

УДК 551.762:550.93(571.56)

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ В ГЛЕНДОНИТАХ СРЕДНЕЙ ЮРЫ СЕВЕРНОЙ СИБИРИ

© 2018 г. М. А. Рогов^{1,2,*}, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов^{2,3},
Г. В. Константинова³, Т. Л. Турченко³

Поступило 26.12.2017 г.

Впервые определён изотопный состав Sr в глендонитах из двух разрезов средней юры северной Сибири. Образование глендонитов произошло путём замещения икаита кальцитом в ходе диагенеза. $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ в большинстве образцов глендонитов (0,70687–0,70715) незначительно ниже этого отношения в позднебатском-раннебайосском океане. Это может указывать на участие морской воды келловей в образовании отдельных генераций кальцита или на влияние метаногенного флюида глубинного происхождения.

DOI: 10.31857/S086956520003142-9

Глендониты — кальцитовые образования звёздчатой или бипирамидальной формы — широко распространены в байос-батских отложениях северной Сибири. Глендониты — псевдоморфозы кальцита по икаиту ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), образовавшемуся с участием метаногенной углекислоты при $< 5-8^\circ\text{C}$ [1–3]. Быстрая трансформация икаита в глендонит и высокое содержание Sr в глендонитах [1, 4] позволяют предполагать, что глендониты сохраняют первичный изотопный сигнал среды седиментации, что открывает возможность для применения метода стронциевой изотопной стратиграфии (SIS).

Среднеюрская эпоха характеризуется высокой скоростью понижения $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ в океане, которое достигло минимума на рубеже средней и поздней юры. При этом максимальная скорость изменения этого отношения для фанерозоя зафиксирована в байосе [5]. Это делает SIS перспективным инструментом для сопоставления морских байосских-батских отложений, что особенно важно вследствие сложностей бореально-тетической корреляции в этом интервале по биостратиграфическим данным. Главный материал для SIS в докембрии — осадочные карбонатные породы [6]. В мезозое используют преимущественно карбонатные раковины, белемниты [5, 7] и образцы карбонатных пород [8].

Морские отложения средней юры на севере Сибири сложены переслаиванием алевритов, глин,

песков. Белемниты, часто используемые для целей SIS, встречаются здесь сравнительно редко. Среди моллюсков преобладают двустворки, представленные преимущественно бореальными родами *Retroscamus*, *Arctotis*. Глендониты известны из всех ярусов и подъярусов средней юры Сибири, но наиболее обильны они в байосском—среднебатском интервале. Материал для нашей работы — глендониты, отобранные из двух разрезов (рис. 1). Опорный разрез, расположенный на берегу Анабарской губы — один из наиболее детально изученных разрезов нижней—средней юры в регионе [9]. Глендониты здесь были встречены на разных стратиграфических уровнях (рис. 1). В разрезе на р. Лена, у м. Кыстатум [10] многочисленные глендониты были встречены в узком стратиграфическом интервале. Кроме того, для сравнения был изучен изотопный состав Sr в голоценовых глендонитах (беломорских рогульках) [11], отобранных на литорали Белого моря.

Рентгеновское исследование, выполненное на дифрактометре ДРОН-УМ-1 (Cu-излучение, скорость $2^\circ/\text{мин}$), показало, что все образцы глендонитов сложены кальцитом. Положение наиболее интенсивного пика (3,03А) в диффракционной картине минерала соответствует рефлексу hkl (104) кальцита. Это подтверждает полное замещение исходного икаита в мезозойских и голоценовых осадках.

Определение концентраций Mg, Mn, Fe проводили атомно-эмиссионным методом на спектрометре ICPE-9000 (РЦ МАСВ СПбГУ). Химическая обработка образцов глендонитов для изотопного анализа включала предварительную ультразвуковую отмывку истертой навески (50 мг) в очищенной воде

¹ Геологический институт

Российской Академии наук, Москва

² Санкт-Петербургский государственный университет³ Институт геологии и геохронологии докембрия

