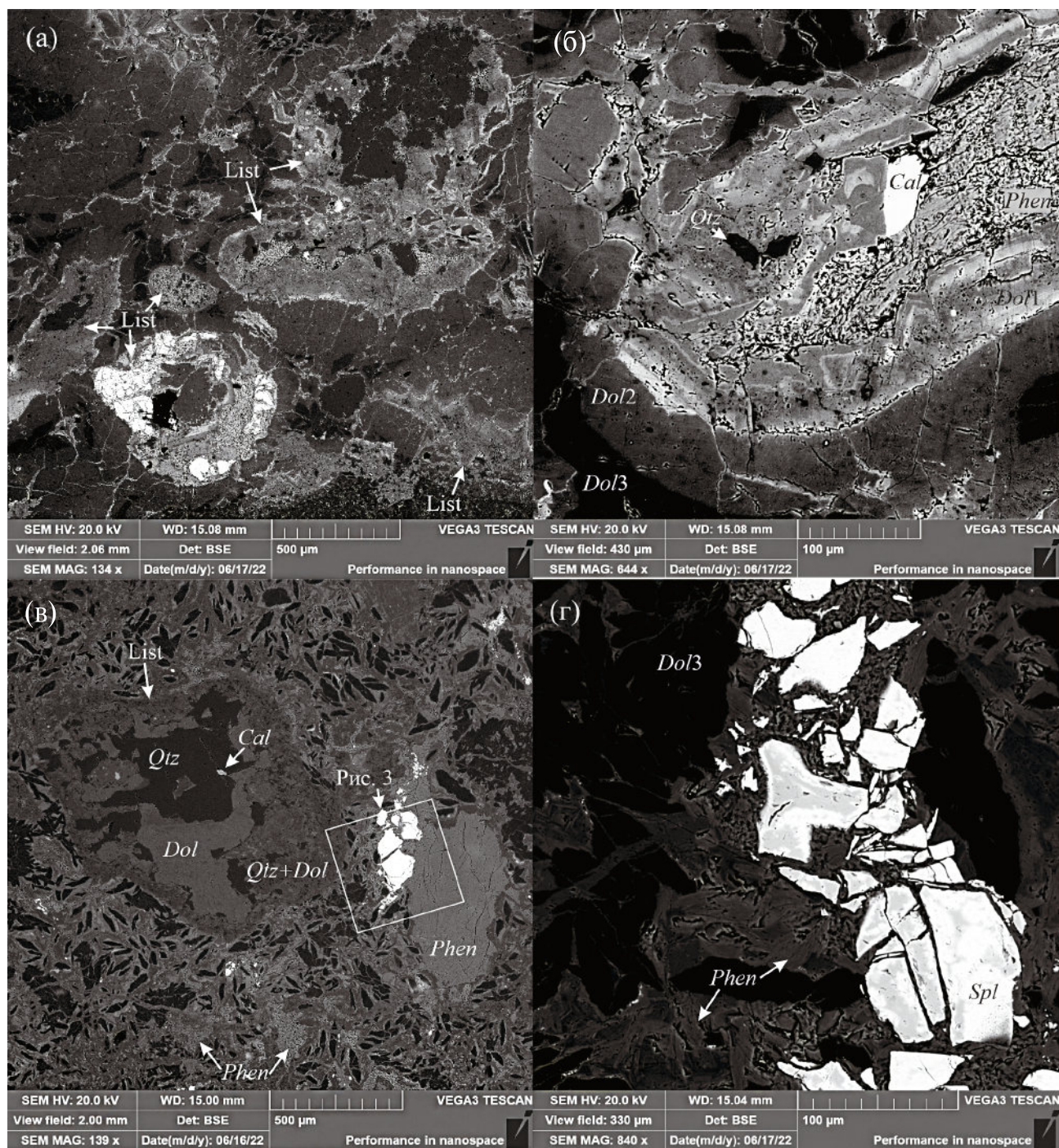


Рис. 2. Хромистый фенгит в лиственитовом песчанике. Изображения во вторично-рассеянных электронах: (а) участок песчаника, насыщенный обломками лиственитов, (б) мелкочешуйчатый агрегат фенгита в литокласте лиственита; (в) крупное зерно фенгита в сростании с хромшпинелидом и агрегаты мелких пластинчатых зерен слюды в основной массе; (г) мелкие зерна пластинчатого фенгита в сростании с хромшпинелидом. Сокращения: List – лиственит, Cal – кальцит, Dol1 – доломит в составе литокластов лиственита, Dol2 – железистый доломит кайм вокруг литокластов лиственита и сети прожилков, слагающих цемент песчаника, Dol3 – доломит мелких литокластов доломитовых пород, Phen – хромистый фенгит, Qtz – кварц, Spl – хромшпинелид.

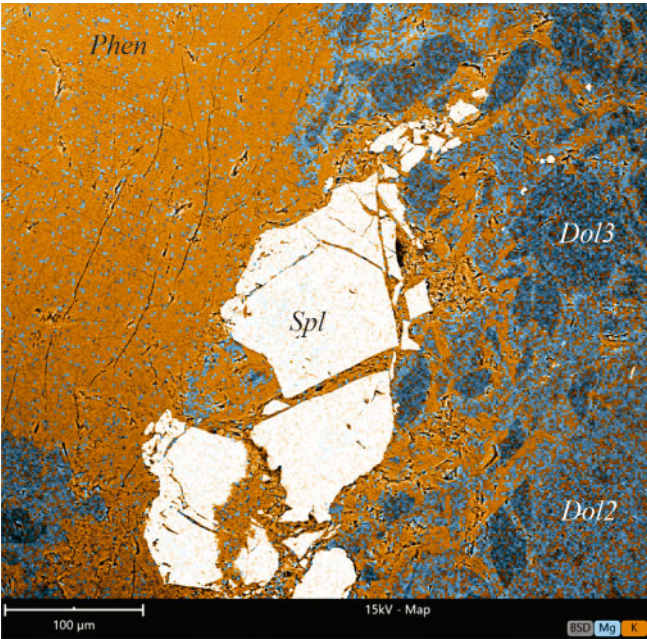


Рис. 3. Распределение калия и магния в слюде и доломитах.

Таблица 1. Составы слюд (мас. %)

Компонент	Сг-фенгит		Сг-мусковит	
	<i>N</i> = 74	±, 1σ	<i>N</i> = 3	±, 1σ
SiO ₂	48.92	2.02	43.92	1.19
TiO ₂	0.22	0.10	0.03	0.05
Al ₂ O ₃	28.49	1.49	28.25	0.60
FeO	0.88	0.29	3.38	0.61
MnO	0.02	0.01	0.00	0.00
MgO	2.24	0.26	8.97	1.55
CaO	0.27	0.19	0.30	0.28
Na ₂ O	0.13	0.05	0.21	0.05
K ₂ O	10.42	0.48	6.24	0.27
Cr ₂ O ₃	3.89	1.40	3.44	1.51
Сумма	95.47		94.74	

Примечание: величины вариаций содержаний окислов указаны с величиной стандартного отклонения, равной 1σ. Составы пересчитаны на 100% с учетом стехиометрического содержания H₂O. *N* – количество точек анализа. Определения составов минерала проводились на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega3, оснащенный полупроводниковым детектором рентгеновского излучения ULTIM MAX 40 (Oxford Instruments), в Геологическом институте РАН (г. Москва). Микроанализы проводились в точке при ускоряющем напряжении 20 кВ с накоплением 1 млн импульсов. Обработка спектров выполнена в программе AZtec. Полученные составы минерала были сопоставлены с результатами измерения составов силикатов на микрозонде Cameca-SX100 в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и на микрозонде Jeol JXA8200 SuperProbe в Институте химии им. Макса Планка (г. Майнц, Германия), полученные с использованием международных стандартов.

сохранности [9], но их таксономический состав не приводится. Обломки доломитовых пород в изученной коллекции образцов не содержат фаунистических остатков.

