

УДК 552.54:550.42.027:551.736(571.56+571.65)

НОВЫЕ МИНИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ В БИОГЕННЫХ КАРБОНАТАХ ПЕРМИ ОМОЛОНСКОГО МАССИВА (СЕВЕРО-ВОСТОК АЗИИ)

А. С. Бяков^{1,2,*}, И. В. Брынько¹, Д. П. Г. Бонд³, Я. Харви⁴,
член-корреспондент РАН Н. А. Горячев¹, И. Л. Ведерников¹, Т. В. Филимонова⁵

Поступило 20.08.2018 г.

Впервые в биогенных пермских карбонатах Омолонского массива (Северо-Восток Азии) кепитенского возраста зафиксированы очень низкие значения (до 0,706707) отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Эти результаты хорошо согласуются с ранее полученными данными по известнякам Японии (Kani et al., 2013; 2018). В целом построенная нами кривая стронциевого отношения повторяет известный мировой тренд, отличающийся несколько заниженными (в среднем на 0,0005–0,0008) его значениями. Кепитенский стронциевый минимум может быть связан с поступлением в океан значительных количеств облегченного фемического стронция в связи с резким усилением палеоспрединга. Максимальные значения стронциевого соотношения, полученные из средней части бивальвиевой подзоны *Intomodesma evenicum*, составляют 0,706986, что отвечает верхней части вучапинского яруса.

Ключевые слова: отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, кепитенский стронциевый минимум, биогенные карбонаты, Омолонский массив, Северо-Восток Азии, пермь.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524884397-402>

В последнее время стронциевая хемотратиграфия, связанная с изучением стронциевого соотношения ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) всё шире используется для решения широкого круга стратиграфических и палеогеографических задач [6, 12, 13, 15]. На Северо-Востоке Азии такие исследования ранее не проводились, и настоящая работа является первой такого рода работой.

Пермский период был временем, когда соотношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ испытывало значительные вариации и поэтому его изучение может быть весьма информативным. В течение перми это соотношение варьировалось в значительных пределах: от 0,7081 в самом начале периода, далее устойчиво понижаясь до 0,70680–0,70685 в позднем кепитене (минимальное значение для всего фанерозоя), с последующим ростом до 0,70730 вблизи пермо-триасового рубежа [9, 13]. Считается, что существует только два основных источника стронция в океанической воде: речной сток, поставляющий тяжёлый сиалический

стронций, и океанические базальты, являющиеся источником облегченного фемического стронция [6]. Следовательно, повышенные значения стронциевого соотношения зависят, прежде всего, от скорости эрозии на континентах, обусловленной тектонической активностью, а пониженные его значения связаны с интенсивным палеоспредингом.

Однако в последнее время в кепитенских карбонатах Японии (анализировали сами известняки) палеоатоллов формации Акасака [10], а также в мелководных известняках формации Ивайзаки [11] были получены значения стронциевого соотношения, значительно более низкие (до 0,706754–0,706808), чем ранее вычисленные (0,706965–0,706897) К. Кортэ и др. [13]. Т. Кани и др. [10] связывают такие низкие стронциевые соотношения с развитием материкового оледенения, которое резко подавило континентальный сток и поступление радиогенного стронция в океан. Последующий резкий рост стронциевого соотношения объясняется этими авторами дегляциацией или рифтогенезом Пангеи. Следует заметить, что основные эпизоды гондванского оледенения, как известно, связаны со второй половиной карбона и началом перми, но стронциевое соотношение в это время было довольно высоким (порядка 0,7081–0,7083), поэтому, по нашему мнению, вряд ли низкие стронциевые соотношения кепитенского века были обусловлены оледенением. В этой связи представляется весьма интересным сопоставить полученные нами материалы для рассматриваемого

