

УДК 550.93:551.7:552.5

## Rb–Sr-ВОЗРАСТ РИФЕЙСКИХ ГЛАУКОНИТОВ КАМОВСКОЙ СЕРИИ, БАЙКИТСКАЯ АНТЕКЛИЗА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Т. С. Зайцева<sup>1</sup>, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов<sup>1,\*</sup>, Н. А. Иванова<sup>2</sup>,  
М. А. Масленников<sup>2</sup>, В. В. Пустыльников<sup>2</sup>, Т. Л. Турченко<sup>1</sup>, К. Е. Наговицин<sup>3</sup>

Поступило 06.03.2019 г.

Проведено минералого-геохимическое изучение и определён Rb–Sr-возраст глобулярных слоистых силикатов (ГСС) глауконит-иллитового ряда долгоктинской свиты из параметрической скв. Чункинская-282. Оценка пригодности минерала для геохронологических целей учитывала данные мёссбауэровской спектроскопии и моделирования распределения катионов в октаэдрической сетке ГСС. Минералогические и кристаллохимические характеристики указывают на эпигенетическое нарушение структуры глауконита, поэтому его Rb–Sr-изохронный возраст ( $1300 \pm 7$  млн лет) “омоложен” и отражает этап частичной перекристаллизации. Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в доломитах долгоктинской и куюмбинской свит варьируется от 0,70602 до 0,72230, что подтверждает эпигенетическую перекристаллизацию пород. Модельный Rb–Sr-возраст глауконита, рассчитанный с учётом обогащения радиогенным  $^{87}\text{Sr}$ , находится в пределах 1340–1400 млн лет. Оценка возраста определяет верхнюю границу распространения мезопротерозойской ископаемой *Tarrania*, обнаруженной в юрубченской и долгоктинской толщах Байкинской антеклизы.

**Ключевые слова:** Rb–Sr-возраст, глобулярные слоистые силикаты, мёссбауэровская спектроскопия, Байкинская антеклиза.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488152-57>

Камовская серия объединяет рифейские нефтегазоносные отложения Юрубчено-Тохомской и Катангской зон, расположенных в Байкинской антеклизе на западе Сибирской платформы (рис. 1). Строение этой серии детально обосновано при изучении десятков скважин, пробуренных в последние десятилетия [1–4], и закреплено в региональной стратиграфической схеме [5]. Однако отложения этой серии до сих пор не имеют изотопно-геохронологической характеристики. Единственная K–Ar-датировка минералогически неизученного глауконита (1060 млн лет, [1]) и находки акантоморфных акритарх *Tarrania plana* [6, 7] указывают на рифейский возраст серии. Опубликованный Ar–Ar-возраст долеритов, прорывающих гранито-гнейсы фундамента и, вероятно, заходящих в основание серии, определяет её нижний возрастной предел — около 1500 млн лет [3]. В настоящей работе впервые проведено минералого-геохимиче-

ское изучение монофракций глобулярных слоистых силикатов глауконит-иллитового ряда (далее глауконита), выделенных из песчаников камовской серии в параметрической скв. Чункинская-282, и определён их Rb–Sr-возраст.

