

УДК 551.24(571.51)+ 552.51+550.93

**ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗОТОПНЫХ U/Pb-ВОЗРАСТАХ
И Lu/Hf-ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СИСТЕМАТИКЕ
ДЕТРИТНЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ЛОПАТИНСКОЙ СВИТЫ
(ПОГРАНИЧНЫЕ УРОВНИ ВЕНДА–КЕМБРИЯ)
И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЙСКО-ЧАПСКОГО ПРОГИБА
(СВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА)**

© 2018 г. Н. Б. Кузнецов^{1,2,*}, Н. С. Прияткина³, С. В. Рудько¹,
А. В. Шацлло⁴, В. Дж. Коллинз³, Т. В. Романюк^{2,4,**}

Представлено академиком РАН М.А. Федонкиным 15.09.2015 г.

Поступило 18.09.2015 г.

Приведены первые результаты изотопного U/Pb-датирования 100 детритных цирконов и выборочно изотопной Lu/Hf-системы 43 зёрен из песчаников лопатинской свиты (нижний стратиграфический уровень чингасанской серии). Получены возрасты от 896 ± 51 до 2925 ± 38 млн лет с ярким максимумом на кривой плотности вероятности ~ 1890 млн лет и оценки ϵ_{Hf} от +8,4 до -15,1. Это позволяет поставить под сомнение представления о молассовой природе отложений лопатинской свиты.

DOI: 10.7868/S0869565218010127

Лопатинская свита сложена красноцветными песчаниками с горизонтами гравелитов и алевролитов. Она распространена в бассейнах р. Тея, Чапа (СВ Енисейского кряжа) и представляет собой нижний стратиграфический элемент (450–1100 м [13]) чингасанской серии, которая со структурным несогласием налегает на более древние рифейские метаморфизованные образования (рис. 1, а, б). Чингасанскую серию было принято сопоставлять с верхами верхнего рифея [1, 13] и считать молассой [6], заполнявшей Тейско-Чапский прогиб, – один из троговых прогибов [13], которые начали формироваться в западном обрамлении Сибирской платформы (СП) после завершения там во второй половине неопротерозоя коллизионно-аккреционных событий.

Стратотипы свит, слагающих чингасанскую серию, описаны по р. Тея (лопатинская, карьерная)

и р. Чапа (чивидинская). До настоящего времени для всех этих свит отсутствовали какие-либо возрастные определения. Наиболее обоснованные представления о возрасте чингасанской серии базируются на хемотратиграфических данных по разрезам на р. Чапа [2] и на корреляции тиллитов, участвующих в строении разреза чивидинской свиты на р. Чапа, с распространённой в более западных районах северной части Енисейского кряжа (бассейн р. Вороговка) толщей конгломератов и базальтоидов (трахитов) с возрастом, определённым Ar/Ar-методом 703 ± 4 млн лет [1].

Полученные нами новые данные ставят под сомнение представления о возрасте лопатинской свиты (а следовательно, и всей чингасанской серии) и о её молассовой природе.

В стратотипическом разрезе лопатинской свиты нами найдены обильные арумбериоморфные отпечатки [5], характерные для верхов верхнего венда (верхов эдиакария) и нижнего кембрия [10]. По характеру магнитной записи лопатинская свита близка к стратиграфическим аналогам части разреза котлинского горизонта и низов лонтоваского горизонта Восточно-Европейской платформы [5], т.е. время её накопления может быть ограничено концом венда – началом кембрия (≤ 555 –540 млн лет).

Имея в виду, что “молассы представляют собой продукт размыва растущих горных поднятий ...” [7, с. 147], следовало бы ожидать, что лопатинская