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Магадан

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

³Университет Халла, Великобритания

⁴Университет Лидса, Великобритания

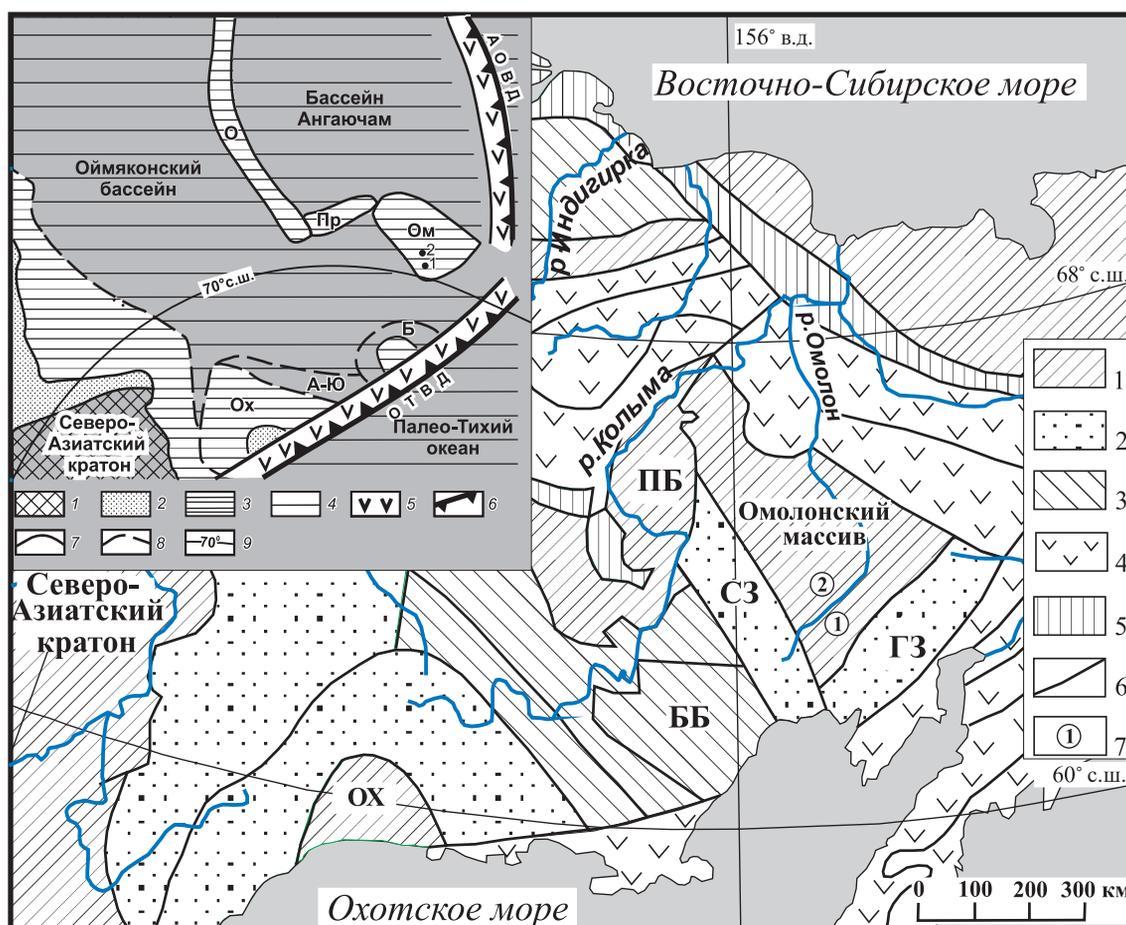
⁵Геологический институт Российской Академии наук, Москва

*E-mail: abiakov@mail.ru

Таблица 1. Аналитические результаты $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ средне–верхнепермских известняков в разрезах Омолонского массива по р. Русская-Омолонская и руч. Водопадный (Северо-Восток Азии)

