

УДК 550.42: 550.93: 552.321

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ НЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ВУЛКАНИТОВ ИСАКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА САЯНО-ЕНИСЕЙСКОГО АККРЕЦИОННОГО ПОЯСА (U–Pb, ПО ЦИРКОНУ)

П. С. Козлов<sup>1</sup>, И. И. Лиханов<sup>2,\*</sup>, К. С. Иванов<sup>1</sup>, А. Д. Ножкин<sup>2</sup>, С. В. Зиновьев<sup>2,3</sup>

Представлено академиком РАН В.А. Коротеевым 12.10.2016 г.

Поступило 25.10.2016 г.

Впервые установлен поздненеопротерозойский U–Pb-возраст по циркону островодужных метадацитов ( $691 \pm 8,8$  млн лет) и базальтов ( $572 \pm 6,5$  млн лет) киселихинской свиты кутукасской серии. Проявление базальтового вулканизма связывается с рифтогенными процессами. Исследования уточняют Легенду стратиграфии позднего докембрия Енисейского кряжа и особенности эволюции Саяно-Енисейского аккреционного пояса на неопротерозойском этапе его истории. Складчато-надвиговые структуры зоны сочленения Енисейского кряжа с Западно-Сибирской плитой могут быть благоприятны в отношении поиска нетрадиционных ловушек нефти и газа.

*Ключевые слова:* геохимия, метадацит, базальт, U–Pb-датирование, кутукасская серия, Енисейский кряж, Палеоазиатский океан.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488521-525>

Исаковский террейн (ИТ) расположен на северо-западе Енисейского кряжа. Интерес к этой части региона связан с историей геологического развития Палеоазиатского океана и тектоно-метаморфической эволюции в зоне перехода палеоокеан–континент. Исаковский террейн представлен тектонизированными фрагментами офиолитов и островодужных комплексов [1, 2, 3]. Около 600–620 млн лет назад [4] в результате аккреционно-коллизийных событий они были причленены к Сибирскому континенту, что привело к формированию протяжённого Саяно-Енисейского пояса и дальнейшему наращиванию континентальной коры кратона [5]. Одна из причин неоднозначной трактовки докембрийской истории в северном секторе Саяно-Енисейского пояса определяется почти полным отсутствием прецизионных изотопных датировок вулканитов.

Исследования проведены в СЗ-части Енисейского кряжа на западной окраине ИТ (рис. 1, врезка), где развиты слабометаморфизованные метаосадочно-вулканогенные отравихинская и киселихинская свиты кутукасской серии, ранее относи-

мые к мезопротерозою [6, 7]. Они пронизаны протрузиями серпентинизированных ультрабазитов сурнихинского комплекса с трактовкой возраста от мезопротерозоя [6] до позднего неопротерозоя (682 млн лет) [2]. Интрузивные образования представлены Порожнинскими плагиогранит-порфирами островодужной природы с U–Pb-возрастом по циркону 697 млн лет [1] и постколлизийными лейкогранитами Осиновского массива (550–540 млн лет, циркон, SHRIMP-II) [8]. Исаковский террейн имеет с окраиной кратона тектонические контакты предположительно надвиговой и надвиго-поддвиговой природы [1, 2, 8, 9]. Его западный контакт скрыт под осадочным чехлом Западно-Сибирской плиты. Абсолютный возраст вулканических пород отравихинской и киселихинской свит ИТ не был определён и предполагался как ранний мезопротерозой [6, 7].

Исследованы пробы метадацитов метариолит-андезит-базальтовой ассоциации и миндалекаменных базальтов в правобережье р. Енисей (рис. 1). Метадациты (обр. 15–07) слагают тонко переслаивающиеся пласты массивного и сланцеватого сложения, отличающиеся вариациями минерального состава. Представлены они микрогранобластовым агрегатом кварца (60–70%), деформированными фенокристаллами альбит-олигоклаза (до 2 мм) (10–15%), а также мусковитом, биотитом и хлоритом (до 20%). Аксессуары представлены цирконом, реже апатитом.

