

УДК 550.4.02+551.263.038

## СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ РИОЛИТЫ ГОРНОГО И РУДНОГО АЛТАЯ: ВОЗРАСТ И ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА

М. Л. Куйбида<sup>1,2,\*</sup>, В. И. Тимкин<sup>3</sup>, В. А. Кривчиков<sup>3</sup>, О. В. Мурзин<sup>4</sup>,  
В. И. Крупчатников<sup>3</sup>, О. М. Попова<sup>3</sup>, Н. Н. Крук<sup>1,2</sup>, С. Н. Руднев<sup>1</sup>,  
Я. В. Куйбида<sup>1</sup>, С. П. Шокальский<sup>5</sup>, Н. И. Гусев<sup>5</sup>, Ц. Комия (Т. Коміуа)<sup>6</sup>,  
Ш. Аоки (S. Aoki)<sup>5</sup>, М. Сун (M. Sun)<sup>7</sup>, А. В. Нарыжнова<sup>1,2</sup>

Представлено академиком РАН Н.Л. Добрецовым 17.01.2018 г.

Поступило 31.01.2018 г.

Представлены результаты геологических, геохимических и изотопно-геохронологических исследований субвулканических риолитов Западного Горного Алтая и Рудного Алтая, принадлежащих двум крупным герцинским вулканическим системам, Алтае-Минусинской и Алтае-Салаирской. Результаты изотопного U–Pb-датирования цирконов показали две группы возрастов: ~410–405 и 390–381 млн лет. Изотопно-геохимические характеристики риолитов демонстрируют высокие значения  $\epsilon_{Nd}(T) = +2,7...6,0$  с относительно молодыми значениями модельных возрастов  $T(DM) = 851–966$  млн лет в Рудном Алтае и более древними — до 1266 млн лет в Горном Алтае. Петрохимические характеристики указывают на принадлежность составов риолитов к пограничной области между внутриплитными и островодужными кислыми магмами. Полученные результаты соответствуют двухстадийной эволюции вулканизма и его миграции от континента к океану.

**Ключевые слова:** Центрально-Азиатский складчатый пояс, Коргон-Аксай, Холзун-Сарымсакты, Хамир, Черневая, Мельнично-Сосновский.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524875532-537>

В западной части Центрально-Азиатского складчатого пояса смена каледонского этапа тектогенеза на герцинский сопровождалась деформациями пассивной окраины Сибирского континента и фрагментацией его террейно-орогенного обрамления на тектонические блоки: Рудно- и Горно-Алтайский, Алтае-Монгольский, Томь-Колыванский, Салаирский и др. [1]. Возникшие в этот период протяжённые и дискордантные между собой вулканические пояса подчёркивают общий “вложенный” друг в друга линзовидно-сегментированный структурный

рисунок складчатой области и теневые контуры каледонских блоков в плане (рис. 1). Вулканические пояса относятся к двум крупным системам: Алтае-Минусинской ( $D_{1-2}$ ) и Алтае-Салаирской ( $D_1-C_1$ ) [2, 3]. Вулканизм первой системы отражает инициальный окраинно-континентальный рифтогенез СЗ окраины Сибирского континента, как считается, начавшийся в раннем эмсе [4]. В её Алтайском сегменте (Западный Горный Алтай) вулканизм начался раньше с андезибазальт-андезит-дациандезит-дацитової серии и завершился внедрением субвулканических риодацитов-риолитов коргонского и хайдунского комплексов в Коргоно-Аксайском и Холзун-Сарымсактинском вулканических поясах [5] (рис. 1). Формирование Алтае-Салаирской системы, связанной с конвергентной обстановкой, началось позже, в конце эмса [2]. Вулканизм её фронтальной части (Рудный Алтай) характеризовался крупномасштабными извержениями вулканических пород преимущественно кислого состава и сингенетичным формированием субвулканических риолитов мельнично-сосновского комплекса [6]. Таким образом, рифтогенный магматизм внутри континентальной окраины проявился непосредственно перед формированием первых надсубдукционных вулканических комплексов. В настоящем исследовании рассмот-

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения Российской Академии наук,  
Новосибирск