Образцы	Разрез	Региональный горизонт	Брахиоподы	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	+/-
63-9/АБ-14	Русская-Омолонская	Гижигинский	<i>Penzhinaella</i> sp.	0,706709	0,000005
63-12с/АБ-14	То же	Гижигинский	<i>Penzhinaella</i> sp.	0,706857	0,000004
63-13а/АБ-14	«	Гижигинский	<i>Penzhinaella</i> sp.	0,706848	0,000006
63-14/АБ-14	«	Гижигинский	<i>Penzhinaella</i> sp.	0,706820	0,000004
63-15/АБ-14	«	Гижигинский	<i>Canocrinelloides</i> sp.	0,706740	0,000004
66-5/АБ-14	«	Гижигинский	<i>Penzhinaella</i> sp.	0,706836	0,000005
119-2а/АБ-15	Водопадный	Бочарский	Spiriferidae gen.	0,706921	0,000008
119-3/АБ-15	То же	Бочарский	Spiriferidae gen.	0,706922	0,000006
119-4/АБ-15	«	Гижигинский	<i>Tumarinia</i> sp.	0,706707	0,000004
122-1/АБ-15	«	Хивачский	Spiriferidae gen.	0,706942	0,000006
122-4а/АБ-15	«	Хивачский	<i>Neospirifer</i> sp.	0,706853	0,000007
122-5/АБ-15	«	Хивачский	<i>Neospirifer</i> sp.	0,706877	0,000006
122-6/АБ-15	«	Хивачский	<i>Neospirifer</i> sp.	0,706945	0,000006
123-1/АБ-15	«	Хивачский	Spiriferidae gen.	0,706873	0,000008
123-2/АБ-15	«	Хивачский	<i>Neospirifer</i> sp.	0,706939	0,000006
123-4/АБ-15	«	Хивачский	<i>Neospirifer</i> sp.	0,706986	0,000006

Примечание. Измеренные соотношения нормированы к среднему значению 0,710248 для стандарта NBS-987.