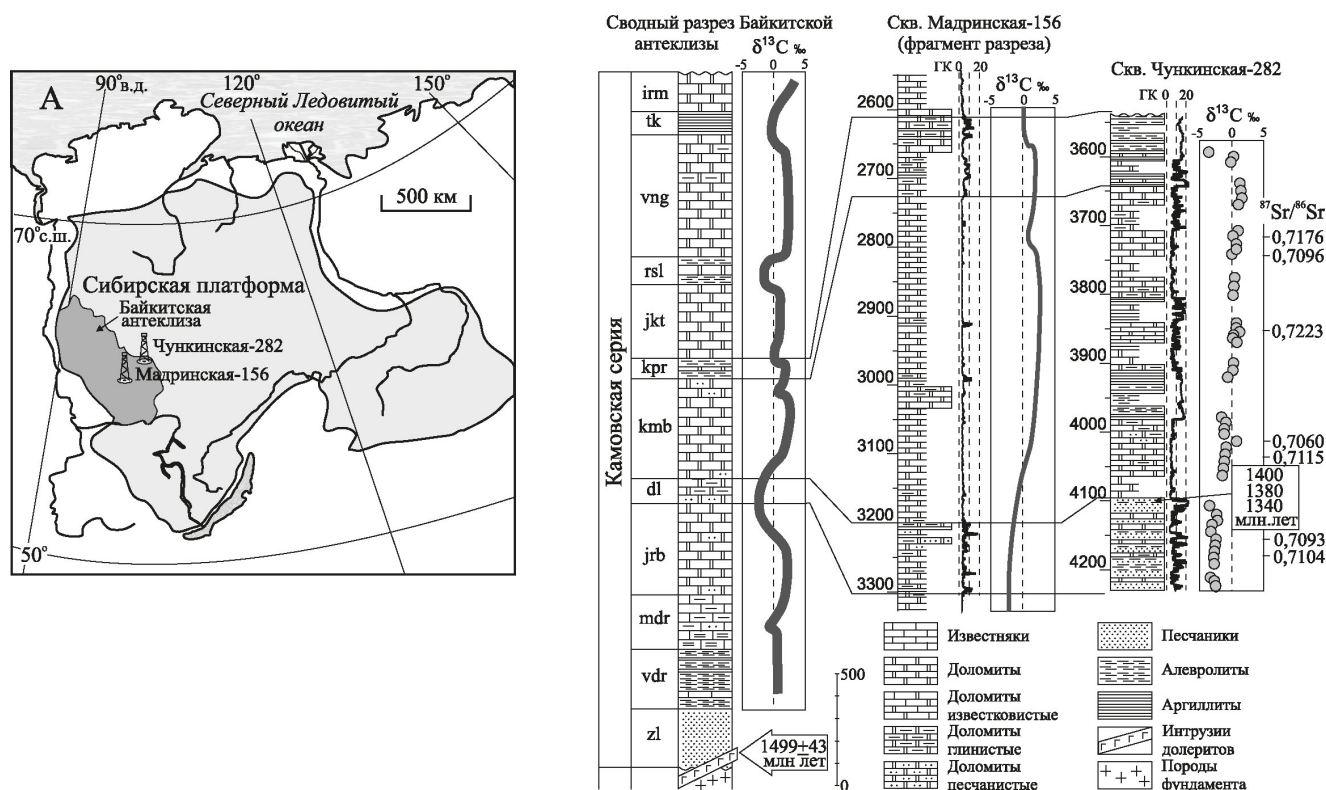
Довендские отложения камовской серии в кер-нах опорных скважин Мадринская-156 и Юрубченская-110 в центральной части Байкинской антеклизы расчленяются на несколько толщ: зелендуконскую, вэдрешевскую, мадринскую, юрубченскую, долгоктинскую, куюмбинскую, копчерскую, юктенскую, рассолкинскую, вингольдинскую, токурскую и ирэмэкэнскую свиты (рис. 1). В основании серии залегают грубозернистые песчаники и конгломераты, которые сменяются алевро-аргиллитами, а выше переходят в глинистые известняки и доломиты. Строматолитовые и оолитовые доломиты широко развиты в юрубченской, куюмбинской, юктенской, вингольдинской и ирэмэкэнской свитах. Алевролиты и глинистые породы преобладают в мадринской, долгоктинской, копчерской, рассолкинской и токурской свитах. Глаукониты присутствуют в песчаниках долгоктинской свиты в нескольких скважинах. Накопление терригенно-карбонатных осадков серии происходило на мелководном шельфе в результате нескольких трансгрессивно-регрессивных циклов [3, 4].

