

УДК 550.93:551.72

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ВОЗРАСТ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И ТРОНДЪЕМИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОПРИАЗОВСКОЙ СЕРИИ: Sr-ИЗОТОПНАЯ ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ И U–Pb-ГЕОХРОНОЛОГИЯ

Член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов^{1,*}, С. Б. Лобач-Жученко¹,
Т. В. Каулина², Г. В. Константинова¹

Поступило 04.06.2018 г.

Представлена Sr-изотопная характеристика карбонатных пород центральноприазовской серии (0,70322–0,70352), вычислен Nd-модельный возраст силикатных осадков этой серии (2,34–2,31 млрд лет) и определён U–Pb-возраст трондъемитов (2052 ± 5 млн лет), прорывающих карбонатные породы. Полученные данные доказывают, что морской осадочный чехол Приазовского блока, являющегося фрагментом раннедокембрийского континента Сарматия, формировался в раннем палеопротерозое 2,23–2,34 млрд лет назад.

Ключевые слова: Украинский щит, палеопротерозой, центральноприазовская серия, Sr-изотопная хемотрастиграфия, U–Pb-геохронология.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524846725-728>

Последовательность формирования архей-палеопротерозойского осадочного чехла Сарматии имеет важное значение для реконструкции раннедокембрийской истории Земли. Карбонатные породы Приазовского блока, расположенного на юго-восточной окраине Украинского щита, характеризуют этап морского осадконакопления в пределах древнего континента Сарматия. В этой работе нами впервые уточнён возраст карбонатных пород Приазовского блока на основе метода Sr-изотопной хемотрастиграфии, изучения Sm–Nd-систематики ассоциированных силикатных осадков и определения U–Pb-возраста циркона из гранитоидов, прорывающих карбонатные породы.

Приазовский блок слагает юго-восточную часть Украинского щита. На северо-востоке он граничит с Днепровско-Донецким авлакогеном, на западе — с Орехово-Павлоградской компрессионной зоной сдвигового течения [1], отделяющей его от Среднеприднепровской гранит-зеленокаменной области, а на юге блок погружается в акваторию Азовского моря (рис. 1). В сложении Приазовского блока преобладают мигматиты и гранитоиды тоналит-трондъемитовой серии. Метаосадочные породы обнажены фрагментарно и разделяются на две серии: нижнюю западноприазовскую и верхнюю централь-

ноприазовскую [2, 3]. Нижняя серия содержит биотит-амфиболовые гнейсы, метаморфизованные ~3100–3000 млн лет назад и прорванные габбро-диоритами обиточенского комплекса с возрастом 2908–2940 млн лет [4]. Центральноприазовская серия сложена кварцитами, железистыми кварцитами, карбонатными породами, пироксеновыми гнейсами и силлиманит-кордиерит-гранатовыми гнейсами с примесью графита. Серия разделяется на две свиты: темрюкскую, демьяновскую. Породы этой серии метаморфизованы в условиях амфиболитовой и/или гранулитовой фации [5]. Первоначально центральноприазовская серия была отнесена к палеопротерозою [2], но в хроностратиграфической схеме раннего докембрия Украинского щита серия перемещена в архей [3].

Мраморы и ассоциированные с ними известково-силикатные породы развиты в темрюкской свите и распространены преимущественно в южной части Приазовского блока (рис. 1). Наиболее крупные обнажения мраморов расположены в бассейне р. Берда. Изученный разрез находится на правом берегу этой реки, выше с. Калайтановка (47°04'52.3" с.ш.; 36°59'18" в.д.). Карбонатные породы (мощностью более 50 м) простираются в юго-восточном направлении на 200–300 м. В породах наблюдается слоистость, выраженная переслаиванием карбонатных пачек (1–2 м) и тонкополосчатых мраморов с прослойками (2–3 см) силикатных пород. Образцы мраморов отобраны с помощью электробура из наименее выветрелой центральной части разреза. Кар-

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург

² Геологический институт Кольского научного центра Российской Академии наук, Апатиты Мурманской обл.