<sup>2</sup> Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет

<sup>3</sup> Горно-Алтайская экспедиция,  
с. Малонисейское Алтайского края

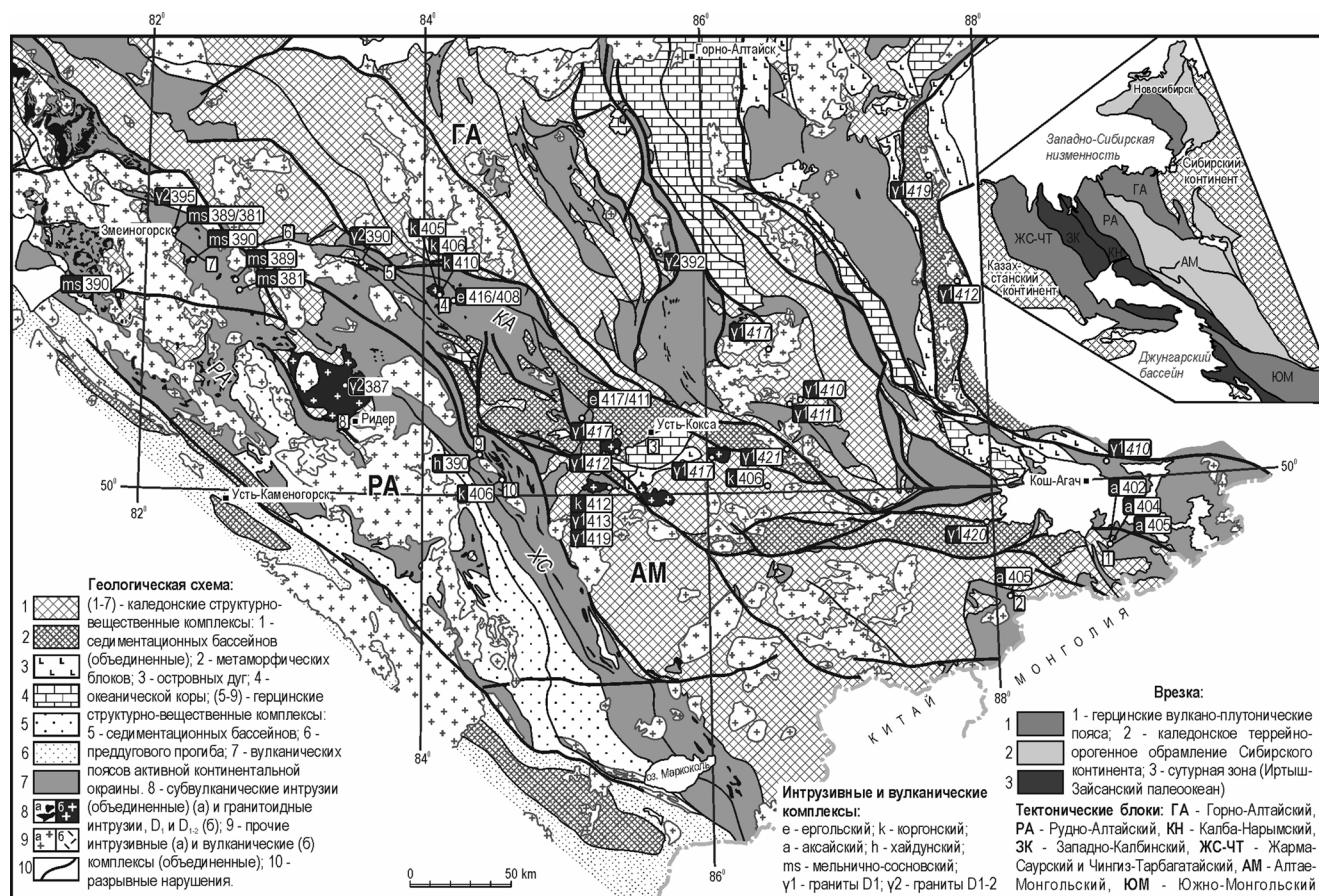
<sup>4</sup> Восточно-Сибирская опытно-методическая экспедиция  
Сибирского научно-исследовательского института  
геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск

<sup>5</sup> Всероссийский геологический институт  
им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>6</sup> University of Tokyo, Japan

<sup>7</sup> Department of Earth Sciences,  
the University of Hong Kong, China

\*E-mail: maxkub@igm.nsc.ru



**Рис. 1.** Структурно-геологическая схема Алтайской аккреционно-коллизонной системы и размещения девонских вулканических поясов, по материалам [5–7]. Вулканические пояса: РА — Рудно-Алтайский; КА — Коргоно-Акса́йский; ХС — Холзун-Сарымсактинский. Опорные геологические участки: 1 — Аксай; 2 — Калгуты; 3 — Кокса; 4 — Кумир; 5 — Коргон; 6 — Тигирек; 7 — Змеиногорск; 8 — Ридер; 9 — Хамир; 10 — Черневая. Цифры в прямоугольниках — значения возраста (млн лет); курсивом — по данным ГСР-200; обычным шрифтом — авторские данные.

