

УДК 550.93:551.7:552.54

## **Pb–Pb-ВОЗРАСТ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД КАМОВСКОЙ СЕРИИ, БАЙКИТСКАЯ АНТЕКЛИЗА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

© 2021 г. И. М. Горохов<sup>1,\*</sup>, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов<sup>1</sup>, И. М. Васильева<sup>1</sup>,  
А. Ю. Крамчанинов<sup>1</sup>, Н. Г. Ризванова<sup>1</sup>, Г. В. Константинова<sup>1</sup>

Поступило 05.05.2021 г.

После доработки 21.05.2021 г.

Принято к публикации 22.05.2021 г.

Впервые проведено прямое Pb–Pb-датирование карбонатных пород камовской серии. Pb–Pb-возраст карбонатных пород нижних горизонтов серии (мадринская, юрубченская, куюмбинская и вингольдинская свиты) составляет  $1510 \pm 50$  млн лет, а верхних (ирэмэкэнская свита) –  $1490 \pm 50$  млн лет. Полученные значения возраста свидетельствуют о том, что все карбонатные свиты камовской серии относятся к нижнему рифею (раннему мезопротерозою). Время формирования этой осадочной последовательности занимало не более нескольких десятков миллионов лет. Новые геохронологические данные позволяют коррелировать рифейские отложения Байкитской антеклизы с породами рифейского чехла Анабарского поднятия.