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия  
Российской Академии наук, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Сибирский научно-исследовательский институт геологии,  
геофизики и минерального сырья, Новосибирск

<sup>3</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука Сибирского отделения  
Российской Академии наук, Новосибирск

\* E-mail: antonbor9@mail.ru

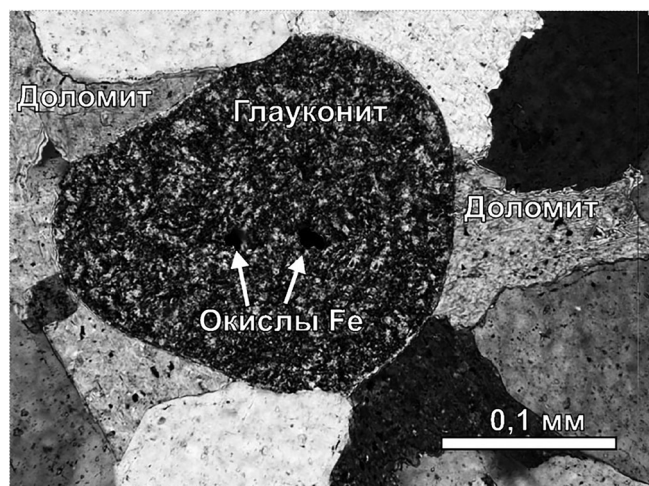


**Рис. 1.** Положение скв. Чункинская-282 и опорной скв. Мадрынская-156 на западе Сибирской платформы (врезка А). График вариаций  $\delta^{13}\text{C}$  и ГК-модуля в сводном разрезе камовской серии и скв. Мадрынская-156 по [3, 4].  $1499 \pm 43$  млн лет — возраст долеритов, прорывающих гранитогнейсы фундамента (Ar—Ar-метод, [3]). Положение образцов глауконитов в долгоктинской свите в скв. Чункинская-282 указано стрелкой, рядом их модельный Rb—Sr-возраст (эта работа), а также значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в карбонатных породах (эта работа).

Скважина Чункинская-282 расположена в бассейне р. Чуня в 130 км к северо-востоку от поселка Байкит. Она вскрывает палеозойско-докембрийские отложения на северо-восточном склоне Байkitской антеклизы и значительно удалена от её центральной части (рис. 1а). Корреляция рифейской части разреза с отложениями камовской серии центральных частей Байkitской антеклизы, выполнена на основе геофизических, С-изотопных и палеонтологических данных. Разработанный в СНИИГГиМС вариант корреляции включает следующие стратиграфические подразделения (рис. 1). Интервал 4230–4095 м представлен чередованием глауконитсодержащих песчаников, песчаных строматолитовых доломитов и тёмно-серых алевролитов — долгоктинская свита. Интервал (3638–4095 м) объединяет преимущественно строматолитовые, интракластовые и микритовые доломиты с прослоями тёмно-серых аргиллитов — куюмбинская свита. Интервал 3638–3539 м представлен толщей зеленоватых туфо-алевролитов с прослоями глинистых строматолитовых доломитов — копчерская свита. Выше зале-

гают кварцевые песчаники, гравелиты и аргиллиты ванаварской свиты венда.

Глауконитовые песчаники отобраны в интервале 4096,08–4097,21 м в скв. Чункинская-282. Эти песчаники сложены среднезернистыми полуокатанными обломками кварца с примесью зёрен полевого шпата и глауконита (рис. 2). В породах развит поровый карбонатный цемент и редкие линзы хлорит-иллита. Глауконит имеет форму глобулярных зёрен размером 0,2–0,4 мм. Зональность в зёрнах не выявлена, но внутри зёрен видны микровключения (3–5 мкм) окислов железа (до 5%). Содержания Al и Fe по профилям в зёрнах глауконита варьируются в пределах 3–4%, указывая на гетерогенность химического состава минерала. Повышенные содержания Al, замещающего Fe, наблюдаются в микротрещинах. Обработка данных химического состава методом факторного анализа в модели главных компонент позволила установить ковариантные группы, где содержание Fe отрицательно коррелирует с Al и Si. Эта зависимость указывает на начальный процесс изменения глобул