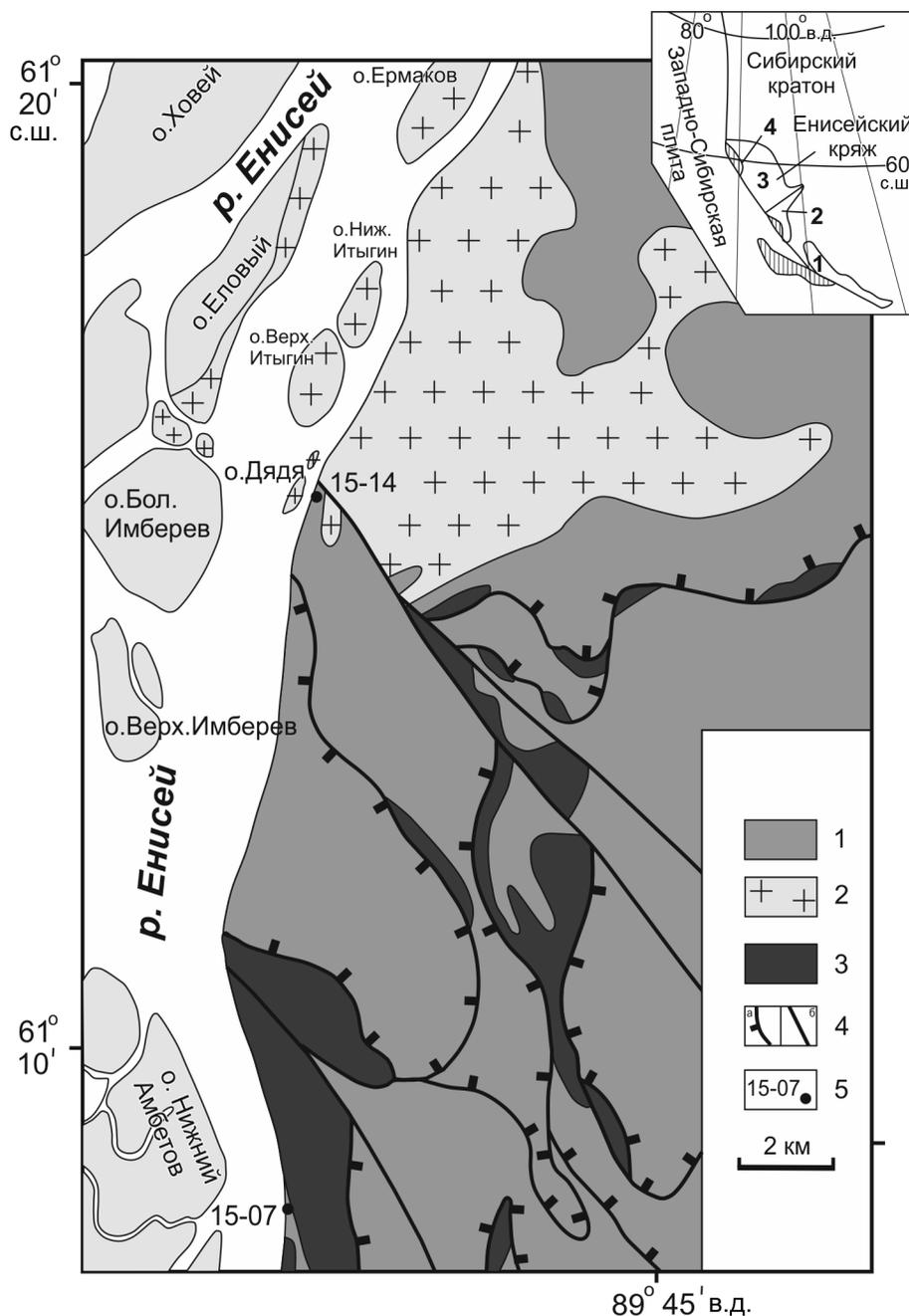
Базальты миндалекаменные (обр. 15–14) обнаружены в толще аповулканогенных плагиоклаз-мусковит-биотитовых сланцев и известковистых пес-

<sup>1</sup> Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск

<sup>3</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

\*E-mail: [likh@igm.nsc.ru](mailto:likh@igm.nsc.ru)



**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта района исследований (по данным [8, 9] с дополнениями авторов). На врезке: **1** – Присяянский, **2** – Ангаро-Канский выступы фундамента юго-западной окраины Сибирского кратона; **3** – протерозойская окраинно-континентальная область Енисейского кряжа; заштриховано – офиолиты и островодужные комплексы аккреционного пояса (Исаковский террейн – **4**). **1** – вулканиты метариолит-андезит-базальтовой ассоциации, филлиты, метапесчаники и туфопесчаники, известняки (усть-кутукасская, отравихинская, киселихинская свиты нерасчленённые); **2** – лейкограниты субщелочные, граниты биотитовые Осиновского массива; **3** – серпентиниты аподунитовые, апогарцбургитовые; **4** – разрывные нарушения: наклонные (а), субвертикальные (б); **5** – точки отбора проб.