рены субвулканические интрузии в областях сопряженности этих систем с целью реконструкции пространственно-временной эволюции магматизма при деформациях каледонского орогена на начальной стадии зарождения активной континентальной окраины.

Фотографии шлифов субвулканических риолитов, отобранных для геохронологических исследований, представлены на рис. 2. В Коргонском вулканическом поясе исследованы риолиты одноименного комплекса в ЮВ эндо- и экзоконтакте Щербнухинского гранитного массива в притоках среднего течения р. Кумир. В Холзунском вулканическом поясе изучены риолит-порфиры хайдунского и коргонского комплексов на реках Хамир и Черневая соответственно. В Рудно-Алтайском вулканическом поясе (Змеиногорский район, Алтайский край) для исследований отобраны риолиты мельнично-сосновского комплекса из вулканических построек горы Караульной, Буточной и Садовушки.

В вулканических поясах Западного Горного Алтая и Рудного Алтая исследованные породы имеют разные петрохимические характеристики, мас. % (рис. 3): SiO<sub>2</sub> (64–77 и 75–81), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,78–16,27 и 10,26–12,50); формально они относятся к К–Na-известково-щелочной серии, часто с высокими K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O (4,34–9,34 и 5,62–10,55) значениями и широкими вариациями Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O (0,34–2,02 и 0,03–5,41) отношений соответственно. Тем не менее Nb/Y и Zr/Ti значения в них соответствуют таковым из риолитов “нормального” типа. Значения Y+Nb (34–90 ppm) являются пограничными между составами островодужных и внутриплитных кислых магм. Риолиты обладают высокими ε<sub>Nd</sub>(T) = +2,6...6,0 значениями с относительно молодыми модельными возрастaми T<sub>DM</sub> = 851–966 млн лет в Рудном Алтае и более древними — до 1266 млн лет в Западном Горном Алтае.

Предварительные результаты изотопного LA-ICP-MS- и SHRIMP-II-датирования, катодно-люминесцентные (CL) изображения цирконов