¹ Геологический институт Российской Академии наук, Москва

² Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва

³ University of Newcastle, Australia

⁴ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва

*E-mail: t.romanyuk@mail.ru

**E-mail: kouznikbor@mail.ru

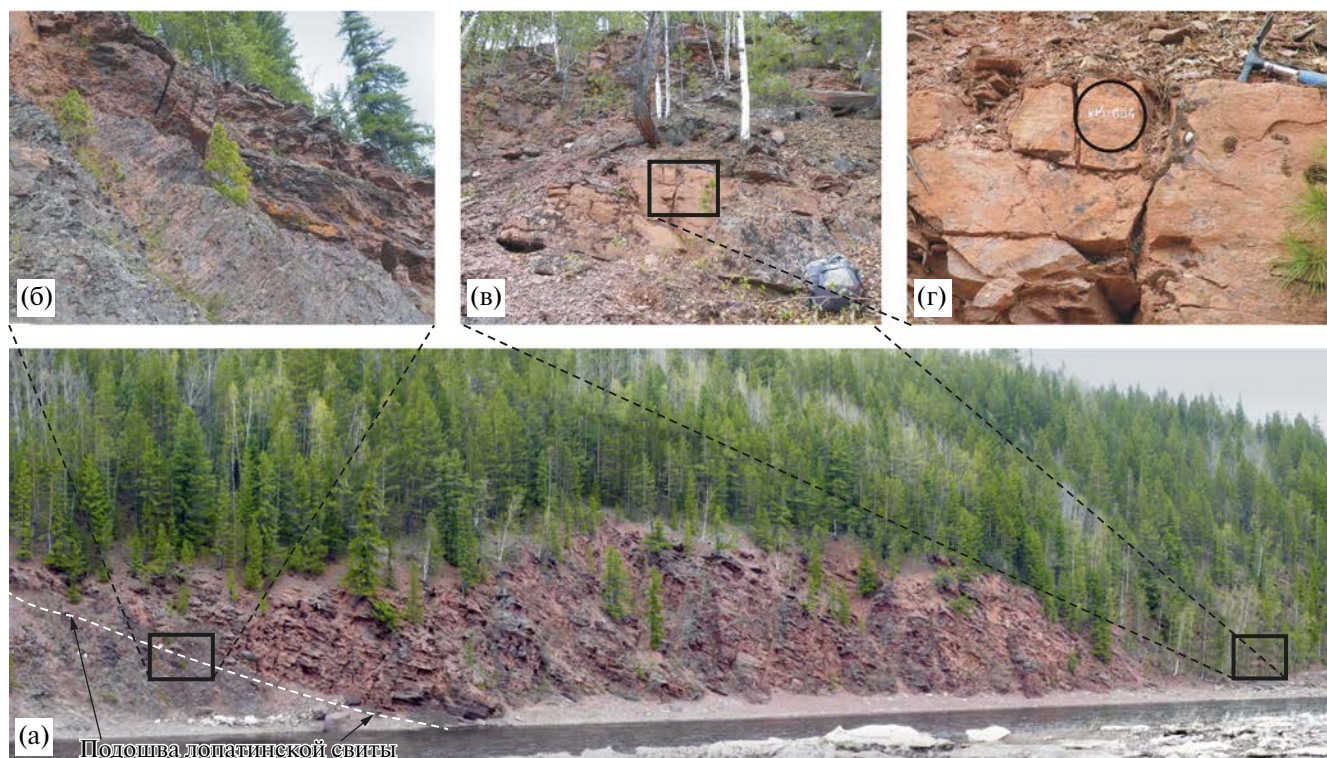


Рис. 1. а – общий вид стратотипического разреза лопатинской свиты. Белая пунктирная линия – подошва свиты, несогласно налегающая на более древние рифейские образования. б – характер соотношения лопатинской свиты (вверху) и подстилающих образований (внизу). в, г – положение места отбора пробы К14-004.

свита сложена продуктами эрозии орогена, существовавшего на юго-западе СП во время накопления этой свиты. Таким орогеном могло бы быть горное сооружение, реликты которого в настоящее время слагают западные зоны Енисейского кряжа. Эти тектонические зоны интерпретируются как террейны, которые были аккретированы к западной окраине СП 620–600 млн лет назад [15]. В составе орогена участвовали неопротерозойские магматические комплексы, в том числе предивинские риолиты ($637 \pm 5,7$ млн лет), диорит-плагииграниты Ягуновского (628 ± 3 млн лет), Порожнинского (697 ± 4 млн лет) массивов и многочисленные гранитоиды с возрастaми 880–860; 760–720 млн лет [15].

Из разреза лопатинской свиты (в 50 м от подошвы) в точке $60^{\circ}20,362' \text{с.ш.}, 92^{\circ}34,981' \text{в.д.}$ была отобрана проба К14-004 желтовато-розовых кварцевых песчаников $\sim 1,5$ кг (рис. 1, в, г). Выделение детритных цирконов (dZr) выполнено в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург), дальнейшая подготовка и изотопное U/Pb-датирование (LA ICP-MS) – в Университете Ньюкасла (Австралия).