чаников в виде небольшого (1,5–2 м) тела линзовидной формы. С периферии тело базальтов рассланцовано и слабо изменено. Центральная часть тела, из которой отобрана проба 15–14, представлена неизменёнными массивными породами с миндале-

каменной текстурой и редкими фенокристаллами (до 5–7 мм) пелитизированного андезина. По периферии миндалины сложены рудным минералом и хлоритом, а в центре – халцедоном и карбонатом. Основная ткань базальта сложена зеленовато-бурой

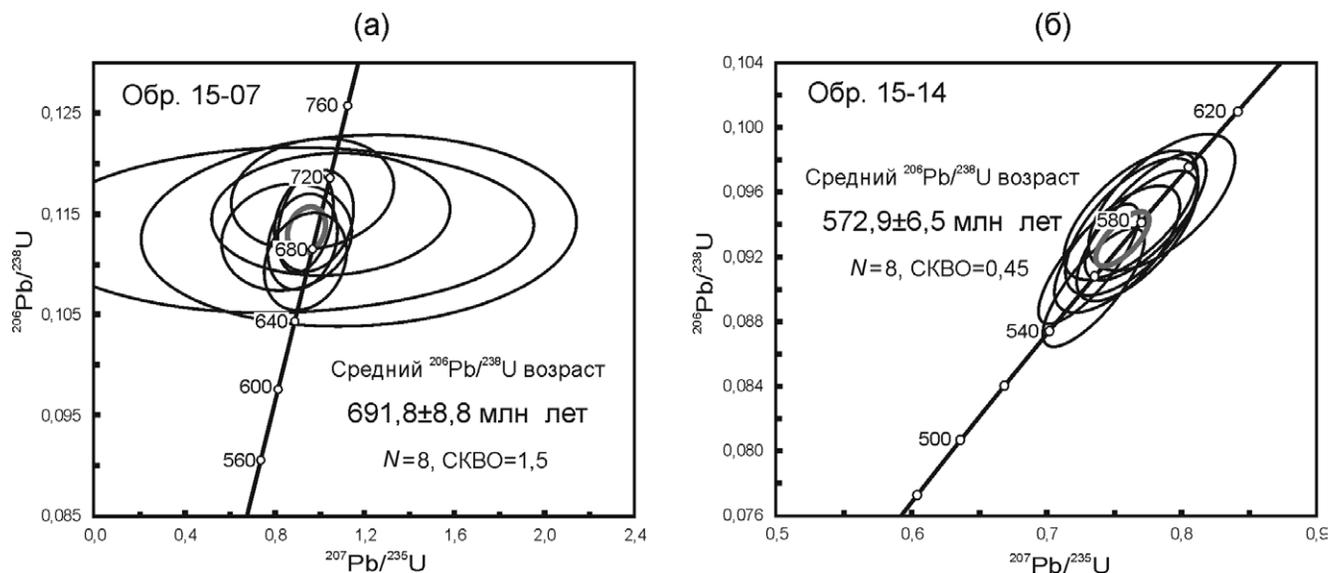


Рис. 2. Диаграммы с конкордией для цирконов (а) из кислых (обр. 15–07) и (б) основных (обр. 15–14) вулканитов киселихинской свиты.

массой не разложившегося изотропного вулканического стекла (60–70%) с примесью хлорита (10–15%), карбоната (4%) и микролейстами вторичного альбита (15–20%).

Проанализированный метадацит (обр. 15–07) характеризуется следующим химическим составом (вес, %):  $\text{SiO}_2$  72,5;  $\text{TiO}_2$  0,33;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,92;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2,31;  $\text{MnO}$  0,02;  $\text{MgO}$  1,18;  $\text{CaO}$  0,51;  $\text{Na}_2\text{O}$  3,90;  $\text{K}_2\text{O}$  3,65;  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,09; ППП 1,48. По петрохимическому составу метадациты соответствуют пералюминиевым ( $\text{ASI} = 1,23$ ) натрий-калиевым ( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} = 7,55$  мас.% при  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,9$ ) магнезиальным ( $f = (\text{FeO} + 0,9 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + 0,9 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) = 0,62$ ) гранитоидам щелочно-известковой серии. Совокупности распределения REE для метадацитов, нормированные к составу хондрита, характеризуются ясно выраженной европиевой аномалией ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,45$ ) и повышенными величинами отношений:  $(\text{La}/\text{Yb})_n = 10,5$  и  $(\text{LREE}/\text{HREE}) = 10,7$ . По содержанию большинства химических элементов они сопоставимы с низкощелочными плагиогранит-порфирами Порожнинского массива островодужной природы [1]. Существенные различия петрогеохимического состава наблюдаются при их сравнении с субщелочными лейкократовыми Na–K-постколлизийными гранитами Осиновского массива, источником расплава которых являлась высокодифференцированная континентальная кора западной окраины Сибирского кратона [8]. Для метадацитов характерны гораздо более низкие концентрации радиоактивных (U, Th и K) и редкоземельных элементов (сумма REE = 130 ppm против