*Ключевые слова:* Pb–Pb-возраст, карбонатные породы, Байкитская антеклиза

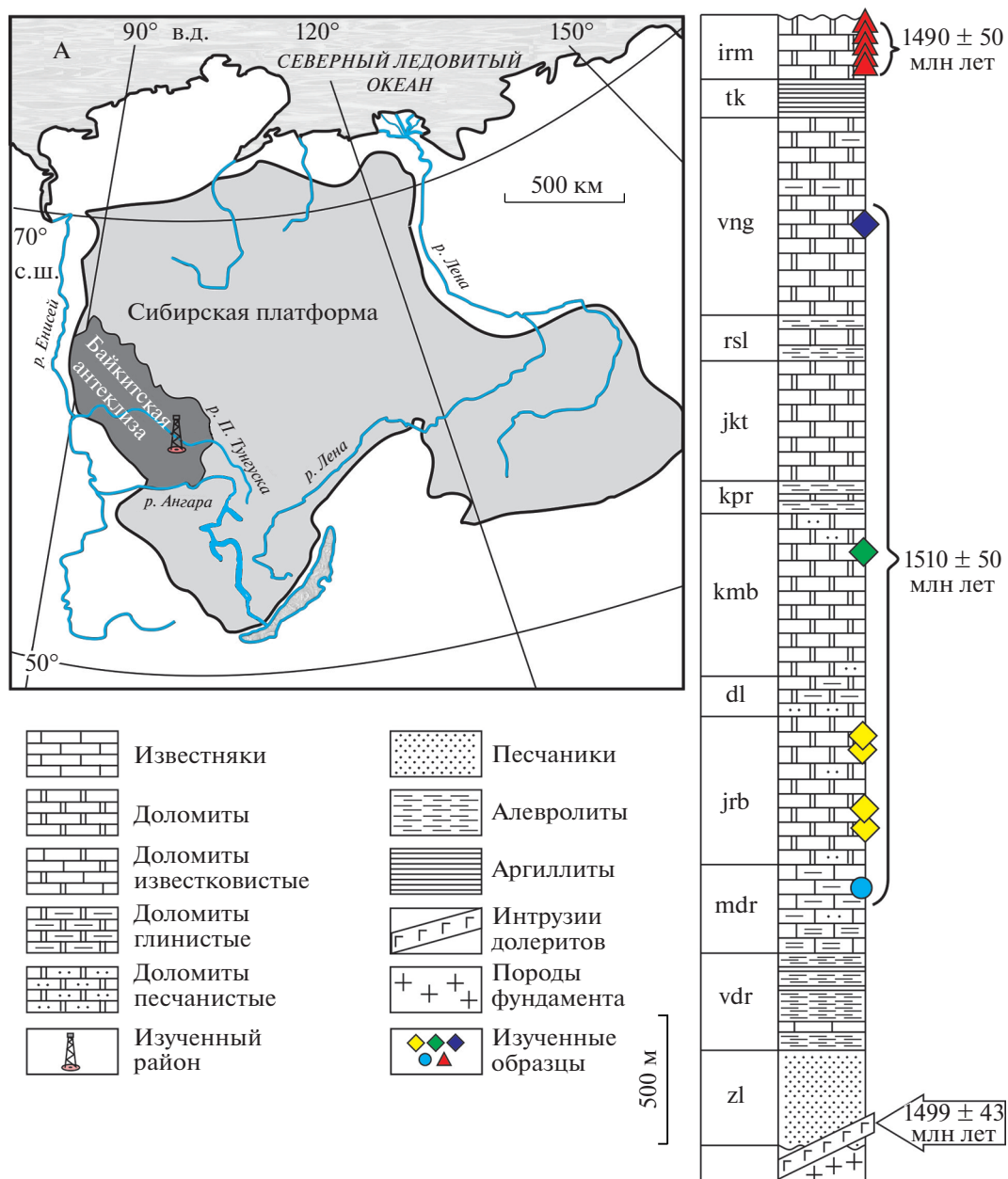
**DOI:** 10.31857/S2686739721090103

Карбонатные породы, вскрытые глубокими скважинами в бассейне реки Подкаменная Тунгуска, являются крупнейшим и уникальным нефтегазоносным объектом, обнаруженным в докембрийских отложениях. Продуктивные залежи находятся в осадочных карбонатных породах в пределах Камовского свода Байкитской антеклизы на глубинах более 2–3 км. Мощные толщи карбонатных пород (200–600 м) преимущественно доломитового состава вместе с несколькими перемежающимися с ними терригенными пачками (100–200 м) здесь объединены в камовскую серию, которая расположена между раннедокембрийским кристаллическим фундаментом и терригенно-карбонатными венд-палеозойскими отложениями [1–3]. Однако многочисленные работы, проведенные в течение нескольких десятилетий, до сих пор не привели к согласованному пониманию стратиграфического и геохронологического положения камовской серии [1, 3–9]. Предлагаемое сообщение содержит результаты прямого Pb–Pb-датирования карбонатных пород Байкитской антеклизы, которое позволяет уверенно отнести их формирование к раннему рифею.

Байкитская антеклиза представляет собой поднятие раннедокембрийского фундамента Сибирской платформы, полностью погребенное под рифейско-палеозойским чехлом на юго-западной окраине платформы (рис. 1). Внутренняя структура Байкитской антеклизы блоковая, обусловленная двумя главными системами разломов – северо-западного и северо-восточного простирания. Вертикальная амплитуда блоковых подвижек измеряется сотнями метров и даже первыми километрами [1, 5]. Информация о довендских отложениях получена при бурении нескольких сотен скважин, которые вскрыли различные уровни рифейского разреза мощностью от первых метров до 1800 м. Сводный разрез камовской серии (общей мощностью 3.5–4.7 км) составлен на основе корреляции материалов бурения, проведенного в различных тектонических блоках. В составе серии выделены (снизу вверх) зелендуконская (zl), вэдрэшевская (vdr), мадринская (mdr), юрубченская (jrb), долгоктинская (dl), куюмбинская (kmb), копчерская (kpr), юктенская (jkt), рассолкинская (rsl), вингольдинская (vng), токурская (tk) и ирэмэкэнская (irm) свиты (рис. 1). Эта последовательность камовской серии закреплена в региональной стратиграфической схеме [2]. Несмотря на глубокое погружение (более 2 км), карбонатные породы не были метаморфизованы. Однако в предвендское время все толщи подверглись интенсивным вторичным преоб-

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

\*E-mail: igorokhov@inbox.ru



**Рис. 1.** Положение Байкинской антеклизы (врезка А) и строение разреза докембрийской камовской серии. Указанные на рисунке датировки:  $1499 \pm 43$  млн лет –  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрасты долеритов, прорывающих гранитогнейсы фундамента [5];  $1510 \pm 50$  и  $1490 \pm 50$  – соответственно Pb–Pb-возрасты карбонатных пород нижних (мадринская, юрубченская, кюмбинская и вингольдинская свиты) и верхних (ирэмэкэнская свита) горизонтов камовской серии (эта работа).

разованиям, которые имели длительный и много-стадийный характер [10].