Слюда изумрудно-зеленого цвета, на обилие которой в отдельных прослоях офиолито-кластитовой толщи указывали все исследователи, ранее датирована не была. В изученной коллекции образцов она установлена в листовитовом песчанике, сложенном литокластами доломитовых пород, листовитов и кристаллокластами, среди которых резко преобладают хромшпинель и хромистая слюда, менее распространены кварц, рутил часто в сростании с замещенным ильменитом, миллерит, полидимит и пирит, встречаются единичные зерна циркона [7]. Слюда слагает кристаллокласты и присутствует в составе большинства литокластов листовитов, где она образует мелкочешуйчатые агрегаты (размером 50–400 мкм) и отдельные часто трещиноватые пластинки (размером от <10 мкм до 700 мкм) (рис. 2 а–г). Слюда не обнаруживает признаков замещения более низкотемпературными вторичными минералами, хотя в песчанике проявлено постседиментационное преобразование (см. далее). Ее состав (табл. 1, рис. 3) не зависит ни от структурного положения, ни от размера зерен, и, как правило, отвечает хромистому фенгиту (марипозиту) с содержанием K₂O = 10.42 ± 0.48 (1σ) мас. %. Лишь единичные зерна, представленные хромистым мусковитом (фукситом) и встречающиеся в тех же структурных позициях, что и фенгит, характеризуются пониженными содержаниями K₂O (6.24 ± 0.27(1σ) мас. %). Таким образом, хромистый фенгит из изученного образца листовитового песчаника определенно является детритовым минералом, а его состав отвечает первичному. При этом специфика состава хромистого фенгита и его постоянное присутствие в пороодообразующих количествах в листовитах из обломков прямо указывают на тип пород, являющихся его потенциальным источником. Хромистый мусковит с пониженными содержаниями калия, по-видимому, является продуктом локально проявленной частичной перекристаллизации фенгита.

Результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar-исследований слюды приведены в табл. 2 и представлены на рис. 4 а–в. Используемый метод датирования на основе ступенчатого прогрева описан в примечании к табл. 2. В возрастном спектре (рис. 4 в) после лестницы вверх выделяется плато из 9 ступеней, характеризующееся значением возраста 275.3 ± 3.1 млн лет,

Таблица 2. Результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования слюды (обр. С16–18–1)

T, °C	t, мин	⁴⁰ Ar, 10 ⁻⁹ см ³ STP	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	± 1σ	³⁸ Ar/ ³⁹ Ar	± 1σ	³⁷ Ar/ ³⁹ Ar	± 1σ	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	± 1σ	Ca/K	³⁹ Ar (%)	Возраст, млн лет	± 1σ
500	10	304.7	15.1	0.003	0.016	0.00009	0.057	0.0070	0.0032	0.00015	0.2	7.7	159.1	2.6
600	10	1508.4	22.0	0.004	0.015	0.00003	0.093	0.0018	0.0013	0.00009	0.3	33.9	236.8	3.8
625	10	871.3	24.7	0.003	0.016	0.00004	0.180	0.0046	0.0013	0.00009	0.6	47.4	264.7	4.2
650	10	717.4	25.6	0.005	0.016	0.00008	0.329	0.0063	0.0018	0.00015	1.2	58.1	271.7	4.3
675	10	668.2	25.1	0.004	0.015	0.00003	0.255	0.0027	0.0009	0.00011	0.9	68.3	268.9	4.2
700	10	372.2	26.3	0.007	0.016	0.00012	0.157	0.0084	0.0029	0.00025	0.6	73.7	276.0	4.4
750	10	283.8	26.0	0.007	0.016	0.00023	0.062	0.0160	0.0019	0.00024	0.2	77.8	275.0	4.4
800	10	199.9	25.5	0.007	0.017	0.00024	0.003	0.0015	0.0001	0.00023	0.0	80.8	276.0	4.4
875	10	418.5	26.5	0.007	0.016	0.00015	0.103	0.0073	0.0019	0.00022	0.4	86.9	280.8	4.5
925	10	418.5	26.0	0.007	0.015	0.00010	0.042	0.0088	0.0016	0.00023	0.2	93.0	276.4	4.4
950	10	101.0	26.1	0.012	0.019	0.00032	0.005	0.0026	0.0002	0.00043	0.0	94.5	281.9	4.6
1000	10	135.4	26.8	0.010	0.021	0.00022	0.127	0.0076	0.0057	0.00035	0.5	96.4	272.1	4.4
1130	10	262.0	28.1	0.009	0.019	0.00009	0.080	0.0081	0.0045	0.00031	0.3	100.0	288.7	4.6