Российской Академии наук, Санкт-Петербург

*E-mail: russianjurassic@gmail.com

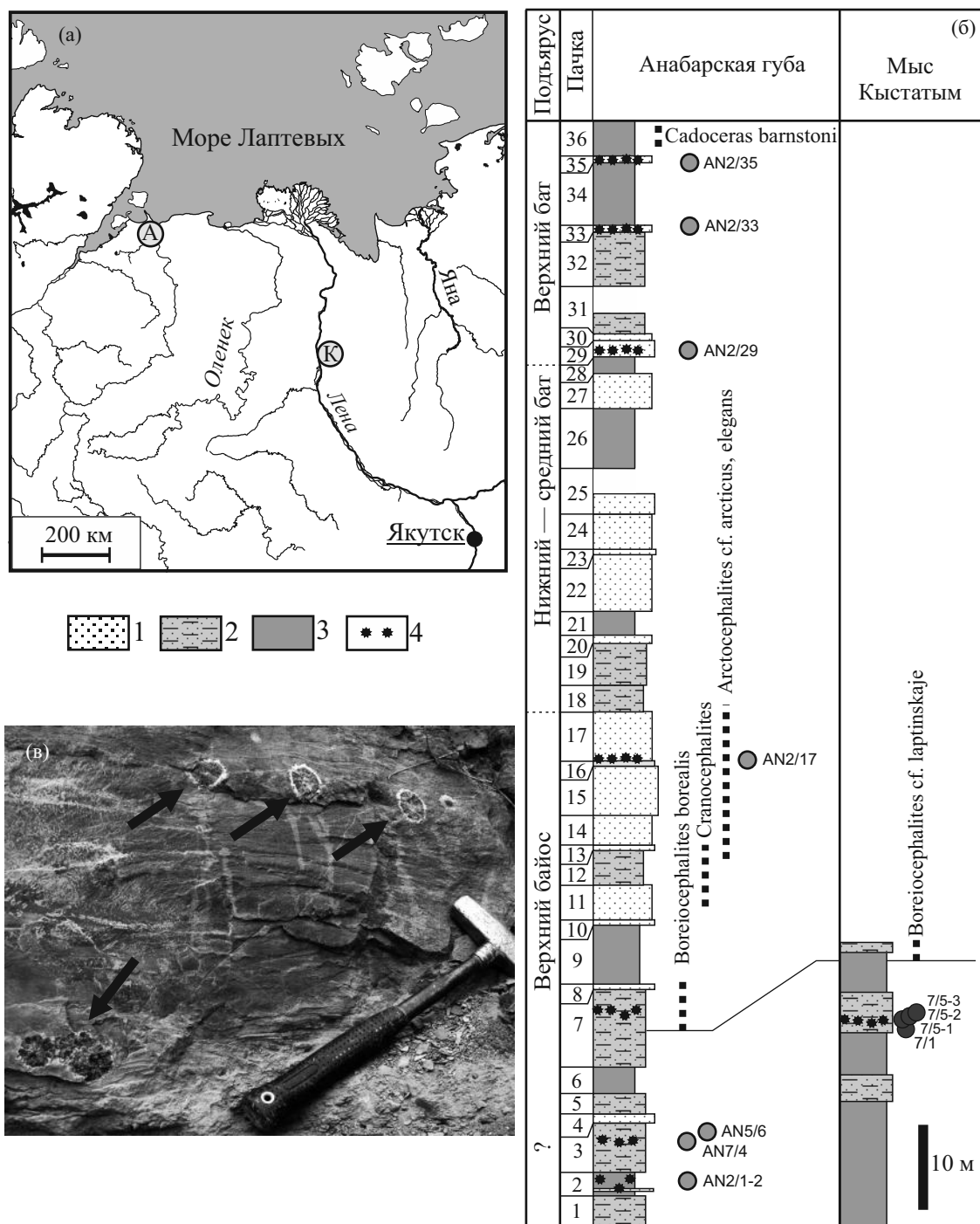


Рис. 1. Расположение разрезов средней юры (а) и их строение (б) с положением отобранных образцов глендонитов: (а) — западный берег Анабарской губы, К — м. Кыстатым. (б) — пунктир — находки аммонитов [10, 14]. в — стрелками показаны звёздчатые глендониты. 1 — песчаники, 2 — алевролиты, 3 — глины, 4 — глендониты.

и последующее растворение в 1N HCl [7, 12]. Измерение изотопного состава Sr проводились на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в режиме одновременной регистрации ионных токов всех изотопов. Расхождение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах по результатам повторных опытов не превышало 0,000006. Все значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в изученных образ-

цах приведены к единому значению в стандарте SRM-987 = 0,710250 (табл. 1).