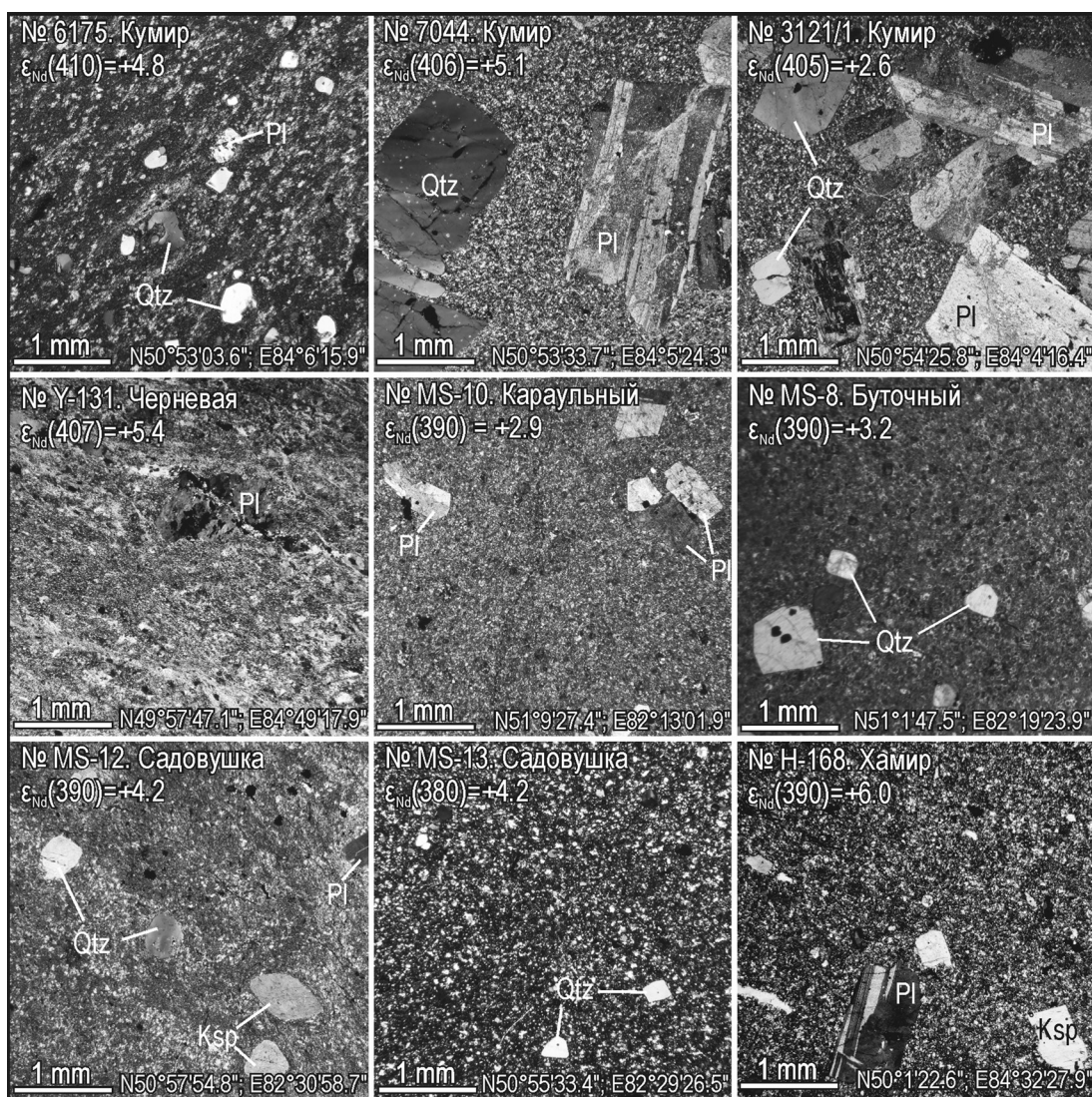


Рис. 2. Фотографии шлифов субвулканических риолитов Рудного и Западного Горного Алтая. Николи скрещены; минералы: Pl — плагиоклаз; Qtz — кварц; Ksp — калишпат.