200–216 ppm в гранитах). На дискриминационной диаграмме Rb–Hf–Ta эти отличия определяются локализацией фигуративных точек метадацитов в поле островодужных гранитов, а лейкогранитов – в поле постколлизийных гранитов.

Базальты (обр. 15–14) характеризуются умеренными содержаниями суммы щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 3,3$  мас.%), со значительным преобладанием  $\text{Na}_2\text{O}$  над  $\text{K}_2\text{O}$ , и содержаниями  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (9,79 мас.%),  $\text{MgO}$  (5,41 мас.%),  $\text{TiO}_2$  (1,53 мас.%) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,31 мас.%). Их спектры REE обогащены лёгкими лантаноидами:  $(\text{La}/\text{Yb})_n = 4,9$  с суммой REE = 105 ppm по сравнению с базальтами океанического дна N- и E-типа. Для них также характерны повышенные концентрации крупноионных литофильных (Rb, Ba, K), радиоактивных (Th, U) и высокозарядных (Nb, Ta, Zr, Hf) элементов относительно N-MORB и E-MORB. В целом же они имеют хорошо фракционированные мультиэлементные распределения, расположенные вблизи области спектров базальтов океанических островов или внутриплитных базальтов, характерных для рифтогенных структур. По ряду петро- и геохимических параметров эти породы чётко различаются с метабазами Рыбинско-Панимбинского вулканического пояса в Заанагарье и Исаковского террейна [1, 10, 11]. Эти данные совместно с установленным большим разрывом во времени (~120 млн лет) с образованием островодужных вулканитов и базальтов, а также свежим практически не затронутым метаморфизмом обликом пород могут указывать на связь изученных миндалекаменных базальтов

с постааккреционной стадией растяжения коры или с рифтогенезом.

U–Pb-датирование цирконов из проб 15–07 (метадацитов) и 15–14 (базальтов) выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II (ЦИИ ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) по методике, приведённой в [12]. Цирконы характеризуются длинно- и короткопризматическим габитусом с тонким секториальным строением и нормальными Th/U-отношениями <1, что свидетельствует в пользу магматической природы циркона. Фигуративные точки девяти центральных и краевых частей зёрен цирконов из обр. 15–07 определяют значение возраста  $691,8 \pm 8,8$  млн лет (рис. 2а). Результаты U–Pb-датирования метадацитов в пределах погрешности метода близки датировкам цирконов из островодужных плагиогранитов Порожнинского массива ( $697,2 \pm 3,6$  млн лет) [1] и цирконов из метаморфизованных габбро Борисихинского офиолитового массива ( $682 \pm 13$  млн лет) [2], расположенных в составе Исаковского террейна.

Фигуративные точки 8 зёрен цирконов из обр. 15–14 дают среднее значение возраста  $572,9 \pm 6,5$  млн лет (рис. 2б), отвечающее времени магматической кристаллизации базальтов. Эти события имели несколько более древний возраст по сравнению с поздневендскими датировками постколлизии гранитоидов Осиновского массива (540–550 млн лет), размещённого в пределах Исаковского террейна [8] и гранитоидов Верхнеканского массива ( $555 \pm 5$  млн лет) [5], расположенных в Канском блоке на юго-востоке Саяно-Енисейского аккреционного пояса. В последовательности геологических событий Енисейского кряжа изученные проявления основного магматизма следуют непосредственно за этапом вендских деформационно-метаморфических событий (~600–620 млн лет), которые маркируют завершающую стадию неопротерозойской истории региона и связаны с интенсивной тектонической переработкой пород шовной зоны после проявления аккреционно-субдукционных процессов в регионе [13].