По сравнению с современными морскими известковыми осадками (рис. 2) образцы голоценовых глендонитов обогащены Mn (220–620 мкг/г), Fe (920–1700 мкг/г). При этом юрские глендониты содержат ещё больше Mn (1430–4000) и Fe (1600–

Таблица 1. Содержание малых элементов и изотопный состав Sr в глендонитах средней юры северной Сибири и голоценовых образцах Белого моря

Образец	Стратиграфическое положение	Mg, %	Mn, мкг/г	Fe, мкг/г	Sr, мкг/г	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
Мыс Кыстатым						
7/1	Верхний байос	0,66	2000	3200	1650	0,70714
7/5-1	Верхний байос	0,57	1800	2600	940	0,70707
7/5-2	Верхний байос	0,68	1800	5200	965	0,70697
7/5-3	Верхний байос	0,58	1430	1600	960	0,70709
Анабарская губа, западный берег						
AN2/1-2	Верхний байос	0,46	2600	2100	1377	0,70702
AN2/17	Верхний байос	0,35	4000	3600	1178	0,70693
AN2/29	Бат	0,77	3100	9200	1503	0,70687
AN2/33	Бат	0,49	2500	4300	1400	0,70690
AN2/35	Верхний бат	0,39	2200	3900	1360	0,70693
Анабарская губа, восточный берег						
AN5/6	Верхний байос	0,32	3500	5100	1052	0,70704
AN7/4	Верхний байос	0,32	3200	6500	1186	0,70715
Белое море						
I-423-1	Голоцен	1,31	220	920	1478	0,70930
I-423-2	Голоцен	1,17	620	1700	1447	0,70913

9200 мкг/г). Такие высокие концентрации Mn, Fe характерны для карбонатных конкреций, кристаллизующихся в песчано-глинистых осадках [13]. Однако важно отметить, что концентрация Sr в голоценовых и юрских глендонитах (940–1650 мкг/г) сравнима с таковой в рострах юрских белемнитов и раковинах современных моллюсков [5, 7, 12], что значительно выше, чем в карбонатных конкрециях (рис. 2).

Рост карбонатных конкреций в песчано-глинистых осадках обычно происходит ниже границы вода—осадок и в отсутствие геохимической связи с поверхностной водной средой. Изменение окислительно-восстановительного потенциала в поровых водах верхнего слоя осадка контролируется деятельностью бактерий, способных полностью удалять растворенный кислород и разлагать органическое вещество. В результате в верхнем слое осадка формируется восстановительная среда, в которой растворённые Mn, Fe восстанавливаются до Mn²⁺, Fe²⁺ и осаждаются в диагенетическом кальците [13]. При этом, в зависимости от активности сульфатредуци-

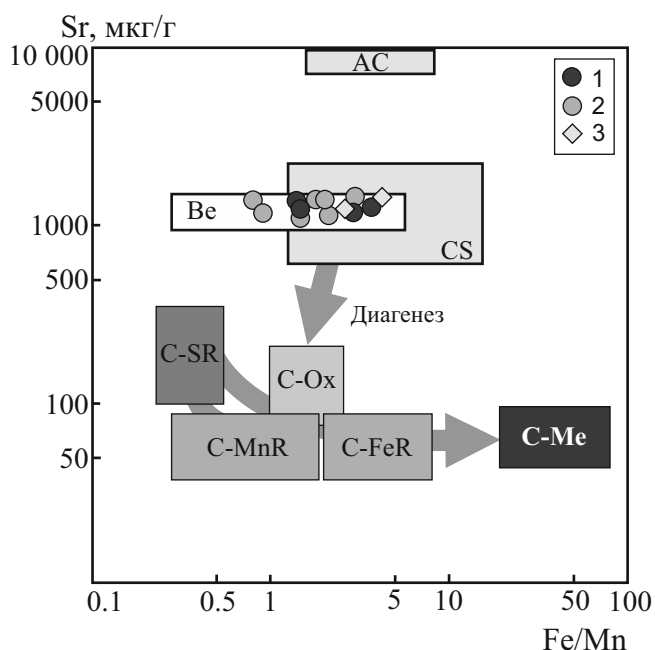


Рис. 2. Сравнение концентрации Sr и Fe/Mn в образцах глендонитов, современных карбонатных осадках (CS – кальциты, AC – арагониты) [12], юрских белемнитах (Be) [5, 7] и карбонатных конкрециях различных зон диагенеза (C-Ox – окислительной, C-MnR – восстановления Mn, C-FeR – восстановления Fe, C-SR – сульфат-редукции, C-Me – метаногенеза) [13]. Образцы глендонитов: 1 – м. Кыстатым, 2 – Анабарская губа, 3 – Белое море.