Представления о возрастном положении пород камовской серии дискуссионны. Находки микрофитоцитов [1] и акантоморфных акритарх *Tarrania plana* [7] могут рассматриваться лишь как указания на ее рифейский возраст. Часть исследователей считает камовскую серию исключительно позднерифейской (неопротерозойской) [1, 3], другие – преимущественно ранне- и средне-рифейской (мезопротерозойской) [7, 8].

Существующие результаты геохронологического изучения рифейских пород Байкинской антеклизы немногочисленны и в подавляющем большинстве не отвечают современным требованиям. Часть из них, полученная К–Аг-методом по глауконитам и упоминаемая в ряде публикаций, вообще не заслуживает какого-либо серьезного рассмотрения, так как не содержит аналитических данных. Другая часть не выдерживает критики, потому что получена с использованием некорректных методов анализа и/или его интер-

претации. К таким публикациям относятся работы, где К–Аг-метод необоснованно применялся для датирования карбонатных минералов [4], и попытка Rb–Sr-датирования глинистых сланцев Байкитской антеклизы с использованием валовых проб этих пород [6].

На сегодняшний день с методической точки зрения приемлемыми изотопно-геохронологическими данными для Байкитского поднятия можно признать только  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрасты долеритовых силлов ( $1499 \pm 43$  млн лет), внедрившихся в зону контакта между раннепротерозойскими гранито-гнейсами фундамента и рифейскими осадочными отложениями [5], а также недавно полученный модельный Rb–Sr-возраст глауконитов долгоктинской свиты, предполагающий, что время раннего диагенеза осадков нижней части камовской серии древнее 1340–1400 млн лет [9]. Однако возрасты долеритов, слагающих силлы, из-за недостаточной определенности геологического положения последних в лучшем случае дают лишь максимальную оценку возраста пород камовской серии, а возраст долгоктинских глауконитов, напротив, явно “омоложен” из-за нарушения структуры изученных минералов, что доказано методом мессбауэровской спектроскопии [9]. Очевидно, что имеющаяся для камовской серии геохронологическая информация недостаточна и требует уточнения.

Одним из ведущих способов определения стратиграфически значимого возраста древних карбонатных пород является U–Pb (Pb–Pb)-метод [11, 12]. В последние годы этот метод позволил уточнить стратиграфические рубежи в опорных разрезах рифея Восточной Сибири ([13–15] и др.). Однако карбонатные породы Байкитской антеклизы подверглись различным постседиментационным преобразованиям [5, 10], что затрудняет отбор материала, способного достоверно отражать их U–Pb (Pb–Pb)-возраст.

Материалом для нашей работы явилась коллекция карбонатных пород, отобранная из нескольких скважин на площади Камовского свода и представлявшая 5 из 12 рифейских свит камовской серии (мадринскую, юрубченскую, куюмбинскую, вингольдинскую и ирэмэкэнскую). На первом этапе отбирались образцы, сохранившие первичные осадочные микротекстуры, и без признаков вторичной перекристаллизации. В этих образцах определялись концентрации малых элементов (Mn, Fe и Sr) и изотопный состав углерода и кислорода. Подавляющая часть изученных образцов представлена доломитами, лишь несколько известняков принадлежали мадринской свите. Доля терригенной примеси (кварца и глинистых минералов) в образцах не превышает 2%. Содержания Mn и Fe в доломитах варьируют соответственно в интервалах 65–220 и 850–

2650 мкг/г, в известняках они составляют 170–610 и 1670–4390 мкг/г. Значения  $\delta^{18}\text{O}$  в известняках и доломитах лежат в диапазоне (от  $-6.9$  до  $-2.5\%$  PDB, табл. 1), свойственном наименее измененным морским карбонатным породам докембрия (выше  $-10\%$ , [16]), позволяя считать, что значения  $\delta^{13}\text{C}$  в изученных образцах (от  $-0.3$  до  $+1.3\%$  PDB) не претерпели существенных эпигенетических изменений и могут быть использованы для проведения C-хемостратиграфических корреляций.