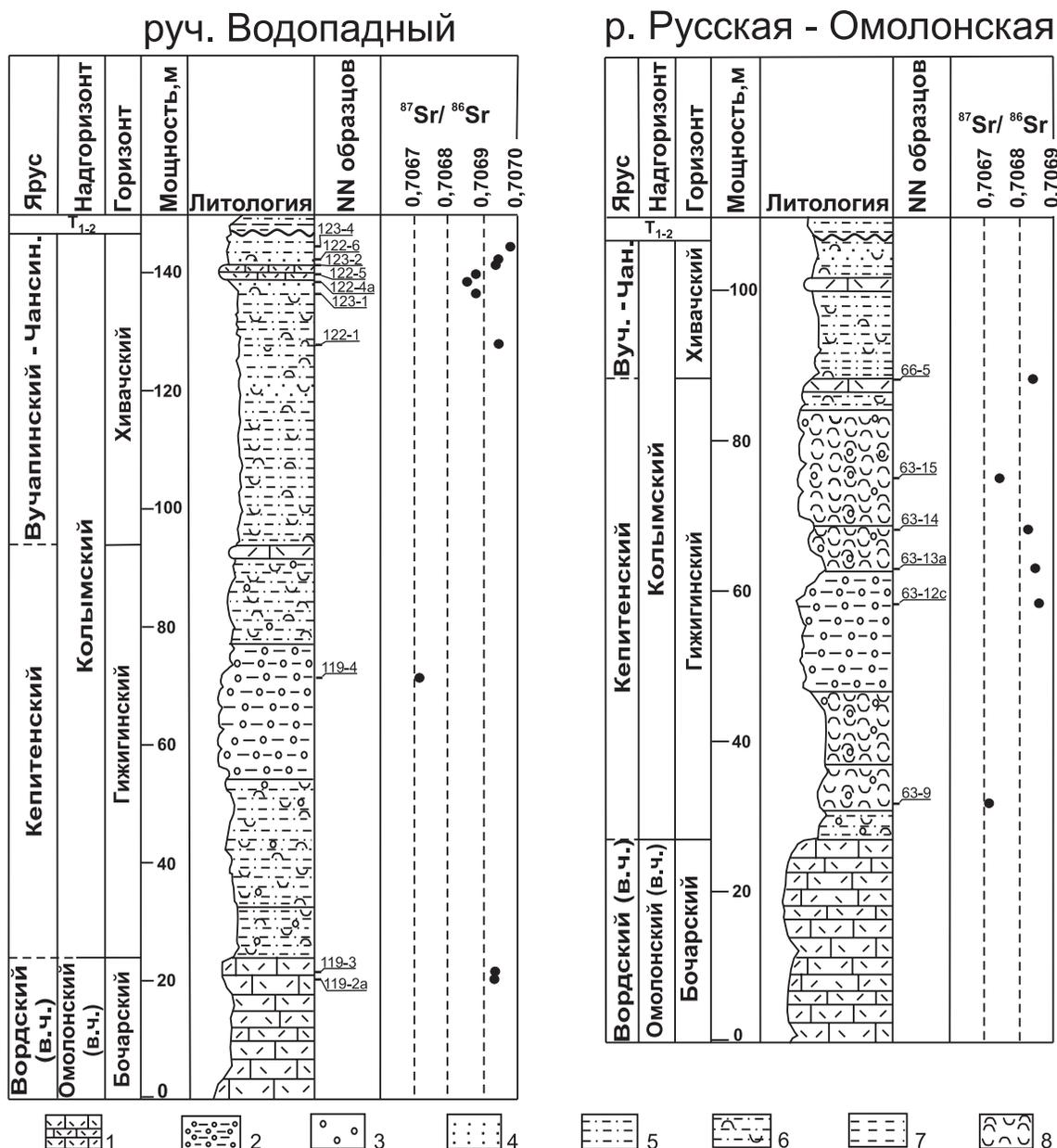


Рис. 2. Вариации изменения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в раковинах брахиопод средней–верхней перми в разрезах по руч. Водопадный и р. Русская-Омолонская (Омолонский массив, Северо-Восток Азии). Бочар. – бочарский горизонт, В. ч. – верхняя часть, Ворд. – вордский ярус, Вуч. – вучапинский ярус, Омолон. – омолонский горизонт, Чан. – чансинский ярус. 1 – колымиевые известняки; 2 – диамиктиты; 3 – рассеянный в породах гравийно-галечный материал; 4 – песчаники; 5 – алевриты; 6 – туфоалевриты; 7 – аргиллиты; 8 – туфы и туфовая примесь в породах.

Рис. 1. Тектоническая схема Северо-Востока Азии (по Шпикерману, 1998, с изменениями и упрощением) и положение опробованных разрезов.

1 – кратоны и кратонные террейны (массивы); 2 – погруженные окраины кратонов и кратонных террейнов; 3 – террейны малых океанических бассейнов, задуговых бассейнов и краевых морей; 4 – островодужные террейны и террейны аккреционных призм; 5 – океанические террейны; 6 – границы тектонических элементов; 7 – номера изученных разрезов (1 – руч. Водопадный, 2 – р. Русская-Омолонская). ББ – Балыгчанский блок; ГЗ – Гижигинская зона; ОЗ – Олойская зона; ОХ – Охотский массив; ПБ – Приколымский блок; СГ – Сугойская зона.

На врезке: Палеогеография Северо-Востока Азии и основные седиментационные бассейны в перми (кепитенский век) (по Бяков и др., 2005): 1 – суша; 2 – мелкое море, 3 – глубокое море, 5 – вулканические дуги (АОВД – Алазейско-Олойская; ОТВД – Охотско-Тайгоноская), 6 – зоны субдукции, 7 – границы основных тектонических структур; 8 – границы седиментационных бассейнов; 9 – палеоширота. Седиментационные бассейны: А-Ю – Аян-Юряхский, Б – Балыгчанский, О – Омудевский; Ом – Омолонский; Ох – Охотский; Пр – Приколымский.