рующих или метаногенерирующих бактерий диагенетические карбонаты имеют разное Fe/Mn (рис. 2). Однако по сравнению с осадочными морскими кальцитами [12] диагенетические карбонаты всегда обогащены Mn, Fe и обеднены Sr [13]. В этой же зоне вследствие диагенетического преобразования песчано-глинистого осадка новообразованные карбонаты обогащаются радиогенным ⁸⁷Sr, заимствованным из глин и полевых шпатов.

Высокие концентрации Mn, Fe в глендонитах вполне объясняются их кристаллизацией в донных осадках при участии углекислоты, генерированной в результате анаэробного окисления метана. Однако юрские глендониты значительно обогащены Sr и характеризуются более низким ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, чем одновозрастные карбонатные осадки и диагенетические карбонаты. При этом образцы глендонитов, расположенные стратиграфически выше в разрезе характеризуются минимальными ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (рис. 3). Следует отметить также высокую изменчивость изотопного состава Sr в образцах с одного стратиграфического уровня в разрезе м. Кыстатым. Пониженные ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в глендонитах не могут быть объяснены влиянием диагенетических изменений вмещающих песчано-глинистых осадков, поскольку в этом случае поро-

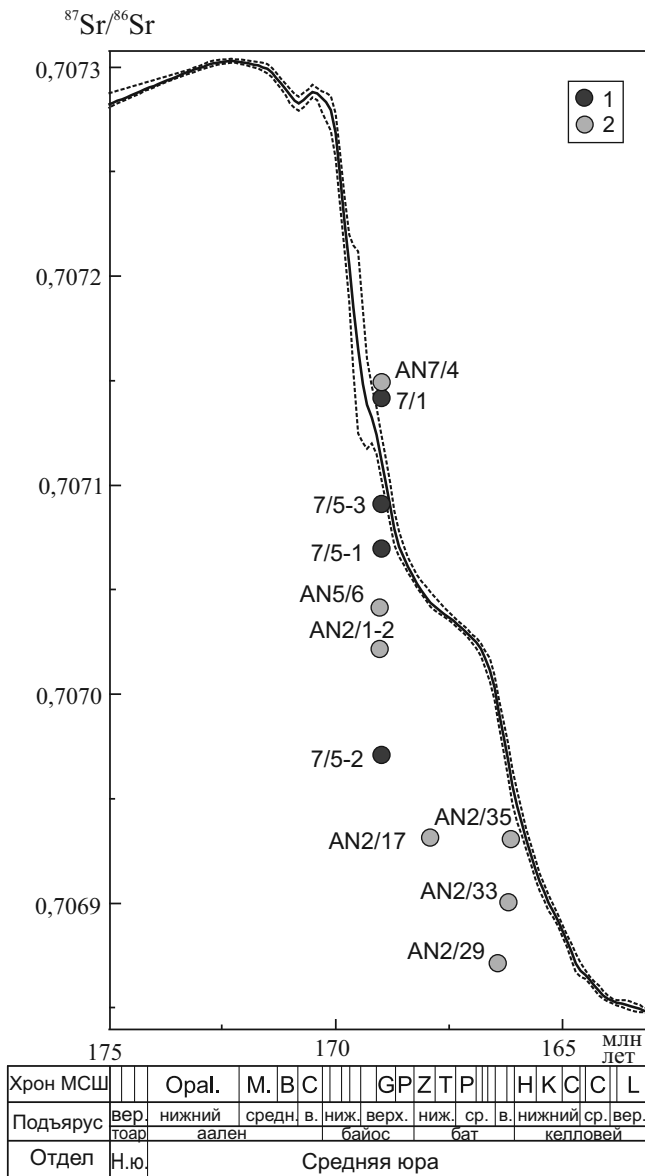


Рис. 3. Сравнение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в глендонитах со стандартной кривой вариаций $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане средней юры [5]. Образцы глендонитов: 1 — м. Кыстатым, 2 — Анабарская губа. Сокращения: МСШ — Международная стратиграфическая шкала; в той же строке, слева направо (индесы зон): Opal. — Opalinium; М. — Murchisonae; В. — Bradfordensis; С. — Concavum; G. — Garantiana; P. — Parkinsoni; Z. — Zigzag; T. — Tenuiplicatus; P. — Progracilis; H. — Herveyi; K. — Koenigi; C. — Calloviense; С. — Coronatum; L. Lamberti; Н.ю. — нижняя юра; вер., в., верх. — верхний; ср., средн. — средний; ниж. — нижний.