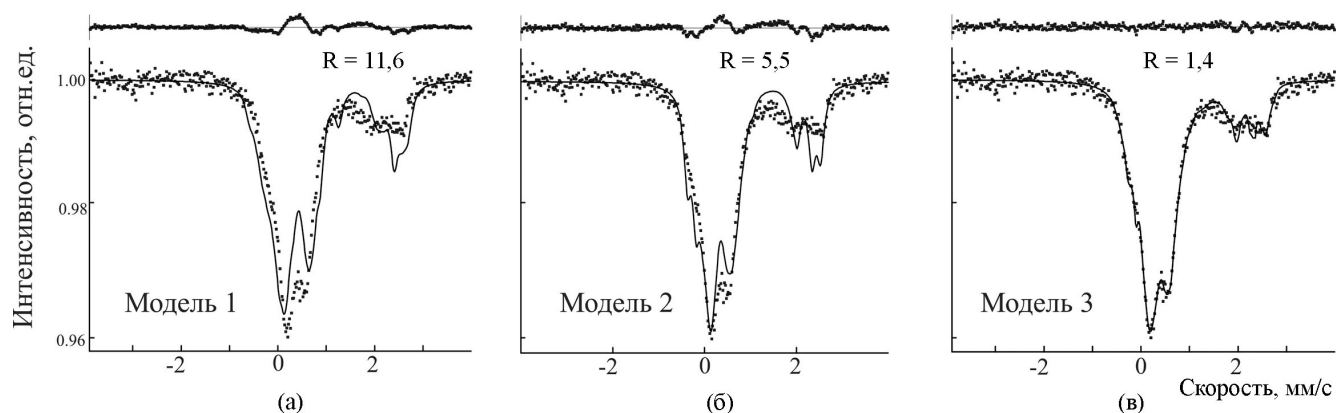
**Рис. 2.** Фотография шлифа обр. 5801 в скрещенных николях. Глауконит представлен в виде плотных глобул округлой формы с микровключениями окислов железа, в породе развит карбонатный цемент.

в катагенезе, в ходе которого Fe замещается Al в октаэдрической сетке глауконита, образуя в пределах зерна микровключения окислов Fe.

Кристаллохимические формулы минералов рассчитывались с учётом соотношения  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ , полученного методом мёссбауэровской спектроскопии, и на основе предположения о постоянном составе анионного каркаса  $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  на половину элементарной ячейки. Содержания свободной и связанной воды учитывались согласно данным термического анализа. Изученные глаукониты содержат довольно высокое содержание K (6,89–6,99%), что свидетельствует о высокой степени “зрелости” минерала, а кристаллическая структура минерала характеризуется высокой степенью трёхмерного упорядочения. Содержания октаэдрических катионов (на формуль-

ную единицу, ф.е.) варьируются в пределах — Al (0,75–0,82),  $\text{Fe}^{3+}$  (0,48–0,51),  $\text{Fe}^{2+}$  (0,29–0,32), Mg (0,46–0,47), тетраэдрических катионов (ф.е.) — Si (3,83–3,84), Al (0,16–0,17). Заряд тетраэдрической сетки составляет 0,16–0,17 в.е., а заряд октаэдрической сетки — 5,35–5,43 в.е. Межслоевой заряд составляет 0,75–0,76 в.е., отношение  $^{\text{VI}}\text{Al}/(^{\text{VI}}\text{Fe}^{3+}+^{\text{VI}}\text{Al})$  изменяется от 0,60 до 0,63. Согласно международной классификации, предложенной IMA NC и AIPEA NC, эти глаукониты относятся к низкозарядным диоктаэдрическим слюдыстым минералам иллитового ряда.