Выделенные из песчаников лопатинской свиты dZr от 40 до >150 мкм и высокой степени окатанности. Анализ катодолуминесцентных снимков dZr показал, что $\sim 70\%$ цирконов характеризуются зональной внутренней структурой. Всего из выде-

ленного объёма цирконов датировано 100 зёрен с возрастaми от 896 ± 51 до 2925 ± 38 млн лет, причём все анализы имеют дискордантность $< \pm 10\%$ (рис. 2а). Максимум на кривой плотности вероятности – 1890 млн лет попадает во временной интервал кратонизации СП, когда блоки архейской коры были спаяны коллизионными орогенами (Ангарский, Котуйканский, Хапчанский, Аkitканский, зоны палеопротерозойской мобилизации в составе Алдан-Станового щита) на этапе 1,7–2,0 млрд лет [4], соответствующем времени формирования палеопротерозойского суперконтинента Колумбия (Нуна) ([11] и ссылки в ней). Распределение возрастaов dZr в пробе из лопатинской свиты в целом весьма сходно с таковым для карьерной и чивидинской свит чингасанской серии, изученных нами [3]. Наличие среди dZr из песчаников чингасанской серии зёрен с возрастaми только древнее $\sim 0,9$ млрд лет указывает на отсутствие продуктов эрозии позднепротерозойских (позднерифейских, ранневендских) кристаллических комплексов, распространённых сейчас на западе Енисейского кряжа.

В дополнение к проведённому изотопному U/Pb-датированию 100 dZr из песчаников лопатинской свиты выборочно для 43 зёрен в аналитическом центре Университета Джеймса Кука

(Таунсвилл, Австралия) было проведено изучение изотопной Lu/Hf-системы. Для вычислений ϵ_{Hf} использованы хондритовые отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,282785$, $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,0336$ [8]. В расчётах использовали период полураспада $^{176}\text{Lu} = 1,867 \times 10^{11} \text{ год}^{-1}$ [14]. Положительные значения ϵ_{Hf} в dZr (положение фигуративных точек на рис. 2б, между линиями CHUR ($\epsilon_{\text{Hf}} = 0$) и DM) указывают на то, что материнскими по отношению к этим dZr были магматические породы “мантийного” происхождения. Отрицательные величины ϵ_{Hf} указывают на участие древнего корового материала в субстрате, при плавлении которого сформировались магмы материнских по отношению к dZr пород.

Для каждого циркона, в котором была изучена изотопная Lu/Hf-система, с учётом его U/Pb-воз-

раста были вычислены $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}_{\text{initial}}$ и, исходя из $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$ (соответствует уклону линий изотопной эволюции для средней континентальной коры), определены модельные возрасты материнского расплава (T_{DM}^{C}).

Наличие dZr с возрастом 1,7–2,0 млрд лет и низкими отрицательными значениями ϵ_{Hf} вплоть до $-15,1$ ($T_{\text{DM}}^{\text{C}} > 2,5$ млрд лет) свидетельствует об участии древнего изотопно-зрелого корового материала в строении субстрата материнских по отношению к dZr магматических пород. В целом же для dZr с возрастом 1,8–1,9 млрд лет из песчаников лопатинской свиты характерен широкий ряд значений ϵ_{Hf} (рис. 2б) от существенно положительных, соответствующих материалу деплетированной мантии, до сильно отрицательных, соответствующих древнему коровому