*E-mail: antonbor@mail.ru

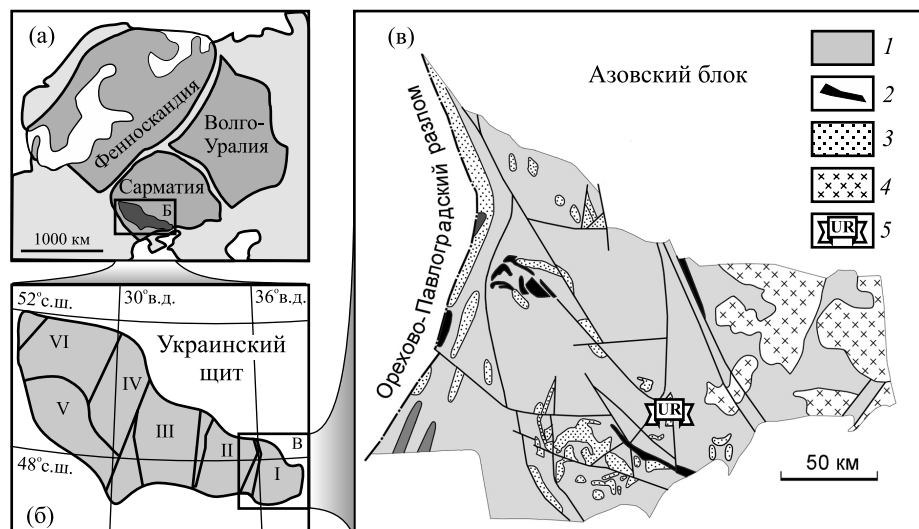


Рис. 1. Положение Украинского щита (а). Схема его тектонического строения (б). Геологическая схема Приазовской провинции (в) [1]. Тектонические провинции: I — Приазовская, II — Среднеприднепровская, III — Ингульская, IV — Росинско-Тикичская, V — Днестровско-Бугская, VI — Вольнская. 1 — нерасчленённые архейские породы, 2 — реликты мезоархейских зеленокаменных поясов, 3 — палеопротерозойская центральноприазовская серия, 4 — палеопротерозойские гранитоиды, 5 — положение изученного разреза.

бонатные породы в этом разрезе прорваны жилами среднезернистых трондьемитов. В одной из жил был отобран образец, из которого выделен циркон для геохронологического изучения.

Циркон представлен крупными (300–700 мкм) короткопризматическими прозрачными кристаллами. Кристаллы светло-коричневые и гиацинтового габитуса. Катодолюминесцентное свечение (CL) кристаллов тусклое, а в обратно-рассеянных электронах (BSE) — однородное и яркое, что свидетельствует о высокой концентрации тяжёлых элементов и магматической природе циркона. Для геохронологического U–Pb-исследования взяты три навески наиболее прозрачных кристаллов, различающихся по размеру и коэффициенту удлинения. Концентрации U, Pb определяли методом изотопного разбавления со смешанным индикатором ^{208}Pb – ^{235}U на масс-спектраторе МИ-1201Т (Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты).

На диаграмме $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}/^{238}\text{U}$ с конкордией три фигуративные точки (из них две конкордантные) образуют дискордию, верхнее пересечение которой с конкордией соответствует возрасту 2054 ± 2 млн лет (рис. 2). Нижнее пересечение расположено около нуля, что подтверждает достоверность полученного возраста. Две конкордантные точки определяют возраст по конкордии в 2052 ± 5 млн лет при величине СКВО = 0,83 и вероятности конкордантности 0,36. Полученный возраст циркона соответствует времени магматической кристаллизации гранитов и ограничивает верхний