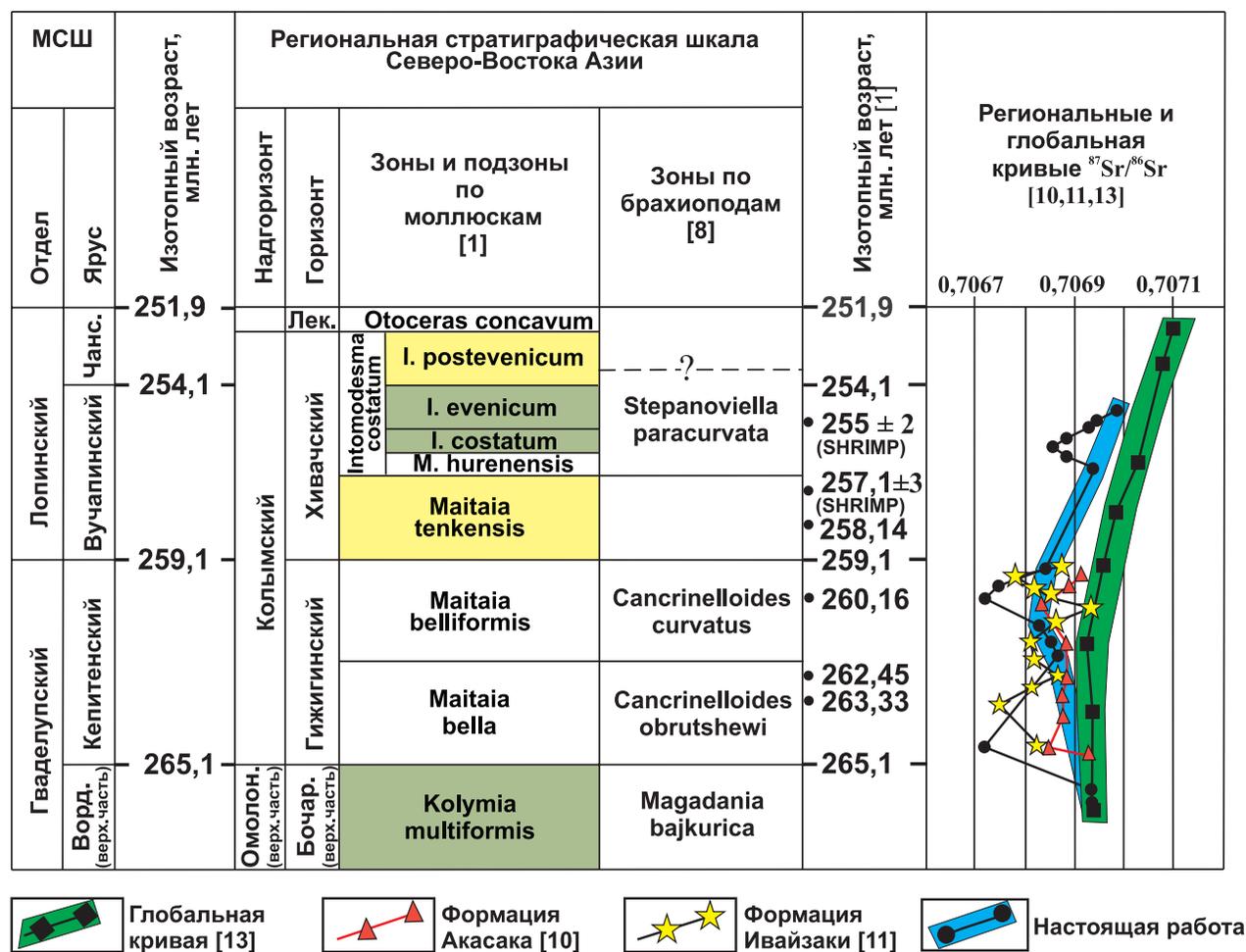


Рис. 3. Сопоставление кривых стронциевого соотношения для средней – верхней перми. Бочар. – бочарский горизонт, Ворд. – вордский ярус, Лек. – лекеерский горизонт, МСШ – Международная стратиграфическая шкала перми, Омолон. – омолонский горизонт, Чанс. – чансинский ярус.

временного интервала (кепитена) с известными на сегодня данными, принимая во внимание то, что Омолонский бассейн, согласно нашим представлениям [3], в перми также был удалён от крупных массивов суши (рис. 1) и располагался в высоких широтах Северного полушария.

Всего было изучено 16 образцов раковин брахиопод, почти исключительно спириферид (представители родов *Penzhinaella*, *Neospirifer* и *Tumarinia*), хорошей сохранности (табл. 1) из двух стратотипических разрезов Омолонского бассейна – по руч. Водопадный и р. Русская-Омолонская [5]. Кроме предварительной визуальной оценки, исключавшей перекристаллизацию раковинного вещества, почти все образцы прошли термолюминесцентный тест-контроль, показавший полную пригодность практически всех образцов для аналитических исследований. Также в большинстве образцов методом ICP MS на масс-спектрометре Agilent 8800 Triple Quadrupole, оснащённом лазерной системой Aus-

tralian Scientific Instruments Resolution 193 нами были измерены содержания Ca, Mg, Sr и Fe, показавшие очень высокое содержание Ca и очень низкие – Mg (Mg/Ca от 0,0011 до 0,0080), сравнимые с содержаниями этих элементов в раковинах современных моллюсков. Это также свидетельствует об отсутствии диагенетических изменений исследованных образцов. Изученные образцы охватывают верхи вордского–низы чансинского (как предполагалось) яруса (рис. 2).