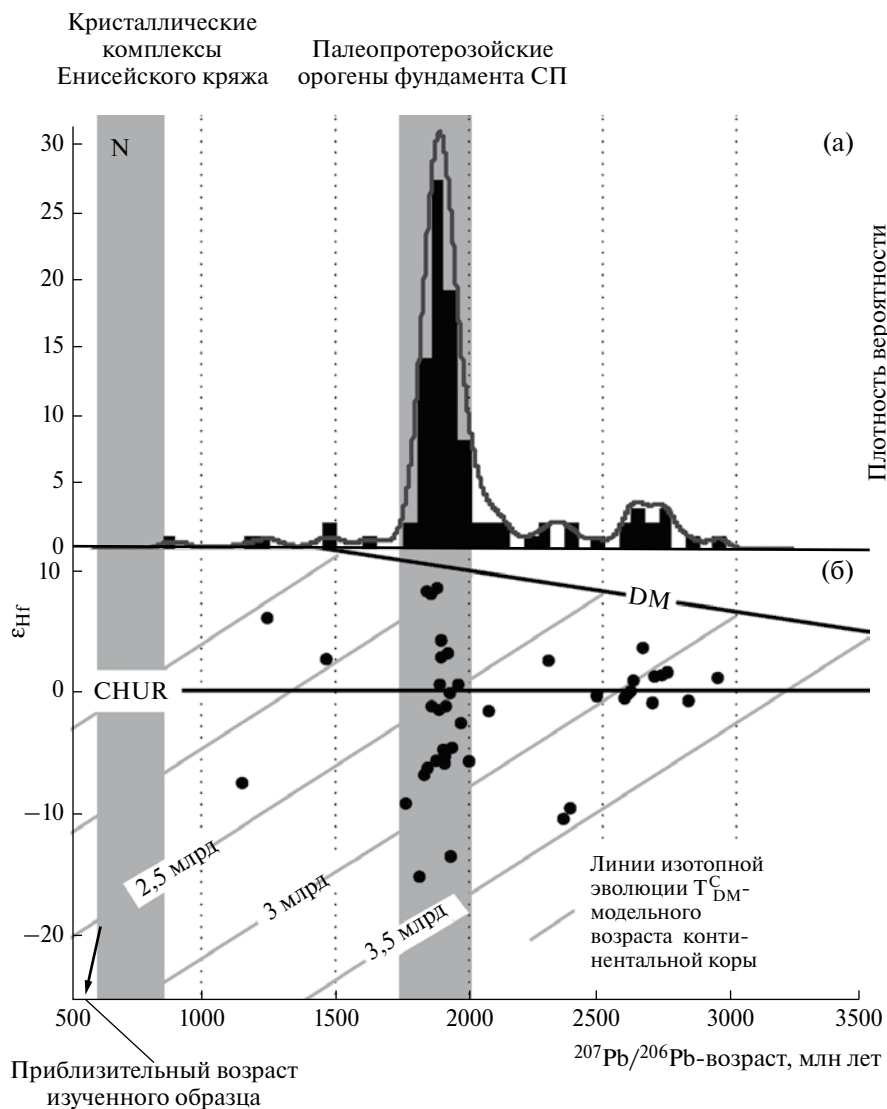


Рис 2. Гистограмма и кривая плотности вероятности (а) и диаграмма, иллюстрирующая зависимость ϵ_{Hf} vs U/Pb-возраста (б) для детритных цирконов из песчаников лопатинской свиты (СВ Енисейского края).

материалу. Такие распределения значений ϵ_{Hf} обычны для гранитоидов I-, S-типа и свидетельствуют о формировании магматических пород питающей провинции в результате смешения ювенильных расплавов и продуктов плавления зрелого корового материала в ходе подъёма и дифференциации базальтовой магмы [9]. Детритные цирконы с возрастом 1,7–1,8 млрд лет характеризуются значениями ϵ_{Hf} от -5 до -15 и архейскими значениями модельных возрастов субстрата (T_{DM}^{C}). Это указывает на формирование пород, материнских для dZr, исключительно в ходе переработки архейской коры. Таким образом, вся палеопротерозойская популяция dZr из песчаников лопатинской свиты образовалась преимущественно из продуктов разрушения палеопротерозойских орогенов и, наиболее вероятно, – из перечисленных выше коллизионных орогенов, реликты которых спаивают в фундаменте СП древние архейские коровые блоки.

Со времени палеопротерозойской кратонизации СП до времени накопления лопатинской свиты прошло $\sim 1,3$ млрд лет. За это время распалась Колумбия, собралась и распалась Родиния, СП прошла через несколько оледенений, на её окраинах протекали аккреционно-коллизионные события и процессы. Однако проведённое нами исследование показало, что в лопатинской свите доминируют продукты разрушения палеопротерозойских орогенов, а более молодые магматические события представлены лишь единичными мезопротерозойскими зёрнами. При этом зёрна с позднепротерозойскими возрастными не установлены. Это свидетельствует о формировании чингасанской серии за счёт продуктов разрушения древнего фундамента СП и не подтверждает представления о молассовой природе отложений, выполняющих Тейско-Чапский прогиб. Материал, содержащий древние цирконы, мог поступить в поздневендский–раннекембрийский Тейско-Чапский бассейн как непосредственно с фундамента СП, так, например, и при рециклинге подстилающих лопатинскую свиту отложений сухопитской серии, которая рассматривается в качестве одного из элементов строения пассивной окраины СП [12].