Характер распределения катионов в октаэдрической сетке глауконитов установлен методом сопоставления экспериментальных мёссбауэровских спектров с расчётными данными в рамках трёх моделей, отражающих три стадии формирования [8, 9]: 1) неупорядоченного распределения катионов, свойственного доглауконитовой стадии существования глинистой матрицы; 2) упорядоченного распределения, характерного для стадии глауконитизации в раннем диагенезе; и 3) переупорядоченного распределения, отвечающего стадии преобразования “зрелого” глауконита на постдиагенетическом этапе. Результаты сопоставления экспериментально полученного мёссбауэровского спектра с модельным показаны на примере одного образца (рис. 3). Мёссбауэровские спектры, построенные в согласии с моделями 1 и 2, плохо согласуются с экспериментальным (рис. 3а, б). Значение величины R, которое определяет согласие теоретического и экспериментального спектров, равно соответственно 11,6 и 5,5. Мёссбауэровский спектр, построенный в согласии с моделью 3 (переупорядоченного распределения), лучше всего согласуется с экспери-



**Рис. 3.** Сопоставление модельного и экспериментального мёссбауэровского спектров для глауконита (на примере обр. 5801): а) Модель 1 неупорядоченного катионного распределения, б) Модель 2 упорядоченного распределения, в) Модель 3 переупорядоченного распределения. Значение величины R определяет меру согласия теоретического и экспериментального спектров.



ментальным:  $R = 1,4$  (рис. 3в). Это предполагает, что структура изученных глауконитов претерпела изменения на постдиагенетическом этапе, что возможно сопровождалось частичной потерей радио-генных элементов.

Изотопный Rb–Sr-анализ глауконитов проведен в “триплетах”, полученных по методике предварительного выщелачивания [10]: 1) минеральная фракция, не подвергавшаяся лабораторному выщелачиванию, 2) кислотная вытяжка из фракции, обработанной раствором 1N HCl и 3) остаток от кислотного выщелачивания. Содержания Rb (327–338 мкг/г) и Sr (28–47 мкг/г) в исходной минеральной фракции (табл. 1) попадают в область значений, характерных для группы слюдистых минералов. Выщелачивание глауконитов 1N раствором HCl приводит к удалению из минерала 0,7–0,8% Rb, а доля выщелоченного Sr составляет 90%. Повышенные концентрации Sr в вытяжке (25–43 мкг/г) указывают на удаление легкоподвижного стронция, адсорбированного на поверхности зёрен глауконита и/или входящего в состав микровключений несиликатных минералов. Отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в изученных доломитах долгоктинской и куюмбинской толщ варьирует в широких пределах от 0,70602 до 0,72230 (табл. 1).

Линия регрессии, построенная в координатах  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  по девяти точкам (трём “триплетам”) и позволяющая вычислить “возраст” ( $1300 \pm 7$  млн лет), имеет высокое значение СКВО = 12 и поэтому представляет собой эрохрону. Кроме того, первичное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в глауконитах ( $0,7359 \pm 0,0005$ ) значительно выше этого отношения в среднерифейской морской воде — 0,7046–0,7051 [11], что указывает на перекристаллизацию минерала при участии эпигенетического флюида на стадии катагенеза. Это же подтверждают высокие значения отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в доломитах, отобранных вблизи пачки с глауконитом (интервал 4043,40–4181,21 м) — 0,70932–0,71152 (рис. 1). Поэтому более корректным способом оценки возраста глауконита представляется вычисление модельных Rb–Sr датировок для необработанных фракций с предполагаемым первичным отношением  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70507$ , которое наблюдалось в известняках долгоктинской свиты Байкитской антеклизы [4] и которое максимально близко к среднерифейской морской воде [11]. Модельные Rb–Sr-возрасты трёх образцов находятся в интервале 1340–1400 млн лет и показывают, что “возраст” глауконитов “омоложен” как минимум на 40–100 млн лет. Таким образом, возраст стадии