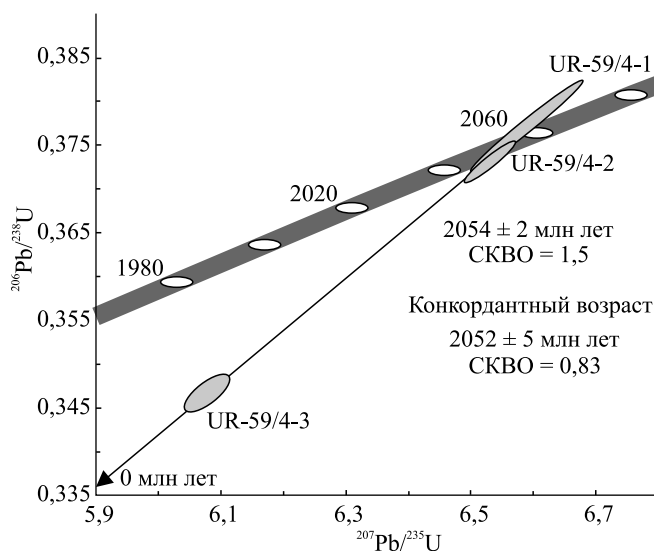


Рис. 2. Диаграмма $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}/^{238}\text{U}$ с конкордией и возрастом цирконов (обр. UR59/4) из жилы трондьемита, секущей мраморы центральноприазовской серии в разрезе на р. Берда.

предел формирования карбонатных осадков темрюкской свиты.

Изучение Rb–Sr-систематики в образцах мраморов темрюкской свиты проводили согласно процедуре [6], изучение Sm–Nd-систематики — в силикатных образцах согласно процедуре, разработанной для глинистых минералов [7]. Изотопный анализ элементов выполняли на многоколлекторном масс-спектраторе Triton TI. Среднее значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в стандартном карбонате Sr NIST SRM 987 в период работы дало значение $0,710275 \pm 0,000008$ (2σ , $n = 24$),

а среднее значение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в изотопном стандарте jNd-1 — $0,512097 \pm 0,000008$ (2σ , $n = 5$).

Мраморы сложены крупнозернистым кальцитом и включают небольшую (3–11%) примесь кварца, амфибола, полевых шпатов, слюд. Карбонатная составляющая мраморов содержит 90–160 Mn, 1050–3900 Fe, 2340–3010 мкг/г Sr (табл. 1). Высокая концентрация Sr указывает, что исходный карбонатный осадок был сложен арагонитом. Концентрация Rb в карбонатной составляющей мраморов не превышает 0,61 мкг/г, а $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ней заключено в узких пределах 0,70322–0,70352. Низкие содержания Fe, Mn в мраморах, а также зависимость концентрации Rb и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от доли силикатной примеси предполагают, что метаморфическая перекристаллизация этих пород происходила в закрытой или близкой к закрытой системе.

Образцы из силикатных прослоев содержат диоксид, амфибол, плагиоклаз, кварц. Высокие содержания MgO (8,9–9,4%), Ni, Co, Cr и низкие концентрации K_2O (0,3–0,6%) и REE свидетельствуют, что преобладающим источником терригенной составляющей были основные породы. Содержание Sm в силикатном материале 0,8–2,8, Nd — 3,6–13,8 мкг/г. Измеренное $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0,51176–0,51194. Рассчитанный на основе изотопных Sm–Nd-данных модельный возраст силикатного материала (T_{DM}) = 2,31–2,34 млрд лет, а ϵ_{Nd} = 4,9–5,0 (табл. 1). Это подтверждает, что источником обломочного материала для силикатных метаосадков служили раннепротерозойские магматические породы основного (базальтового) состава.

Отношения Mn/Sr (<0,2), Fe/Sr (<1,5) в карбонатной составляющей мраморов согласуются с таковыми для наименее перекристаллизованных осадочных карбонатных пород [8]. Предполагаемый изохимический характер метаморфизма позволяет использовать Sr-изотопную характеристику мраморов, метаморфизованных в условиях амфиболитовой фации, для оценки $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в среде отложения карбонатных осадков [9]. Сопоставление изотопной Sr-характеристики

мраморов (0,70322–0,70352) с вариациями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океанах архея и протерозоя показывает, что карбонатные отложения центральноприазовской серии могли образоваться в начале палеопротерозоя 2,3–2,5 или ~2,1 млрд лет назад (рис. 3).