Определение соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ было выполнено нами в Университете Лидса, Великобритания, на термоионизационном масс-спектрометре Triton фирмы Thermo производства Германии. Внутренняя точность измерений неизменно составляла $\leq 9 \cdot 10^{-6}$ и контролировалась повторным анализом стандарта NBS-987, для которого $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ находился в диапазоне от $0,710240 \pm 7 (1\sigma)$ до $0,710278 \pm (1\sigma)$, и собственного стандарта юрского белемнита (YCB), чье $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ варьировалось от $0,707100 \pm 4 (1\sigma)$ до

0,707125 ± 5 (1σ). Содержание Sr в процедурных бланках составляло ~300 пг, что намного ниже, чем в анализируемых образцах. Карбонатные порошки подвергали процедуре выщелачивания, описанной Мак-Артуром и др. [14]. Испаренные Sr-экстракты повторно растворяли в сверхчистой слабой HCl и добавляли на вольфрамовую проволоку с ранее нанесенным 5% раствором TaCl₅ (для облегчения ионизации). Измеренные соотношения нормированы к среднему значению 0,710248 для стандарта NBS-987.

Вордско-вучапинский возраст изученного интервала разреза подтверждается, помимо имеющихся биостратиграфических материалов [8], недавно полученными новыми данными по CA-IDTIMS- и SHRIMP-II-датированию цирконов, выделенных из туфов Охотского, Аян-Юрхского и Балыгычанского бассейнов [1, 4, 7] с учётом новых данных по хемостратиграфии $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ в глинистых сланцах Балыгычанского бассейна [2].

В целом полученная кривая повторяет известный мировой тренд стронциевого соотношения [9, 13], отличаясь несколько заниженными (в среднем на 0,0005–0,0008) его значениями (рис. 3). По нашему мнению, следует отбросить материковое оледенение как главную причину резкого уменьшения стронциевого соотношения в кепитене, поскольку имеющиеся региональные материалы не содержат явных доказательств такового. Поэтому, остается предполагать, что это уменьшение может быть связано с поступлением в океан значительных количеств облегченного фемического стронция в связи с резким усилением процессов рифтогенеза по периферии Омолонского бассейна, и, в частности, с существенным расширением Оймяконского бассейна и океана Ангаючам [3]. Минимальное вычисленное соотношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ оказалось 0,706707 и соответствует верхнекепитенскому стронциевому минимуму, что хорошо согласуется со стратиграфическим положением образца в верхней части гижигинского регионального горизонта. Ещё одно экстремально низкое значение (0,706709) зафиксировано нами в самом начале кепитена и может коррелироваться с аналогичными минимумами, установленными в Японии [10, 11].

Максимальные значения стронциевого соотношения, полученные из средней части бивальвиевой подзоны *Intomodesma evenicum*, составляют 0,706986, что отвечает верхней части вучапинского яруса Международной стратиграфической шкалы перми и хорошо согласуется с датировкой туфа из нижней части подзоны *Evenicum* Балыгычанского бассейна (255 ± 2,0 млн лет) [1]. Таким образом, отложения

чансинского яруса, скорее всего, почти полностью отсутствуют в пределах Омолонского бассейна, где, как известно, между пермскими и триасовыми отложениями развита кора выветривания, захватывающая и нижнюю часть инда [5].

Благодарности. Авторы благодарят рецензентов за высказанные замечания и пожелания, позволившие существенно улучшить текст статьи. D.P.G. Bond благодарит за финансовую поддержку Natural Environment Research Council (грант № NE/J01799X/1).