По итогам этой работы было выбрано 40 образцов, анализ которых заслуживал внимания на втором этапе – при исследовании Rb–Sr-систематики. Изотопный состав Sr в образцах карбонатных пород изучен с применением однократного предварительного растворения (выщелачивания) в 0.1N растворе  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Измеренные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  варьировали в доломитах от 0.70537 до 0.71824, в известняках – от 0.70533 до 0.70806. Полученные C- и Sr-хемостратиграфические данные уверенно указывают на ранне- и среднерифейский (мезопротерозойский) возраст карбонатных пород [17]. На третьем этапе, для U–Pb (Pb–Pb)-датирования было выбрано 12 образцов с минимальными значениями отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  с сохранными первично-осадочными текстурами, низкой долей силикатной примеси и пониженными отношениями Mn/Sr и Fe/Sr (табл. 1). Методика изучения была недавно опубликована [14]. Погрешности вычисленных значений изотопных отношений и возрастов всюду в этой статье приведены на уровне  $\pm 2\sigma$ .

На графике в координатах  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  семь фигуративных точек, представляющих нижние горизонты (мадринскую, юрубченскую, куюмбинскую и вингольдинскую свиты) камовской серии, и пять точек из верхнего горизонта (ирэмэкэнской свиты), располагаются вдоль прямых линий (рис. 2). Наклоны названных линий отвечают соответственно двум Pb–Pb-возрастам  $1510 \pm 50$  и  $1490 \pm 50$  млн лет. Величины среднего квадрата взвешенных отклонений (СКВО), равные для этих зависимостей соответственно 2.0 и 1.5, показывают, что разброс точек относительно прямых линий не превышает размер аналитических погрешностей и позволяет считать обе линейные последовательности изохронами, датирующими время раннего диагенеза карбонатных осадков.

Хотя размер погрешностей полученных датировок не дает в настоящее время оснований настаивать на реальном различии возрастов отложения карбонатных осадков нижних и верхних горизонтов камовской серии, некоторые косвенные данные могут указывать на такое различие. К таким данным, в первую очередь, относятся изотопные отношения первичного свинца [18], которые для нижних горизонтов камовской серии составляют

Таблица 1. U–Pb- и C–O-изотопные аналитические данные для карбонатных пород камовской серии

Номер образца	Свита	U, мкг/г	Pb, мкг/г	$\frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB, ‰	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB, ‰
КД1-2723	irm	0.236	0.576	29.2	26.468	16.450	38.589	–0.3	–3.2
КД1-2728	irm	0.391	0.629	47.0	31.312	16.875	38.376	–0.3	–2.8
КД1-2740	irm	0.301	0.684	31.4	26.873	16.488	38.357	–0.7	–2.5
КД1-2751	irm	0.200	0.447	31.2	26.030	16.400	37.469	0.0	–3.8
КД1-2758	irm	0.137	1.53	5.73	19.514	15.783	37.853	0.1	–4.0
K211-2500	vng	0.111	0.500	15.26	23.423	16.109	38.957	1.3	–3.6
K214-2451	kmb	0.023	0.463	3.29	20.441	15.825	39.014	1.1	–5.0
K215-2592	jrb	0.200	0.255	61.6	34.569	17.150	38.219	0.2	–5.1
K215-2613	jrb	0.104	0.368	19.13	23.195	16.097	37.811	1.3	–5.1
K215-2680	jrb	0.171	0.834	13.65	22.039	15.991	38.075	1.3	–3.6
K215-2800	jrb	0.296	0.436	54.2	35.731	17.296	38.613	1.1	–5.3
K305-2466	mdr	0.020	0.743	1.67	17.898	15.617	38.325	1.1	–6.9

Примечание. Расположение образцов в таблице соответствует предполагаемому их положению в сводном разрезе. Обозначения свит см. на рис. 1. Все образцы в таблице – доломиты за исключением обр. K305-2466, представляющего известняк.

$(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 16.255 \pm 0.014$  и  $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 15.445 \pm 0.007$ , а для верхних –  $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 16.402 \pm 0.014$  и  $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0 = 15.502 \pm 0.007$ . Значимое различие этих отношений в данном случае может свидетельствовать о смене источников сноса в ходе накопления карбонатных отложений, что для камовской серии подтверждается седиментологическими и C-изотопными данными.