В геологической летописи интервал 2,06–2,23 млрд лет назад совпадает с ломагунди-ятулийской эпохой, когда отлагались карбонатные осадки с аномально высокими значениями $\delta^{13}\text{C}$ выше +8‰, вплоть до +18‰ [6, 10, 11]. Однако имеющиеся сведения об изотопном составе углерода в карбонатных породах Приазовского блока показывают, что значение $\delta^{13}\text{C}$ в кальцитовых мраморах на правом берегу р. Берда от +1,4 до +4,0‰ [2]. Таким образом, карбонатные породы центральноприазовской серии

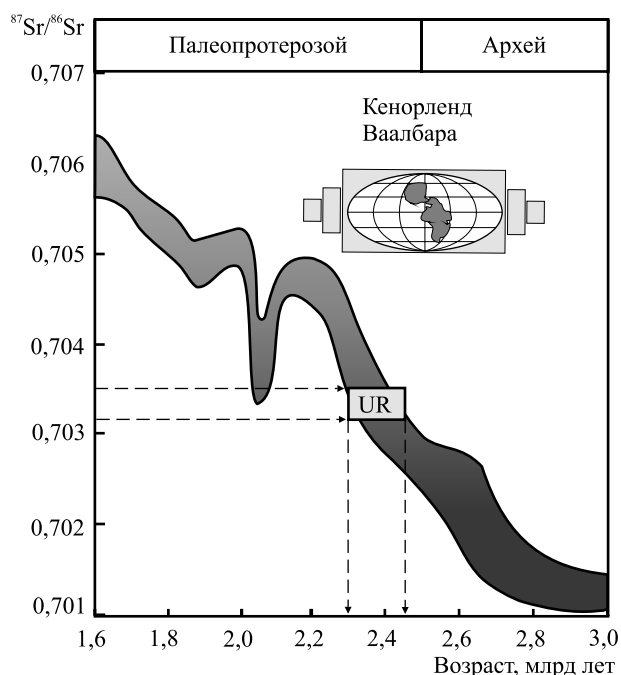


Рис. 3. Сравнение Sr-изотопной характеристики мраморов центральноприазовской серии с кривой вариаций $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в океане архея и палеопротерозоя [6, 8, 10, 11]. Хемостратиграфическая Sr-корреляция ограничивает один наиболее вероятный возрастостной интервал в раннем палеопротерозое 2,3–2,45 млрд лет.

Таблица 1. Изотопная Rb–Sr-систематика кальцитовых мраморов и изотопная Sm–Nd-систематика силикатных осадков центральноприазовской серии, Приазовский блок Украинского щита (с. Калайтановка)

Образец	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Mn, мкг/г	Fe, мкг/г
UR59/5-7	0,13	2490	0,0002	0,70352	110	2250
UR59/8-3	0,21	2860	0,0002	0,70322	160	3900
UR59/9-3	0,61	3010	0,0006	0,70334	110	1050
UR59/10	0,16	2340	0,0002	0,70351	90	2080
	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	T_{NdDM} , млрд лет
UR59/8-5	2,89	14,3	0,1219	0,51175	5,0	2,31
UR59/9-4	0,82	3,70	0,1342	0,51193	4,9	2,34

отлагались до начала лomagунди-ятулийской эпохи. Следовательно, они должны быть древнее 2,23 млрд лет.

В заключение следует отметить, что внедрение тронджемитов, прорывающих мрамора темрюкской свиты (2052 ± 5 млн лет назад), совпадает с этапом интрузивного магматизма, игравшего важную роль в формировании континентальной коры Сарматии 2,07–2,05 млрд лет назад [12, 13]. Полученные изотопные Rb–Sr-, Sm–Nd-данные для мраморов и силикатных минералов ограничивают время отложения карбонатных осадков центральноприазовской серии Украинского щита узким интервалом 2,23–2,34 млрд лет. Таким образом, эта серия относится к раннему палеопротерозою. Однако она не является стратиграфическим аналогом терригенно-вулканогенно-карбонатной последовательности ятулия Балтийского щита [6, 14]. Это согласуется с реконструкциями, показавшими, что континентальные блоки Сарматия и Фенноскандия в палеопротерозое были значительно удалены друг от друга [15]. Наличие железистых кварцитов в разрезах Украинского щита и возраст карбонатных осадков Приазовского блока указывают на близость Сарматии к кратонам Каапвааль, Пилбара, составлявших основу древнего суперкратона Ваалбара [13].