Примечание: ⁴⁰Ar/³⁹Ar-геохронологические исследования проводились методом ступенчатого прогрева по методике, описанной в [11]. Минерал для ⁴⁰Ar/³⁹Ar изотопно-геохронологических исследований был выделен с использованием стандартных методик магнитной и плотностной сепарации. Навеска минеральной фракции (31.9 мг) совместно с навесками биотита МСА-11 (ОСО № 129–88), используемого в качестве монитора, была завернута в алюминиевую фольгу, помещена в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаяна. Биотит МСА-11, подготовленный ВИМС в 1988 году как стандартный K/Ar-образец, был аттестован в качестве ⁴⁰Ar/³⁹Ar монитора с помощью международных стандартных образцов мусковита Вегп 4м, биотита LP-6 [12]. В качестве интегрального возраста биотита МСА-11 принято среднее результатов калибровки, составившее 311.0 ± 1.5 млн лет. Особенности методики являются облучение кварцевых ампул с пробами в охлаждаемом водой канале исследовательского реактора ФТИ ТПУ (г. Томск). При облучении в таких условиях температура ампул с образцами не превышает 100°С. Градиент нейтронного потока не превышал 0.5% в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ⁴⁰Ar (10 мин при 1200°С) не превышал 5 × 10⁻¹⁰ нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на массе-спектрометре Noble gas 5400 фирмы Микромасс (Англия) и на многоколлекторном массе-спектрометре Argus фирмы GV-Instruments (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте и на рисунках, соответствуют интервалу ± 1σ. J = 0.006487 ± 0.000110.

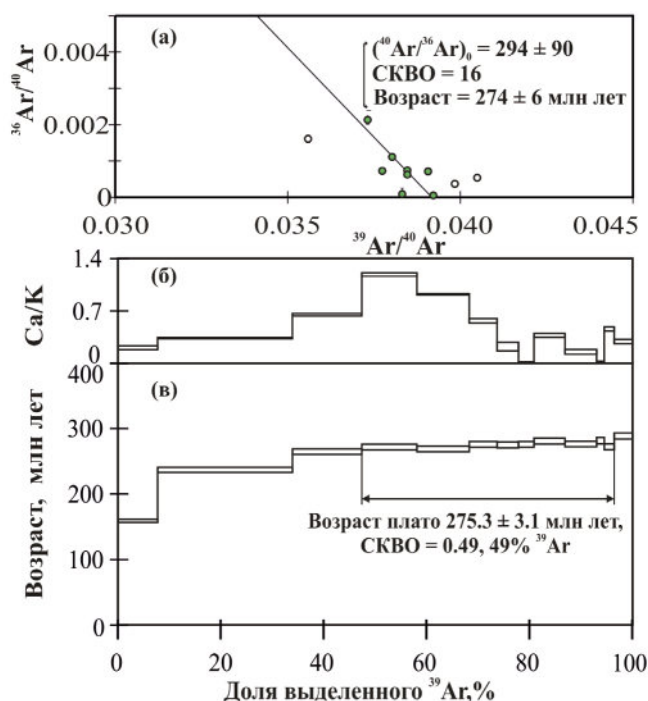


Рис. 4. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования слюды из листовитового песчаника. Приведены изохронная диаграмма (а), Са/К-спектр (б) и возрастная диаграмма (в). Точки на изохронной диаграмме, для которых рассчитана линейная регрессия, выделены зеленым цветом.