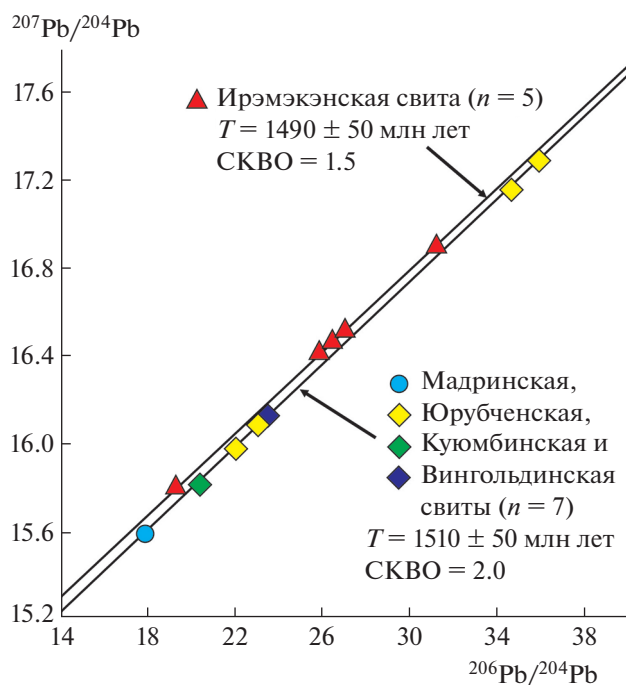


Рис. 2. Pb–Pb-изохроны для карбонатных пород нижних и верхних горизонтов камовской серии.

Доминирование в разрезе рифея Байкитской антеклизы мелководных приливно-отливных отложений и свидетельства субаэральной экспозиции осадка показывают, что процесс карбонатного накопления камовской серии периодически прерывался и в это время происходил привнос преимущественно тонкого силикокластического материала с континента. Один из наиболее заметных периодов изменения источника сноса в Байкитском палеобассейне зафиксирован как раз в поздневингольдинское время [8]. Указанием на возможное неодинаковое происхождение камовских карбонатных осадков на изученных стратиграфических уровнях являются и пониженные значения  $\delta^{13}\text{C}$  (–0.7...+0.1‰) в проанализированных доломитах ирэмэкэнской свиты по сравнению со значениями (+0.2...+1.3‰) в карбонатных породах мадринской, юрубченской, куюмбинской и вингольдинской свит (табл. 1), что могло быть вызвано понижением уровня моря в поздневингольдинское-раннетокурское время [5, 8].

Так или иначе, проведенное впервые прямое Pb–Pb-датирование пород камовской серии не оставляет сомнений в том, что все выделяемые в ее сводном разрезе свиты, сложенные карбонатными породами, начиная с нижней мадринской и кончая верхней ирэмэкэнской, являются нижнерифейскими. Согласно международной геохронологической шкале [19], их возраст соответствует калимию–раннему мезопротерозею.

Полученные значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  существенно отличаются от этих значений, которые в карбонатах среднего и верхнего рифея Енисейского кряжа, соответственно выше +1.5‰ и выше 0.7055 [8, 15]. Отложение карбонатных осад-

ков камовской серии происходило на протяжении относительно небольшого промежутка времени, вероятно, первых десятков миллионов лет. В этих условиях наличие в составе серии 12 стратиграфических подразделений в ранге свит кажется избыточным. Возможно, что в связи с блоковой структурой Байкитского поднятия и отсутствием обнажений и скважин, пересекающих всю камовскую серию, выделение некоторых подразделений окажется результатом неучтенных вертикальных подвижек и частичного дублирования разрезов. Отметим, что мощность пяти опорных скважин, пробуренных в Байкитской антеклизе, не превышает 650–1800 м, при общей мощности камовской серии 3.5–4.7 км [2–5, 7, 8].