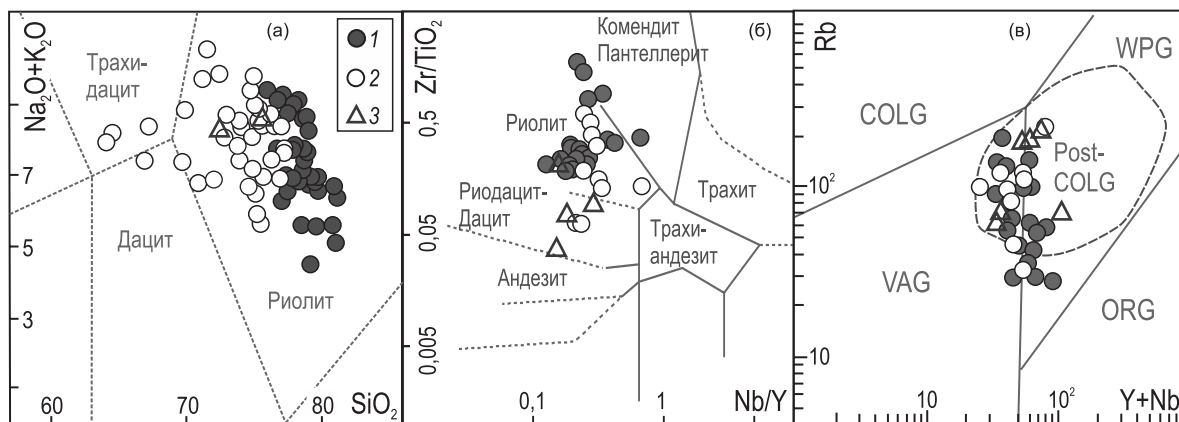
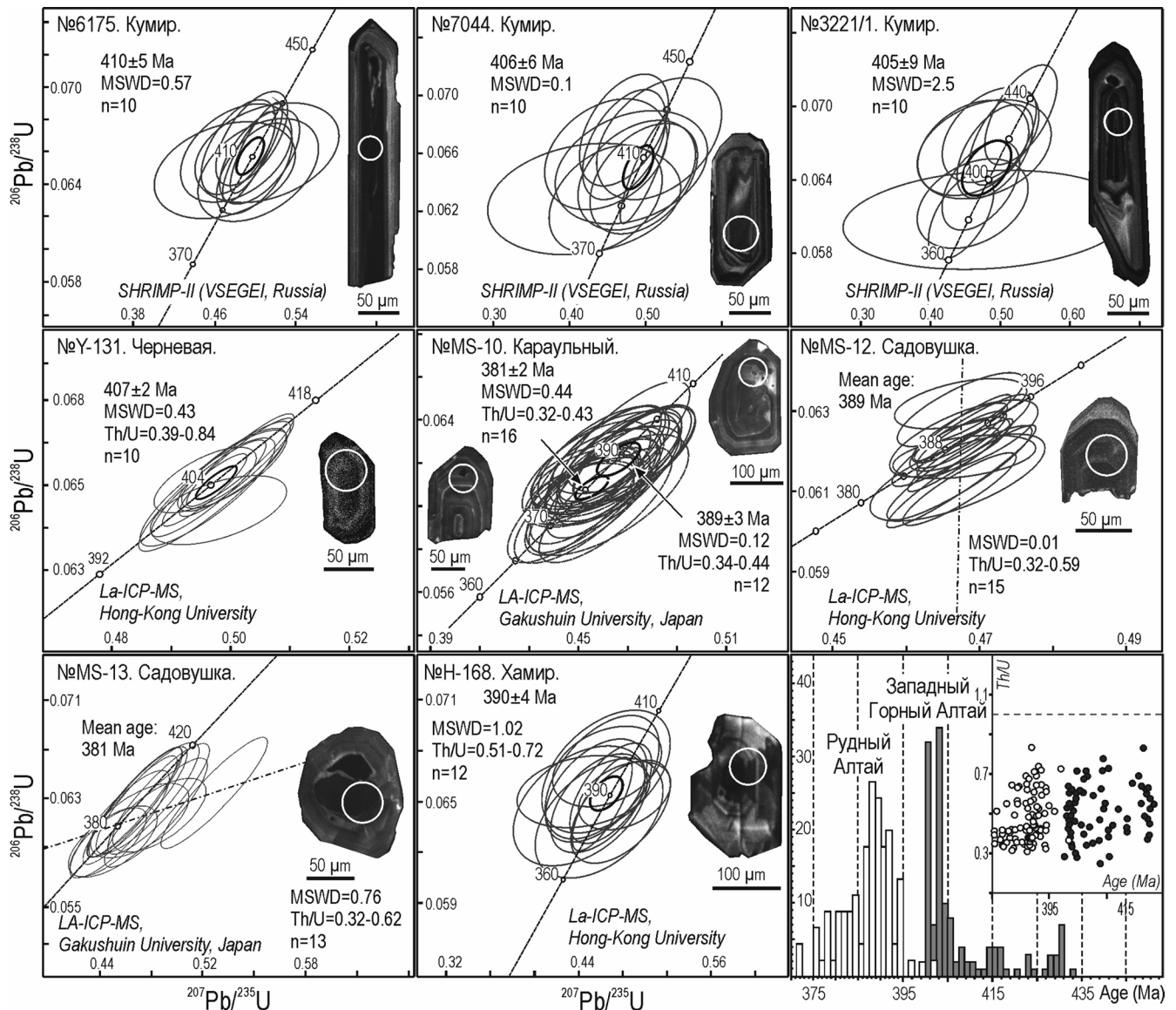


Рис. 3. Диаграммы для субвулканических риолитов Рудного и Горного Алтая. а — классификационная диаграмма TAS; б — диаграмма Nb/Y–Zr/TiO<sub>2</sub> для изменённых вулканических пород; в — дискриминационная диаграмма Пирса Rb–(Y+Nb). Поля: COLG = синколлизонные, WPG = внутриплитные, ORG = океанических хребтов, VAG = островных дуг, Post-COLG = постколлизонные. Субвулканические комплексы в легенде: 1 — мельнично-сосновский; 2 — коргонский; 3 — хайдунский.