среднеквадратичным отклонением $\text{СКВО} = 0.49$, долей выделенного ^{39}Ar 49%. Это несущественно меньше 50%, что практически удовлетворяет критериям плато [1]. Величина Са/К-отношения в спектре (рис. 4 б) варьирует в диапазоне 0–1.2, что выходит за пределы диапазона величин этого отношения 0.02–0.09 в зернах хромистого фенгита, рассчитанных на основе определений концентраций в нем соответствующих элементов энергодисперсионным методом. Максимальные величины Са/К-отношения в спектре достигаются при температурах 650–700°C (табл. 2), что соответствует разложению в вакууме кальцита и доломита. Учитывая, что значения рассчитанного возраста при этом согласуются между собой, логично предположить, что произошло наложение аргона, выделяемого из фенгита, с аргоном из Са-минералов (доломита и/или кальцита), от которых не удалось избавиться при выделении минеральной фракции. На изохронной диаграмме (рис. 4 в) 7 точек формируют линейную регрессию, характеризующуюся $\text{СКВО} = 16$, значением возраста $274 \pm 6 \text{ млн лет}$, согласующимся в пределах ошибки с возрастом плато, и значением начального отношения $(^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar})_0$, согласующимся с воздушным. Это свидетельствует в пользу отсутствия захваченного

радиогенного ^{40}Ar в решетке минерала. Учитывая заметную степень дискордантности и большую ошибку возраста линейной регрессии, логично принять возраст плато как оценку возраста закрытия изотопной системы хромистого фенгита.

Для мусковита на основе кинетических параметров, оцененных в лабораторном гидротермальном эксперименте, при скорости охлаждения 10°C за млн лет температура закрытия оценивается в 405–425°C [13]. Для фенгита лабораторных гидротермальных экспериментов не проводилось, но считается, что устойчивость изотопной системы в нем выше, чем в мусковите, при этом полное омоложение изотопной системы аргона в фенгите предполагается при температуре 580–620°C [14].

Влияние примеси хрома на устойчивость изотопной системы аргона в фенгите не изучено. При этом данные по возрастам мусковита и его хромистой разновидности фуксита, полученные для одних и тех же образцов в ряде объектов, например, [15], позволяют предполагать одинаковую или очень близкую температуру закрытия изотопной системы аргона в этих минералах.

На основе сопоставления $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировок фенгита, образовавшегося на границе химически контрастных сред — на контакте гранатового глаукофанита и омфацит-гранатовой породы из нижней толщи максютовского метаморфического комплекса (Южный Урал), показано, что эффективная температура закрытия изотопной системы фенгита определяется не столько вариациями состава, сколько размером пластин минерала [16]. При этом для скорости охлаждения 3.4°C/млн лет и размере пластин 0.8 мм закрытие изотопной системы происходит при температуре 420–430°C. Учитывая, что источником хромистого фенгита определено были листовиты, обычно образующие небольшие по мощности тела во вмещающих их ультрамафитах, и, соответственно, значительно большую скорость остывания, можно предположить, что для зерен размером 0.5 мм и более температура закрытия должны быть, по крайней мере, не менее 420–430°C.

Устойчивая минеральная ассоциация листовитов из обломков в песчаниках наряду с ограниченными вариациями состава хромистого фенгита как в литокластах, так и в кристаллокластах, совместно с отсутствием обломков метаультрамафитов свидетельствуют о локальном размыве одного тела листовитов в метаультрамафитах. Заметим, что листовиты из разных ультрамафитовых массивов мира при общих чертах минеральных ассоциаций имеют свои

специфические, неповторяющиеся от массива к массиву особенности, обусловленные составом исходного субстрата, метасоматизирующего агента и условиями образования. Кроме того, представляется маловероятным получение в спектре значимого возрастного плато в случае, если бы слюда поступала в офиолитокластическую толщу из нескольких существенно разных возрастных источников.