вые воды должны ^{87}Sr . Вулканогенные минералы и туфы в юрском разрезе отсутствуют.

Причина пониженного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в юрских глендонитах пока не ясна. Это могло быть связано с приносом малорадиогенного Sr вместе с термогенным метаном глубинного происхождения во время пе-

рекристаллизации икаита в кальцит. Ещё одной причиной пониженного $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в глендонитах Анабарской губы может быть влияние более молодой (келловейской) морской воды на образование поздних генераций кальцита, хотя следует учесть, что мощности батского интервала в изученных разрезах 50–100 м. Поверхностные слои осадка были пропитаны «молодой» морской водой. В результате поровые воды были насыщены Sr с низким $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Именно в этой диагенетической среде могли образоваться поздние генерации кальцита, обеднённые ^{87}Sr . Эта перекристаллизация охватила в первую очередь глендониты в верхнебатской части разреза. Байосские глендониты были в меньшей степени затронуты диагенетическим раствором, поэтому $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в некоторых образцах совпадает с этим отношением в позднебайосской морской воде (рис. 3). Похожая картина наблюдается в голоценовых глендонитах, в которых $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ близко к этому отношению в океане. Таким образом, использование глендонитов для целей SIS возможно, но ограничено скоростью замещения икаита кальцитом и диагенетической историей изучаемых отложений.

Интерпретацию геохимических и изотопных данных производили при поддержке проекта РНФ 17–17–01171. Химический анализ проведён с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка МАСВ СПбГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплан М.Е. // Литология и полез. ископаемые. 1979. № 5. С. 125–141.
2. Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Прасолов Э.М., Сапега В.Ф., Демидова А.Л., Радченко М.С. // Зап. РМО. 2015. № 4. С 61–75.
3. Morales C., Rogov M., Wierzbowski H., Ershova V., Suan G., Adatte T., Föllmi K.B., Tegelaar E., Reichart G.-J., de Lange G.J., Middelburg J.J., van de Schootbrugge B. // Geology. 2017. V. 45. P. 503–506.
4. Ito T. // J. Hokkaido Univ. Education. Sect. II B. 1982. V. 33. № 1. P. 41–48.
5. Wierzbowski H., Anczkiewicz R., Pawlak J., Rogov M.A., Kuznetsov A.B. // Chem. Geol. 2017. V. 466. P. 239–255.
6. Kuznetsov A.B., Melezhik V.A., Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Konstantinova G.V., Kutuyavin E.P., Turchenko T.L. // Precambr. Res. 2010. V. 182. № 4. P. 300–312.
7. Кузнецов А.Б., Изох О.П., Дзюба О.С., Шурыгин Б.Н. // ДАН. 2017. Т. 477. № 4. С. 455–460.

8. Рудько С.В., Кузнецов А.Б., Пискунов В.К. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 5. С. 52–65.
9. Никитенко Б.Л., Шурыгин Б.Н., Князев В.Г., Меледина С.В., Дзюба О.С., Лебедева Н.К., Пещевецкая Е.Б., Глинских Л.А., Горячева А.А., Хафеева С.Н. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1047–1082.
10. Кирина Т.И., Меледина С.В. // Тр. ИГиГ СО АН СССР. 1974. В. 136. С. 105–109.
11. Гептнер А.Р., Ветошкина О.С., Петрова В.В. // Литология и полез. ископаемые. 2014. № 6. С. 506–524.
12. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 3–19.
13. Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Мележик В.А., Мельников Н.Н., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 4. С. 360–375.
14. Меледина С.В., Каплан М.Е., Нальняева Т.Л., Шурыгин Б.Н. В кн.: Стратиграфия юрской системы севера СССР. М.: Наука, 1976. С. 67–85.