**Таблица 1.** Rb–Sr-аналитические данные для глауконитов и доломитов скв. Чункинская-282

Номер образца	Глубина, м	Препарат <sup>1</sup>	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rb–Sr-возраст, млн лет <sup>2</sup>
5793	4096,08	W	329,6	46,6	21,302	1,1338	1400
		R	324,3	4,66	320,16	6,7441	
		L	2,57	42,6	0,1747	0,7387	
5794	4096,22	W	338,4	35,3	29,274	1,2850	1380
		R	334,4	4,12	413,35	8,4926	
		L	2,86	31,9	0,2601	0,7392	
5801	4097,21	W	327,3	28,2	35,779	1,3927	1340
		R	326,3	3,92	426,26	8,5845	
		L	2,50	25,414	0,2235	0,7397	
Номер образца	Глубина, м	Препарат <sup>1</sup>	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ измер.	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ перв. <sup>3</sup>
H-4	3716,72	D	0,82	16,2	0,1422	0,72025	0,71760
H-7	3732,66	D	0,69	14,7	0,1319	0,71203	0,70957
H-11	3850,32	D	0,92	36,8	0,0702	0,72361	0,72230
H-17	4023,30	D	0,49	22,6	0,0671	0,70716	0,70602
H-15	4043,40	D	0,58	19,5	0,0980	0,71308	0,71152
H-12	4120,37	D	0,73	34,8	0,0589	0,71042	0,70932
H-3	4181,21	D	0,46	28,2	0,0458	0,71122	0,71036

Примечание. 1) W — глауконит, не подвергавшийся лабораторному выщелачиванию; R — остаток от выщелачивания в однонормальном растворе HCl, L — кислотная вытяжка в однонормальном растворе HCl, D — доломит, обработанный децинормальным раствором HCl. 2) Модельный возраст глауконита вычислен в предположении первичного отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , равным 0,70507. 3) Первичное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в доломитах вычислено с учётом возраста пород 1300 млн лет.

раннего диагенеза осадков долготкинской свиты древнее 1340–1400 млн лет.

Оценка возраста глауконитов уточняет местную стратиграфическую шкалу рифея Байкитской антеклизы. Начиная с долготкинской толщи, разрез следует считать не моложе среднего рифея (вероятно, исключая самые верхние токурскую и ирэмэ-кэнскую свиты), а более древние (вэдрэшевская, мадринская и юрубченская) свиты могут быть как средне-, так и нижнерифейскими [12].