Температура образования лиственитов из обломков в лиственитовом песчанике, оцененная по кальцит-доломитовому геотермометру [17], была около 500°C , т.е. незначительно отличалась от температуры закрытия изотопной системы аргона в фенгите. Таким образом, рассчитанный методом плато $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст слюды из песчаника, соответствующий ранней перми, может отражать время формирования лиственитов в источнике сноса или быть близок к нему.

Вместе с тем геологические и петрографические наблюдения позволяют допускать, что изотопная система хромистого фенгита с некоторой долей вероятности была омоложена под воздействием наложенных деформаций [18], несколько этапов которых были установлены для офиолитокластической толщи бассейна р. Рассоха [6], либо — в результате флюидного воздействия на породы [19]. Признаки такого воздействия отчетливо проявлены в лиственитовом песчанике: это (а) коррозия зерен доломита на краях литокластов доломитовых пород и лиственитов, (б) формирование кайм ферродолomite, которыми окружены литокласты лиственитов (рис. 2 а, б), и (в) образование сети прожилков ферродолomite, фактически слагающих цемент лиственитового песчаника (рис. 2 в). Воздействие флюида на изученную слюду менее очевидно. Широкие вариации рассчитанных по изотопным данным величин Са/К-отношения в мономинеральной фракции слюды в части спектра, формально отвечающей критериям плато (рис. 4 в), могут быть объяснены как возможным воздействием флюида [20], так и, как было отмечено выше, присутствием примесных количеств доломита и/или кальцита в исследованной мономинеральной фракции. Последний вариант представляется более вероятным, поскольку температура постседиментационного преобразования песчаников была недостаточно высока для “перезапуска” изотопных часов фенгита. Она не превышала 250°C , судя по присутствию в серпентинитовых песчаниках (из единой толщи с лиственитовыми) обломков серпентинитов с низкоглиноземистым лизардитом/

хризотилом [21]. Кроме того, в случае гипотетического раннепермского “перезапуска” изотопной системы аргона в детритовой слюде в результате деформаций, постседиментационного преобразования толщи или комбинации этих процессов, следовало бы ожидать заметного изменения химического состава слюды. Также отметим, что геологические процессы, с которыми мог бы быть связан “перезапуск” изотопных часов, не вполне определены. Для ранней перми в регионе реконструированы Алазейская вулканическая дуга и сопряженный с ней задуговой бассейн [3], но связь с ними и возможное положение отложений офиолитокластической толщи в этих структурах не ясны.

Таким образом, на данном этапе исследований мы отдаем предпочтение интерпретации раннепермской оценки $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -плато-возраста слюды из лиственитового песчаника как возраста, отражающего время или близкого ко времени формирования лиственитов в источнике сноса. Это, в свою очередь, ограничивает нижний предел времени осадконакопления офиолитокластической толщи в бассейне р. Рассоха коллизийного пояса хр. Черского ранней пермью, а не поздним неопротерозоем, как это предполагалось ранее на основании определений возраста зерен детритового циркона [8].

Эта оценка возраста не согласуется с предполагавшимся по геологическим данным до-ордовикским возрастом офиолитокластической толщи [5]. Однако в пользу более молодого возраста этих отложений есть и другие аргументы. По данным исследования обломков в песчаниках толщи [7], ее накоплению предшествовали такие процессы в источнике сноса как метаморфизм мафитов и ультрамафитов из массивов офиолитов хр. Черского, тектоническое совмещение этих пород с карбонатными (доломитовыми) отложениями и формирование лиственитов по ультрамафитам. Возраст лиственитов, описанных в поясе массивов офиолитов хр. Черского, не определялся. Метаморфические минералы из пород офиолитовых массивов хр. Черского обнаруживают широкий спектр палеозойских и мезозойских возрастов — 419–430 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, амфибол из габбро-амфиболитов), 370 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, биотит из метапелитов метаморфической подошвы) и ~174 млн лет ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, мусковит) ([4] и ссылки в этой работе). Карбонатные породы хр. Черского имеют палеозойские (ордовикские, силурийские и девонские) возрасты ([10] и ссылки в этой работе), а их тектоническое совмещение с породами

массивов офиолитов коллизионного пояса Черского связывается с процессами аккреции в ходе субдукции в позднекаменноугольное время [4].