В итоге, очевидно, что рифейские толщи Байкитской антеклизы могут быть коррелированы с породами протерозойского чехла Анабарского поднятия, возраст которых недавно определен также Рb–Рb-методом и равен  $1513 \pm 35$  млн лет [14]. На обоих поднятиях рифейский разрез начинается с терригенных толщ: на Байкитском это зелендуконская и вэдрэшевская свиты, на Анабарском – ильинская, бурдурская, лабазтахская и усть-ильинская свиты. Выше на обоих поднятиях залегают мощные карбонатные отложения, составленные в основном доломитами и отложенные 1520–1490 млн лет назад: на Байкитской антеклизе это породы камовской, а на Анабарском поднятии – билляхской серии.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Отбор образцов и обработка производились при поддержке АО “ТомскНИПИнефть”.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-05-00137).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краевский Б.Г., Пустыльников А.М., Кригин В.А., Краевская М.К., Леднева Е.А. // Геология и геофизика. 1991. № 6. С. 103–110.
2. Краевский Б.Г., Якшин М.С., Наговицин К.Е. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2018. № 5. С. 4–14.
3. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б., Ефимов А.О., Карлова Г.А., Клинина Л.И., Константинова Л.Н., Кочнев Б.Б., Краевский Б.Г., Мельников П.Н., Наговицин К.Е., Постников А.А., Рябкова Л.В., Терлеев А.А., Хабаров Е.М. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: Академич. изд-во “Гео”, 2005. 428 с.
4. Хабаров Е.М., Морозова И.П., Пономарчук В.А., Травин А.Н., Нехаев А.Ю. // ДАН. 1998. Т. 358. № 3. С. 378–380.
5. 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.
6. Виноградов В.И., Корж М.В., Сорокина И.Э., Буякайте М.И., Кулешов В.Н., Постельников Е.С., Пустыльников А.М. // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 3. С. 268–279.
7. Наговицин К.Е., Станевич А.М., Корнилова Т.А. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 11. С. 1531–1538.
8. Хабаров Е.М., Вараксина И.В. // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. С. 1173–1198.
9. Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Иванова Н.А., Масленников М.А., Пустыльникова В.В., Турченко Т.Л., Наговицин К.Е. // ДАН. 2019. Т. 488. № 1. С. 52–57. <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488152-57>
10. Vasileva K.Y., Ershova V.B., Khudoley A.K., Khusnitdinov R.R., Kuznetsov A.B., Prokofiev V.Y., Bekker A. // Precambrian Res. 2020. V. 342. 105690. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105690>
11. Каурова О.К., Овчинникова Г.В., Горохов И.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2010. Т. 18. № 3. С. 27–44.
12. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Летникова Е.Ф., Гороховский Б.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 28–40.
13. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27. <https://doi.org/10.7868/S0869592X15060083>
14. Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Васильева И.М., Ризванова Н.Г., Липенков Г.В., Дубинина Е.О. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 19–35. <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27519-35>
15. Кузнецов А.Б., Кочнев Б.Б., Васильева И.М., Овчинникова Г.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27. № 5. С. 46–62. <https://doi.org/10.31857/S0869-592X27546-62>
16. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Подковыров В.Н., Бартли Дж., Давыдов Ю.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12. № 5. С. 3–28.
17. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23. <https://doi.org/10.7868/S0869592X18040014>
18. Овчинникова Г.В., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Ларин А.М. Изотопный состав первичного Рb как источник генетической информации на примере докембрийских карбонатных и фосфатных отложений западного склона Южного Урала // Эволюция вещественного и изотопного состава докембрийской литосферы / под ред. В.А. Глебовицкого, Ш.К. Балтыбаева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2018. С. 323–335.
19. Gradstein F.M., Ogg J.G., Hilgen F.J. On the Geologic Time Scale // Newsletters on Stratigraphy. 2012. V. 45. № 2. P. 171–188. <https://doi.org/10.1127/0078-0421/2012/0020>

**Pb–Pb AGE OF CARBONATE ROCKS OF THE KAMO GROUP,  
BAIKIT ANTECLISE OF SIBERIAN PLATFORM****I. M. Gorokhov<sup>a</sup>, corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov<sup>a</sup>, I. M. Vasilieva<sup>a</sup>,  
A. Yu. Kramchaninov<sup>a</sup>, N. G. Rizvanova<sup>a</sup>, and G. V. Konstantinova<sup>a</sup>**<sup>a</sup> *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*<sup>#</sup> *E-mail: igorokhov@inbox.ru*

The first direct Pb–Pb dating of carbonate rocks of the Kamo Group has been carried out. The age of carbonates of the lower units (the Madra, Jurubchen, Kuyumba and Vingold formations) of this sedimentary sequence is  $1510 \pm 50$  Ma, and that of the upper unit (the Iremeken Formation) is  $1490 \pm 50$  Ma. The obtained dates showed that all the carbonate formations of the Kamo Group are Lower Riphean (the early Mesoproterozoic), and their deposition continued for a period no longer than several tens of millions of years. The new geochronological data make it possible to correlate the Riphean succession of the Baikite Antecline with the rocks of the Riphean cover of the Anabar Uplift.

*Keywords:* Pb–Pb age, carbonate rocks, Baikite Antecline