Таким образом, в совокупности все перечисленные данные ставят под вопрос представления о молассовой природе отложений, выполняющих Тейско-Чапский прогиб.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12–05–00403, 13–05–12030, 15–35–21059) и Минобрнауки РФ – договор № 14.Z50.31.0017 (ИФЗ РАН) и грант 2330 (РГУ им. И.М. Губкина), а также проекта СПбГУ № 3.38.137.2014 и ARC DP 120104004. Обработка

аналитических данных и подготовка публикации проведена при поддержке РФФ (грант 14–27–00058, ГИН РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ножкин А.Д., Постников А.А., Наговицин К.Е., Травин А.В., Станевич А.М., Юдин Д.С. Чингасанская серия неопротерозоя Енисейского кряжа: новые данные о возрасте и условиях формирования // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 12. С. 1307–1320.
2. Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Кокин О.В. Геохимия изотопов С, О, SR и хемотратиграфия неопротерозойских отложений севера Енисейского кряжа // Литология и полез. ископаемые. 2012. № 2. С. 197–220.
3. Прияткина Н.С., Худoley А.К., Кузнецов Н.Б., Коллинз В. Дж., Шаццло А.В., Павлов В.Э. Первые результаты датирования обломочных цирконов из отложений чингасанской и чапской серий Тейско-Чапского прогиба (Енисейский кряж). В сб.: Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. М.: Геос, 2015. Т. 2. С. 57–62.
4. Розен О.М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3–21.
5. Шаццло А.В., Кузнецов Н.Б., Павлов В.Э., Федонкин М.А., Прияткина Н.С., Серов С.Г., Рудько С.В. Первые магнитостратиграфические данные о стратотипе верхнепротерозойской лопатинской свиты (северо-восток Енисейского кряжа): проблемы её возраста и палеогеографии Сибирской платформы на рубеже протерозоя и фанерозоя // ДАН. 2015. Т. 465. № 4. С. 464–468.
6. Хераскова Т.Н., Каплан С.А., Галуев В.И. Строение Сибирской платформы и её западной окраины в рифее–раннем палеозое // Геотектоника. 2009. № 2. С. 37–56.
7. Цейслер В.М. Формационный анализ. М.: Изд-во РУДН, 2002. 186 с.
8. Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J. The Lu–Hf and Sm–Nd isotopic composition of CHUR: Constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets // Earth and Planet. Sci. Lett. 2008. V. 273. № 1/2. P. 48–57.
9. Kemp A.I.S., Hawkesworth C.J., Foster G.L., Pater-son B.A., Woodhead J.D., Hergt J.M., Gray C.M., Whitehouse M.J. Magmatic and Crustal Differentiation History of Granitic Rocks from Hf–O Isotopes in Zircon // Science. 2007. V. 315. № 5814. P. 980–983.
10. Kumar S., Pandey S.K. Note on the Occurrence of *Arumberia Banksi* and associated fossils from the Jodhpur Sandstones, Marwar Supergroup, Western

- Rajasthan // *J. Palaeontol. Soc. India*. 2009. V. 54. № 2. P. 171–178.
11. *Meert J.D.* What's in a Name? The Columbia (Paleopangaea/Nuna) Supercontinent // *Gondwana Res.* 2012. V. 21. № 4. P. 987–993.
 12. *Pisarevsky S.A., Natapov L.M.* Siberia and Rodinia // *Tectonophysics*. 2003. V. 375. P. 221–245.
 13. *Sovetov J.K., Kulikova A.E., Medvedev M.N.* Sedimentary Basins in the Southwestern Siberian craton: Late Neoproterozoic-Early Cambrian rifting and Collisional Events. In: *The Evolution of the Rheic Ocean: from Avalonian-Cadomian Active Margin to Alleghanian-Variscan Collision* // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 2007. V. 423. P. 549–578.
 14. *Söderlund U., Patchett P.J., Vervoort J.D., Isachsen C.E.* The ^{176}Lu Decay Constant Determined by Lu–Hf and U–Pb Isotope Systematics of Precambrian Mafic Intrusions // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 219. № 3/4. P. 311–324.
 15. *Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A.E., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Kovach V.P.* Neoproterozoic Accretionary and Collisional Events on the Western Margin of the Siberian Craton: New Geological and Geochronological Evidence from the Yenisey Ridge // *Tectonophysics*. 2003. V. 375. P. 147–168.