и значения Th/U-отношений представлены на U–Pb-диаграммах с конкордиями (рис. 4). Цирконы из риолитов мельнично-сосновского комплекса Рудного Алтая показали две чёткие группы конкордантных возрастов, хотя и не отличимых в пределах точности метода: 389 и 381 млн лет. Близкий возраст, 390 млн лет, имеют риолиты хайдунского комплекса,

что всё вместе соответствует возрасту инициального магматизма в Рудном Алтае (387–395 млн лет [9]). Для всех цирконов из риолитов коргонского комплекса Западного Горного Алтая установлены близкие значения возрастов: 405–410 млн лет, что соответствует возрасту инициального рифтогенного магматизма [4].



**Рис. 4.** Диаграммы с конкордией, результатами изотопного U–Pb-датирования и CL-изображениями цирконов из субвулканических риолитов Рудного и Горного Алтая. Возраст цирконов из проб MS-10, MS-13, E-168 установлен в Университете Гакушуйн (Япония) LA–ICP–MS-методом на приборе NuAttoM (“Wrexham”, UK) с LA-системой (NWR-193: ESI, Portland, US) И.Ю. Сафоновой. Изотопный U–Pb-возраст цирконов из проб MS-12, Y-131 установлен в Университете Гонконга (КНР) LA–ICP–MS-методом на приборе NuPlasmaHR (“NuInstruments”, UK) с LA-системой (RESOLUTIONM-50193 nm, ResoneticsLLC, US) М.Л. Куйбида. Изотопный U–Pb-возраст цирконов из проб 6175, 7044, 3121/1 установлен в ЦИИ ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского (г. Санкт-Петербург), SHRIMP-II-методом на приборе IMS под руководством Н.И. Гусева. Авторы проб: MS-10, MS-12, MS-13, E-168, 7144 (М.Л. Куйбида); Y-131 (В.А. Яковлев); 6175 (В.А. Кривчиков); 3121/1 (А.П. Селин). Морфогенетический анализ цирконов выполнен И.Ю. Васюковой в ЦП ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). CL-изображения цирконов получены в ЦКП МИИ СО РАН на электронном сканирующем микроскопе JSM-6510LV (“Jeol”), аналитики — Н.С. Карманов, М.В. Хлестов.

Полученные результаты согласуются с двухстадийной эволюцией вулканизма и его миграцией от континента к океану для активной окраины Сибирского континента [10] подобно механизму формирования “расширяющихся аккреционных орогенов” [11]. Не исключено, что причиной инициального окраинно-континентального рифтогенеза могла быть активность мантийного плюма под раннедевонской пассивной окраиной [4]; возможно, рифтогенез проявился в результате “внешнего” воздействия по механизму окраинно-континентальных трансформных систем Западной Пацифики [12] или просто был закономерен в условиях непрерывного дрейфа и вращения Сибирского континента [13]. Вулканизм этой стадии мы связываем с формированием окраинно-континентального задугового бассейна при зарождении Алтайской активной окраины Сибирского континента [10]. Вулканизм второй стадии, в раннем—среднем девоне, мы рассматриваем в связи с рифтингом островной дуги по аналогии с трогом Окинава или рифтом Таупо [11]. Тектоническая эволюция Алтайской системы не имела длительного развития (~50 млн лет), поскольку сближение континентальных плит Казахстана и Сибири привело к аккреционно-коллизийным процессам и закрытию океана [14, 15].

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке И.Ю. Сафоновой.