Благодарности. Авторы выражают благодарность Г.В. Артеменко, Н.А. Арестовой, В.В. Балаганскому, А.В. Юрченко за участие в полевых исследованиях.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 18–17–00247).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lobach-Zhuchenko S.B., Balagansky V.V., Baltybaev Sh.K., Bibikova E.V., Chekulaev V.P., Yurchenko A.V., Arestova N.A., Artemenko G.V., Egorova J.S., Bogomolov E.S., Sergeev S.A., Skublov S.G., Presnyakov S.L. // *Precambrian. Res.* 2014. V. 252. P. 71–87.
2. Загнитко В.Н., Луговая И.П. Изотопная геохимия карбонатных и железисто-кремнистых пород Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1989. 315 с.
3. Єсипчук К.Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М., Щербак М.П., Глевахський Є.Б., Скобелев В.М., Дранник А.С., Гейченко М.В. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита. Пояснювальна зап. Київ: УкрДГРІ, 2004. 29 с.
4. Бибикова Е.В., Лобач-Жученко С.Б., Артеменко Г.В., Клаэссон С., Коваленко А.В., Крылов И.Н. // *Петрология.* 2008. Т. 16. № 3. С. 227–247.
5. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Киев, 2008. 240 с.
6. Kuznetsov A.B., Melezhik V.A., Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Konstantinova G.V., Kutuyavin E.P., Turchenko T.L. // *Precamb. Res.* 2010. V. 182. № 4. P. 300–312.
7. Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. // *Литология и полез. ископаемые.* 2007. № 5. С. 536–551.
8. Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. // *Стратиграфия. Геол. корреляция.* 2018. Т. 26. № 4. С. 3–25.
9. Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Ножкин А.Д., Азимов П.Я., Каурова О.К. // *Стратиграфия. Геол. корреляция.* 2016. Т. 24. № 1. С. 3–22.
10. Bekker A., Kaufman A.J., Karhu J.A., Beukes N.J., Swart Q.D., Coetzee L.L., Eriksson K.A. // *Amer. J. Sci.* 2001. V. 301. P. 261–285.
11. Melezhik V.A., Fallick A.E., Kuznetsov A.B. // *Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sci.* 2004. V. 95. № 3/4. P. 423–444.
12. Чернышов Н.М., Додин Д.А. // *Геология и геофизика.* 1995. Т. 36. № 1. С. 65–70.
13. Савко К.А., Самсонов А.В., Холин В.М., Базиков Н.С. // *Стратиграфия. Геол. корреляция.* 2017. Т. 25. № 2. С. 3–26.
14. Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Мележик В.А., Горохов И.М., Васильева И.М., Гороховский Б.М. // *Стратиграфия. Геол. корреляция.* 2007. Т. 15. № 4. С. 20–33.
15. de Kock M.O., Evans D.A.D., Beukes N.J. // *Precamb. Res.* 2009. V. 174. P. 145–154.

PALEOPROTEROZOIC AGE OF CARBONATES AND TRONDHJEMITES OF THE CENTRAL AZOV GROUP: Sr-ISOTOPE CHEMOSTRATIGRAPHY AND U–Pb GEOCHRONOLOGY

Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov, S. B. Lobach-Zhuchenko,
T. V. Kaulina, G. V. Konstantinova

Received June 4, 2018

The Sr-isotope composition of the Central Azov Group carbonates (0.70322–0.70352) and Nd model age of silicate sediments (2.34–2.31 Ga) has been reported. The U–Pb age of trondhjemite (2052±5 Ma) cutting the carbonates has been determined. According to the obtained data, the marine sedimentary cover of the Azov block making up the Early Precambrian Sarmatia Continent emplaced in the Early Paleoproterozoic at 2.23–2.34 Ga.

Keywords: Ukrainian Shield, Paleoproterozoic, Central Azov Group, Sr-isotope stratigraphy, U–Pb geochronology.