Полученные результаты по изотопно-геохронологическим и петрохимическим особенностям вулканитов ИТ позволяют сформулировать следующие выводы. Впервые установлен позднепротерозойский U–Pb-возраст по циркону метадацитов островодужной природы ( $691 \pm 8,8$  млн лет) и миндалека-

менных базальтов ( $572 \pm 6,5$  млн лет), что позволяет уточнить легенду и стратиграфическую схему [6, 7] Енисейской серии и эволюцию Саяно-Енисейского аккреционного пояса на заключительном этапе неопротерозойской истории Енисейского кряжа. Проявление базальтового вулканизма связывается с рифтогенными процессами.

Позднепротерозойские рубежи тектоно-метаморфической эволюции ИТ сопоставляются с заключительной фазой распада Родинии, отчленением Сибирского кратона и раскрытием Палеоазиатского океана [14]. Изученные неопротерозойские вулканогенные образования входят в состав складчато-надвиговых структур зоны сочленения Енисейского кряжа с Западно-Сибирской плитой. Предполагается, что эти структуры могут быть благоприятны в отношении поиска нетрадиционных ловушек нефти и газа [15].

**Источник финансирования.** Исследования выполнены по госзаданию ИГМ СО РАН при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18–05–00152 и РНФ № 16–17–10201.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верниковский В.А., Верниковская А.Е., Черных А.И. и др. // ДАН. 2001. Т. 381. № 6. С. 806–810.
2. Кузьмичёв А.Б., Падерин И.П., Антонов А.В. // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 12. С. 1175–1188.
3. Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Козлов П.С., Зинovieв С.В. // ДАН. 2013. Т. 450. № 6. С. 685–690.
4. Лиханов И.И., Ревердатто В.В., Ножкин А.Д., Зинovieв С.В. // ДАН. 2013. Т. 450. № 2. С. 199–203.
5. Ножкин А.Д., Туркина О.М., Дмитриева Н.В., Лиханов И.И. // ДАН. 2015. Т. 461. № 5. С. 575–578.
6. Легенда Енисейской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе издание) / Ред. Л.К. Качевский // Красноярск: Красноярскгеология, 1998.
7. Качевский Л.К. Геологическая карта Енисейского кряжа масштаба 1:1 000 000. Красноярск: ФГУГУ «Красноярскгеолсъемка», 2006.
8. Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Савко К.А. // Геотектоника. 2018. Т. 52. № 1. С. 28–51.
9. Лиханов И.И., Ножкин А.Д., Ревердатто В.В., Козлов П.С. // Геотектоника. 2014. Т. 48. № 5. С. 32–53.
10. Лиханов И.И., Ревердатто В.В. // Геохимия. 2015. Т. 53. № 8. С. 675–694.
11. Лиханов И.И., Ревердатто В.В. // Геохимия. 2016. Т. 54. № 2. С. 143–164.

12. Лиханов И.И., Ревердатто В.В. // Геохимия. 2014. Т. 52. № 1. С. 3–25.
13. Likhanov I.I., Reverdatto V.V., Kozlov P.S., Khiller V.V., Sukhorukov V.P. // J. Asian Earth Sciences. V. 113. P. 391–410.
14. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др.// ДАН. 2006. Т. 410. № 5. С. 657–663.
15. Старосельцев В.С., Мигурский А.В., Старосельцев К.В. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. С. 76–85.

**NEW DATA ON AGE OF THE NEOPROTEROZOIC VOLCANIC ROCKS OF ISAKOVKA TERRAIN FROM THE SAYAN-YENISEI ACCRETION BELT (U–Pb, ZIRCON)**

**P. S. Kozlov<sup>1</sup>, I. I. Likhanov<sup>2</sup>, K. S. Ivanov<sup>1</sup>, A. D. Nozhkin<sup>2</sup>, S. V. Zinoviev<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS V.A. Koroteyev October 12, 2016

Received October 25, 2016

The Late Neoproterozoic U–Pb age for zircon of island-arc metadacites ( $691 \pm 8.8$  million years) and basalts ( $572 \pm 6.5$  million years) of the Kiselikhinskaya Formation of the Kutukasskaya Group was established for the first time. The manifestation of basaltic volcanism is associated with rift-related processes. The studies clarify the Late Precambrian stratigraphy of the Yenisei Ridge and the features of the evolution of the Sayan-Yenisei accretionary belt at the Neoproterozoic stage of its history. Folded-thrust structures of the junction zone of the Yenisei Ridge with the West Siberian Plate may be favorable in relation to the search for unconventional oil and gas traps.

*Keywords:* geochemistry, metadacite, basalt, U–Pb dating, Kutukasskaya Group, Yenisei Ridge, Paleo-Asian Ocean.