**Источники финансирования.** Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации (проект № 14.Y26.31.0018), Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 16–05–01021), Hong Kong RGC grants 17302317 и 17303415 и согласно плану Государственного задания ИГМ СО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моссаковский А.А., Руженцев С.В., Самыгин С.Г. и др. Центральное-Азиатский складчатый пояс: геодинамическая эволюция и история формирования // Геотектоника. 1993. № 6. С. 3–33.
2. Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г. и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал “Гео”, 2000. 187 с.
3. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Стучевский Н.И. и др. Большой Алтай (геология и металлогения): В 3 кн. Кн. 1. Геологическое строение. Алматы: Гылым, 1998. 304 с.
4. Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Крук Н.Н. и др. Возраст заложения Минусинских впадин (Южная Сибирь) // ДАН. 2004. Т. 395. № 3. С. 367–370.
5. Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. (Третье поколение). Сер. Алтае-Саянская. Лист М-45 — Горно-Алтайск. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2011. 567 с.
6. Гусев Н.И., Вовшин Ю.Е., Круглова А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000. (Третье поколение). Сер. Алтае-Саянская. Лист М-44 — Рубцовск. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2015. 415 с.
7. Буслов М.М. Тектоника и геодинамика Центрально-Азиатского складчатого пояса: роль позднепалеозойских крупно-амплитудных сдвиговых деформаций // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 1. С. 52–57.
8. Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., et al. Formation and Palaeozoic Evolution of the Gornyy-Altai — Altai-Mongolia Suture Zone (South Siberia): Zircon U/Pb Constraints on the Igneous Record // Gondwana Research. 2011. 20 (2–3). P. 465–484.
9. Куйбида М.Л., Крук Н.Н., Шокальский С.П. и др. Надсубдукционные плагиограниты Рудного Алтая: возраст и особенности состава // ДАН. 2015. Т. 464. № 3. С. 317–324.
10. Куйбида М.Л. Базальтовый вулканизм системы островная дуга — задуговый бассейн (Алтайская активная окраина) // Тихоокеанская геология. Т. 38. (3). С. 118–130.
11. Collins W.J. Nature of Extensional Accretionary Orogens // Tectonics. 2002. V. 21. № 4. P. 6–12.
12. Ханчук А.И., Голозубов В.В. Режим трансформной окраины и орогенез. Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 340–345.
13. Метелкин Д.В., Верниковский В.А., Казанский А.Ю. Тектоническая эволюция Сибирского палеоконтинента от неопротерозоя до позднего мезозоя: палеомагнитная запись и реконструкции // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 7. С. 883–899.
14. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Й. де Граве и др. Взаимосвязь магматических, осадочных и аккреционно-коллизийных процессов на Сибирской платформе и ее складчатом обрамлении // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1451–1471.
15. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н. и др. Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизийных орогенов // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 12. С. 12–14.

**MIDDLE PALEOZOIC RHYOLITE OF GORNY AND RUDNY ALTAI:  
GEOCHRONOLOGY AND COMPOSITION CHARACTERISTICS**

**M. L. Kuibida<sup>1,2</sup>, V. I. Timkin<sup>3</sup>, V. A. Krivchikov<sup>3</sup>, O. V. Murzin<sup>4</sup>, V. I. Krupchatnikov<sup>3</sup>,  
O. M. Popova<sup>3</sup>, N. N. Kruk<sup>1,2</sup>, S. N. Rudnev<sup>1</sup>, Y. V. Kuibida<sup>1</sup>, S. P. Shokal'sky<sup>5</sup>,  
N. I. Gusev<sup>5</sup>, T. Komiya<sup>6</sup>, S. Aoki<sup>5</sup>, M. Sun<sup>7</sup>, A. V. Naryzhnova<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Research University, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Gorno-Altay Expedition, Altay Krai, Maloeniseyskoye, Russian Federation*

<sup>4</sup>*Eastern Siberian Experience Methodical Expedition of the Siberian Scientific Research Institute  
of Geology, Geophysics, and Mineral Resources, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>5</sup>*Karpinsky All-Russian Geological Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation*

<sup>6</sup>*University of Tokyo, Japan*

<sup>7</sup>*Department of Earth Sciences, the University of Hong-Kong, China*

Presented by Academician of the RAS N.L. Dobretsov January 17, 2018

Received January 31, 2018

The paper presents the results of geological, geochemical and isotope-geochronological studies of subvolcanic rhyolites of the Western Gorny Altai and Rudny Altai which have related to two large volcanic systems, the Altai-Minusinsk and Altai-Salair, respectively. The results of U–Pb isotopic dating of zircons revealed two groups of ages ~410–405 and 390–381 million years. Isotope-geochemical characteristics of rhyolites show relatively high values of  $\epsilon_{Nd}(T) = +2,7...6,0$  with relatively young values of model ages  $T(DM) = 851–966$  Ma in the Rudny Altai and more ancient — up to 1266 Ma in the West Gorny Altai. Geochemical characteristics indicate that its composition is consistent with transitional field between within-plate and island-arc felsic magmas. The results obtained correspond to the two-stage evolution of volcanism and its migration from the continent to the ocean.

*Keywords:* Central Asian Orogenic Belt, Korgon-Aksai, Kholzun-Sarymsakty, Khamir, Chernevay, Melnichno-Sosnovsky.