Источники финансирования. Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 17–05–00109) и Министерства науки и высшего образования РФ по договору № 14.Y26.31.0029 в рамках реализации постановления Правительства Российской Федерации № 220.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бяков А.С., Горячев Н.А., Ведерников И.Л., Брынько И.В., Толмачева Е.В. // ДАН. 2017. Т. 477. № 3. С. 331–336.
2. Бяков А.С., Ногасек М., Горячев Н.А., Ведерников И.Л., Захаров Ю.Д. // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 347–350.
3. Бяков А.С., Прокопьев А.В., Кутыгин Р.В., Ведерников И.Л., Будников И.В. // Отеч. геология. 2005. № 5. С. 81–85.
4. Бяков А.С., Шпикерман В.И., Ведерников И.Л., Толмачева Е.В. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 3. С. 19–28.
5. Кашик Д.С., Ганелин В.Г., Караваева Н.И., Бяков А.С., Миклухо-Маклай О.А., Стукалина Г.А., Ложкина Н.В., Дорофеева Л.А., Бурков Ю.К., Гутенева Е.И., Смирнова Л.Н. Опорный разрез перми Омолонского массива. Л.: Наука, 1990. 200 с.
6. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
7. Davydov V.I., Biakov A.S., Schmitz M.D., Silantiev V.V. // Earth-Sci. Rev. 2018. V. 176. P. 222–240.
8. Ganelin V.G., Biakov A.S. // J. Asian Earth Sci. 2006. V. 26. № 3/4. P. 225–234.
9. Henderson C., Davydov V.I., Wardlaw B.R. The Permian Period. In: The Geologic Time Scale 2012. Amsterdam: Elsevier, 2012. P. 653–679.
10. Kani T., Hisanabe C., Isozaki Y. // Gondwana Res. 2013. V. 24. P. 212–221.
11. Kani T., Isozaki Y., Hayashi R., Zakharov Y., Popov A. // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2018. V. 499. P. 13–21.
12. Korte C., Ullmann C.V. // Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 2018. V. 450. P. 105–118.
13. Korte C., Jasper T., Kozur H., Veizeret J. // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2006. V. 240. P. 89–107.

14. McArthur J.M., Howarth R.J., Bailey T.R. // Journal of Geology. 2001. V. 109. P. 155–170.

15. Song H.J., Wignall P.B., Tong J.N., Song H.Y., Chen J.,

Chu D.L., Tian L., Luo M., Zong K.Q., Chen Y.L., Lai X.L., Zhang K.X., Wang H.M. // Earth and Planet. Sci. Lett. 2015. V. 424. P. 140–147.

NEW MINIMAL $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ VALUES IN BIOGENIC CARBONATES OF THE PERMIAN OF THE OMOLON MASSIF (NORTH-EASTERN ASIA)

A. S. Biakov^{1,2}, I. V. Brynko¹, D. P. G. Bond³, J. Harvey⁴,

Corresponding Member of the RAS N. A. Goryachev¹, I.L. Vedernikov¹, T. V. Filimonova⁵

¹*N.A. Shilo North-Eastern Complex Scientific-Research Institute, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation*

²*Kazan (Privolzhskiy) Federal University, Kazan, Russian Federation*

³*University of Hull, Hull, United Kingdom*

⁴*School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, United Kingdom*

⁵*Institute of Geology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Received August 20, 2018

For the first time very low values (up to 0,706707) of the ratio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ were recorded in the biogenic carbonates of the Omolon massif (Northeast Asia) of the Capitanian age. These results are in good agreement with previously obtained data on limestones in Japan (Kani et al., 2013; 2018). In general, the strontium ratio curve constructed by us repeats the well-known world trend, differing by its somewhat underestimated (by an average of 0,000–0,0008) its values. The Capitanian strontium minimum can be associated with the entry into the ocean of significant amounts of lightweight femic strontium due to a sharp increase in paleospreading. The maximum values of the strontium ratio, obtained from the middle part of the *Intomodesma evenicum* bivalve Subzone are 0,706986, which corresponds to the upper part of the Wuchiapingian stage.

Keywords: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio, Capitanian strontium minimum, biogenic carbonates, Omolon massif, Northeast Asia, Permian.