Тем не менее для более определенного решения вопроса о времени накопления офиолитокластической толщи в бассейне р. Рассоха, по-видимому, необходимы оценки возраста листовенитов в составе офиолитовых массивов хр. Черского.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Н.В. Горьковой (ГИН РАН) за содействие при проведении исследований на сканирующем электронном микроскопе. Мы благодарим рецензентов как за высокую оценку работы, так и за высказанные замечания.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Изученные образцы были отобраны в ходе полевых работ в рамках темы ФГБУ ВСЕГЕИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект 20-17-00197-П). Сотрудники ГИН РАН, ГЕОХИ РАН обеспечены бюджетным финансированием в рамках исследований по темам госзаданий. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование выполнено в рамках госзадания ИГМ СО РАН, проект № 122041400171-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schaen A.J., Jicha B.R., Hodges K.V., Vermeesch P., Stelten M.E., Mercier C.M., Phillips D., Rivera T.A., Jourdan F., Matchan E.L., Hemming S.R., Morgan L.E., Kelley S.P., Cassata W.S., Heizler M.T., Vasconcelos P.M., Benowitz J.A., Koppers A.A.P., Mark D.F., Niespolo E.M., Sprain C.J., Hames W.E., Kuiper K.F., Turrin B.D., Renne P.R., Ross J., Nomade S., Guillou H., Webb L.E., Cohen B.A., Calvert A.T., Joyce N., Ganerød M., Wijbrans J., Ishizuka O., He H., Ramirez A., Pfänder J.A., Lopez-Martínez M., Qiu H., Singer B.S.* Interpreting and reporting $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologic data // *GSA Bull.* 2021. V. 133 (3–4) P. 461–487.
2. *Соколов С.Д.* Очерк тектоники Северо-Востока Азии // *Геотектоника.* 2010. № 6. С. 60–78.
3. *Парфенов Л.М., Оксман В.С., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Третьяков Ф.Ф., Трунилина В.А., Дейкуненко А.В.* Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области // *Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия).* М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2001. С. 199–255.
4. *Оксман В.С.* Тектоника коллизионного пояса Черского (Северо-Восток Азии). М.: ГЕОС, 2000. 269 с.
5. *Шпикерман В.И., Мерзляков В.М.* О базальных слоях палеозойского разреза Омулевского поднятия // *Стратиграфия и палеонтология фанерозоя Северо-Востока СССР.* Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1988. С. 5–27.
6. *Рогов А.В., Сычев С.Н.* Первые данные структурно-кинематического анализа пород Рассохинской зоны и ее обрамления (Омулевское поднятие, Восточная Якутия) // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле.* 2019. Т. 64. Вып. 1. С. 65–80.
7. *Леднева Г.В., Базылев Б.А., Сычев С.Н.* Офиолитокластиты хр. Черского и геодинамическая обстановка формирования метаультрамафитов и метамафитов из источника сноса // *Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023. Материалы LIV Тектонического совещания.* Т. 1. М.: ГЕОС. 2023. С. 278–282.
8. *Сычев С.Н., Худoley А.К., Лебедева О.Ю., Соколов С.Д., Рогов А.В., Хубанов В.Б., Ларионов А.Н., Львов П.А.* Тектоническая эволюция и источники сноса нижнепалеозойских терригенных пород Омулевского и Рассохинского террейнов (Северо-Восток России) // *Геотектоника.* 2022. № 5. С. 3–26.
9. *Кропачев А.П., Стрельников С.И., Киселев А.А., Федорова Н.П.* Доордовикские офиолитокластиты Омулевского поднятия (Северо-Восток СССР) // *Докл. АН СССР.* 1987. Т. 292. № 4. С. 941–944.
10. *Маланин Ю.А., Громов Г.С., Шпикерман В.И., Корнилов А.В., Карнаухов О.Н., Тутасова Е.Н., Пестова Л.Е., Шенелев Н.Г., Кутыгин Р.И., Данилов В.Г., Лебедева О.Ю., Сычев С.Н.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-55 – р. Мома. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ “ВСЕГЕИ”, ГУП “Сахагеоинформ”. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2021. 615 с.
11. *Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б.* Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // *Геохимия.* 2009. № 11. С. 1181–1199.
12. *Baksi A.K., Archibald D.A., Farrar E.* Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards // *Chem. Geol.* 1996. V. 129. P. 307–324.
13. *Harrison T.M., Celerier J., Aikman A.B., Hermann J., Heizler M.T.* Diffusion of ^{40}Ar in muscovite // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2009. V. 73. No. 4. P. 1039–1051.