Новые данные согласуются с современными представлениями о времени существования первых морфологически сложных протист *Tarpania plana* Yin, обнаруженных в отложениях мезопротерозоя Китая, Австралии, Индии и Северной Америки. Возраст осадочных последовательностей с *Tarpania* заключён в интервале 1600–1400 млн лет [13–15 и др.]. На Сибирской платформе *Tarpania*-содержащая биота найдена в рифее Байкитской антеклизы и Катангской седловины [5–7]. Полученный в этой работе возраст глауконитов уточняет верхнюю возрастную границу распространения ископаемых *Tarpania* в осадках юрубченской и долготкинской толщ Байкитской антеклизы. Эпигенетическая перекристаллизация глауконитов долготкинской толщи (около 1300 млн лет назад) близка ко времени “омоложения” рифейских глауконитов осорхатинской и арымасской свит Оленекского поднятия 1280–1250 млн лет назад [9]. В глобальном масштабе этот этап совпадал с перестройкой внутренних палеобассейнов Сибирской платформы на начальной стадии гренвилевского орогенеза 1,3–1,2 млрд лет назад.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках темы НИР (№ 0132–2019–0014), программы ФНИ № 0331–2019–0002 и при финансовой поддержке РФФИ (проект 16–05–00936).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краевский Б.Г., Пустыльников А.М., Кринин В.А., Краевская М.К., Леднева Е.А. // Геология и геофизика. 1991. Т. 32. № 6. С. 103–110.
2. Конторович А.Э., Изосимова А.Н., Конторович А.А., Хабаров Е.М., Тимошина И.Д. // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 8. С. 166–195.
3. Хабаров Е.М., Пономарчук В.А., Морозова И.П., Вараксина И.В., Сараев С.В. // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 3. С. 211–239.
4. Хабаров Е.М., Вараксина И.В. // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 1173–1198.
5. Краевский Б.Г., Якишин М.С., Наговицин К.Е. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 7с. С. 4–14.
6. Nagovitsin K. // Precamb. Res. 2009. V. 173. P. 137–145. doi:10.1016/j.precamres.2009.02.005
7. Наговицин К.Е., Станевич А.М., Корнилова Т.А. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 11. С. 1531–1538.
8. Зайцева Т.С., Горохов И.М., Семихатов М.А., Ивановская Т.А., Кузнецов А.Б., Доржиева О.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 6. С. 3–29. DOI: 10.7868/S0869592X17060011
9. Зайцева Т.С., Горохов И.М., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Ивановская Т.А., Константинова Г.В., Доржиева О.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 5S. С. S3–S26. DOI: 10.1134/S0869592X18060054
10. Зайцева Т.С., Семихатов М.А., Горохов И.М., Сергеев В.Н., Кузнецов А.Б., Ивановская Т.А., Мельников Н.Н., Константинова Г.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 6. С. 3–29. DOI: 10.7868/S0869592X16050069
11. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 6. С. 3–25. DOI: 10.7868/S0869592X14060039
12. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27. DOI: 10.7868/S0869592X15060083
13. Rasmussen B., Bose P.K., Sakar S., Banerjee S., Fletcher I.R., McNaughton N.J. // Geology. 2002. V. 30. № 2. P. 103–106. DOI: 10.1130/0091-7613(2002)030<0103:GUPZAF>2.0.CO;2
14. Lan Z., Li X., Chen Z.Q., Li Q., Hofmann A., Zhang, Y., Zhong Y., Liu Y., Tang G., Ling X., Li J. // Precamb. Res. 2014. V. 251. P. 21–32. doi.org/10.1016/j.precamres.2014.06.012
15. Adam Z.R., Skidmore M.L., Mogk D.W., Butterfield N.J. // Geology. 2017. V. 45. № 5. P. 387–390. DOI: 10.1130/G38749.1

## **Rb-Sr AGE OF THE RIPHEAN GLAUCONITES OF THE KAMOV GROUP (BAIKIT ANTEKLISE, SIBERIAN PLATFORM)**

**T. S. Zaitseva<sup>1</sup>, Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov<sup>1</sup>, N. A. Ivanova<sup>2</sup>,  
M. A. Maslennikov<sup>2</sup>, V. V. Pustynnikova<sup>2</sup>, T. L. Turchenko<sup>1</sup>, K. E. Nagovitsyn<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Precambrian Geology and Geochronology of the Russian Academy of Sciences,  
Saint-Petersburg, Russian Federation*

<sup>2</sup> *JSC Siberian Scientific Institute of Geology, Geophysics and Mineral resources, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>3</sup> *Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

Received March 6, 2019

A mineralogical and geochemical study was conducted and the Rb–Sr age of globular layered silicates (GPS) of the glauconite-illite series of the Dolgokta Formation from a parametric Chunkinskaya-282 drillcore was determined. The assessment of suitability of the mineral for geochronological purposes took into account the data of Mössbauer spectroscopy and modeling of the cation distribution in the GPS octahedral net. Mineralogical and crystallochemical characteristics indicate an epigenetic alteration of glauconite structure; therefore, its Rb–Sr isochronous age ( $1300 \pm 7$  Ma) is “rejuvenated” and reflects the stage of partial recrystallization. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in dolomites of the Dolgokta and Kuyumba formations varies from 0.70602 to 0.72230, which confirms the epigenetic recrystallization. The model Rb–Sr age of glauconite, calculated taking into account the enrichment of radiogenic  $^{87}\text{Sr}$ , is within 1340–1400 Ma. The age estimate determines the upper limit of distribution of the Mesoproterozoic fossil *Tappania*, found in the Yurubchen and Dolgokta formations of the Baikite antecline.

**Keywords:** Rb–Sr age, globular layered silicates, Mössbauer spectroscopy, Baikite antecline.