14. *Snee L.W.* Argon thermochronology of mineral deposits — a review of analytical methods, formulations, and selected applications // USGS Bull. 2194. 2002. P. 1–39.
15. Дамдинов Б. Б., Жмодик С. М., Травин А. В., Юдин Д. С., Горячев Н. А. Новые данные о возрасте золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна // ДАН. 2018. Т. 479. № 5. С. 532–535.
16. Лепезин Г. Г., Травин А. В., Юдин Д. С., Волкова Н. И., Корсаков А. В. Возраст и термическая история максютовского метаморфического комплекса (по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данным) // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. С. 1–18.
17. *Anovitz L.M., Essene E.J.* Phase Equilibria in the System $\text{CaCO}_3\text{--MgCO}_3\text{--FeCO}_3$ // J. Petrol. 1987. V. 28. Pt. 2. P. 389–414.
18. *Monié P., Münch P., Milesi G., Bonno M., Iemmolo A.* $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of crustal deformation // Comp. Rendus. Géosci. 2023. V. 356 (S2). P. 1–29.
19. *Spikings R.A., Popov D.V.* Thermochronology of alkali feldspar and muscovite at $T > 150^\circ\text{C}$ using the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method: A review // Minerals. 2021. V. 11. Article No 1025.
20. *Villa I.R.* The invacuo release of Ar from minerals: 1. Hydrous minerals // Chem. Geol. 2021. V. 564. Art. 120076.
21. *Li X.-P., Rahn M., Bucher K.* Serpentinities of the Zermatt-Saas ophiolite complex and their texture evolution // J. Metam. Geol. 2004. V. 22. P. 159–177.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ AGE OF PHENGITE FROM SANDSTONE OF THE OPHIOLITE-DERIVED CLASTIC SEQUENCE OF THE BASIN OF THE RASSOKHA RIVER, COLLISION BELT OF THE CHERSKY RANGE

G. V. Ledneva^{a, #}, A. V. Travin^b, S. N. Sychev^{a, c, d}, B. A. Bazylev^e, A. V. Rogov^f,

Corresponding Member of the RAS S. D. Sokolov^a

^aGeological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

^bV.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia

^cInstitute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

^dA.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

^eV.I. Vernadsky Institute of geochemistry and analytical chemistry, RAS, Moscow, Russia

^fLLC Gold Mining, Russia

[#]E-mail: ledneva@ginras.ru

The Early Permian (275.3 ± 3.1 Ma) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of detrital mica (Cr-phengite) from clasts in listvenite sandstones of the ophiolite-derived clastic sequence of the Rassokha Terrane of the Chersky Range probably corresponds (or is close) to the time of the formation of listvenites of the provenance (ophiolitic massifs of the range) and restricts the maximum deposition age of clastic rocks. A partial loss of Ar by mica as a result of deformations and postsedimentation transformation of rocks of the ophiolite-derived clastic sequence in the Early Permian is possible but it is less probable.

Keywords: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age, Cr-phengite (mariposite), Cr-muscovite (fuchsite), listwanite (listvenite), sandstone, the Chersky Range, the Verkhoyansk-Kolyma folded area