ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2021, том 498, № 1, с. 12–17

ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.2:551.72(571.5)

ВОЗРАСТ И ТЕКТОНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ГРАНИТОИДОВ УДСКОГО КОМПЛЕКСА ДЖУГДЖУРСКОГО БЛОКА СТАНОВОГО СТРУКТУРНОГО ШВА: НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФОРМИРОВАНИИ ГИГАНТСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

© 2021 г. А. М. Ларин[1,*], член-корреспондент РАН А. Б. Котов[1], Е. Б. Сальникова[1], В. П. Ковач[1], Ю. В. Плоткина[1], Т. М. Сковитина[2]

Поступило 14.01.2021 г.
После доработки 25.01.2021 г.
Принято к публикации 26.01.2021 г.

Проведены геохимические, изотопно-геохимические (Nd, Sr) и геохронологические (U–Pb ID TIMS) исследования двух массивов удского комплекса (Чалбук-Яконского и Уян-Тавитчакского) Джугджурского блока Станового структурного шва. Установлено, что их формирование имело место в раннем мелу (116 ± 1 млн лет) в геодинамической обстановке литосферного растяжения. Формирование исходной магмы этих гранитоидов происходило из смешанного источника: раннедокембрийского нижнекорового и мантийного, при явном преобладании корового компонента. Гранитоиды удского комплекса Джугджурского блока вероятнее всего представляют собой восточное окончание Удско-Зейского (Станового) постколлизионного пояса, протягивающегося более чем на 1000 км вдоль южного обрамления Сибирского кратона параллельно Монголо-Охотской сутурной зоне и сшивающего различные тектонические блоки северо-восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Есть все основания полагать, что далее к западу Удско-Зейский (Становой) пояс переходит в Западно-Забайкальскую рифтовую систему, формирование которой произошло в интервале 170–110 млн лет. Другими словами, можно предполагать, что в мезозое в южном обрамлении Сибирского кратона существовала гигантская единая рифтовая система, протягивающаяся более чем на 2000 км.

Ключевые слова: гранитоиды, постколлизионный магматизм, рифтовая система, U–Pb-возраст, изотопная геохимия, континентальная кора, мантия, Сибирский кратон

DOI: 10.31857/S268673972105008X

Гранитоиды удского комплекса распространены в пределах Джугджуро-Станового супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса и Джугджурского блока Станового структурного шва, который представляет собой гигантскую зону тектонического меланжа, отделяющую Сибирский кратон от его складчатого обрамления. В Джугджуро-Становом супертеррейне они образуют мелкие и средние по размерам плитообразные массивы (5–350 км^2), закартированные в юго-восточной его части, в Чогарском гранулитовом блоке. Наиболее крупные батолиты пород удского комплекса площадью до 2500 км^2 распространены в пределах Джугджурского блока. Возраст и тектоническое положение гранитоидов этого комплекса трактуются неоднозначно. Согласно одним представлениям, внедрение мезоабиссальных батолитов удского комплекса произошло во второй половине раннего мела в обстановке постколлизионного рассеянного континентального рифтогенеза [1]. При этом они вместе с интрузиями гранитоидов тындинско-бакаранского, амуджиканского и других комплексов рассматриваются в составе гигантского субширотного Удско-Зейского (Станового) пояса батолитов (130–122 млн лет [2]) (рис. 1а). По мнению других исследователей [3, 4] гранитоиды удского комплекса имеют позднеюрский-раннемеловой возраст и формировались в условиях активной континентальной окраины. Результаты U–Pb (ID TIMS) геохронологических исследований гранитоидов удского комплекса Джугджуро-Станового супертеррейна свидетельствуют об их среднеюрском возрасте (181 ± 2 млн лет) [5]. Соответственно массивы, сложенные гранитоидами этого комплекса, представляют собой юго-запад-

[1] *Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия*
**E-mail: larin7250@mail.ru*

ное окончание Удско-Мургальской магматической дуги, которая сформировалась в процессах субдукции и протягивается по границе Палео-Азиатского океана с Сибирским континентом [3]. В то же время предварительные геохимические исследования гранитоидов удского комплекса из этих двух различных тектонических зон (Джугджурский блок Станового шва и Чогарский блок Джугджуро-Станового супертеррейна) показали, что при значительном петрографическом и петрохимическом их сходстве они различаются по своим геохимическим характеристикам [6]. В связи с этим были выполнены комплексные геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования гранитоидов удского комплекса Джугджурского блока Станового структурного шва, результаты которых представлены в настоящей статье. Главными объектами исследований послужили крупный Чалбук-Яконский массив (лакколит по данным [1]) и его сателлит, Уян-Тавитчакский массив, который представлет собой более мелкое трещинное дугообразное в плане тело (рис. 1б).

Указанные массивы сложены преимущественно мелко-среднезернистыми нередко полосчатыми порфировидными гранодиоритами и кварцевыми диоритами. В них часто присутствуют шлировидные обособления гибридных пород – гранодиорит-порфиров, диоритовых порфиритов и кварцевых диорит-порфиров. Породы основного состава (габбро и габбро-диориты), также, как и граниты, пользуются незначительной распространенностью [1]. Рассматриваемые массивы гранитоидов удского комплекса имеют эруптивные взаимоотношения с палеопротерозойскими метаморфическими породами Джугджурского блока и анортозитами Геранского массива древнеджугджурского комплекса и прорываются позднемеловыми гранитоидами джугджурского комплекса.

По составу гранитоиды изученных массивов удского комплекса Джугджурского блока Станового структурного шва отвечают преимущественно кварцевым диоритам (SiO_2 = 60.6–63.6%) нормального и умеренно-щелочного ряда. По щелочно-известковому индексу (MALI) они принадлежат к известково-щелочному типу с K/Na-отношением ниже единицы, относятся к метаглиноземистому типу (A/CNK = 0.84–0.91) с низким уровнем агпаитности (NK/A = 0.67–0.63) и низкой степенью железистости (f = 0.53–0.72) и характеризуются умеренными и низкими содержаниями большинства несовместимых элементов (за исключением Ba и Sr – 850–1150 и 740–772 мкг/г) и очень низкими концентрациями HFSE и HREE. Спайдерграммы демонстрируют умеренное обогащение гранитоидов несовместимыми элементами, резкие отрицательные аномалии Nb и Ta, менее выраженные отрицательные аномалии P и Ti, а также положительные аномалии Ba и Sr. Низкие значения Rb/Sr отношений (0.05–0.07) указывают на низкую степень дифференцированности этих пород.

В целом по минералого-геохимическим особенностям гранитоиды удского комплекса Джугджурского блока Станового структурного шва отвечают гранитоидам I типа. Наиболее характерными их чертами являются высокие значения Sr/Y отношений (91–107), высокий уровень фракционирования REE ([La/Yb]n = 20.5–43.2) и наличие небольшой положительной Eu-аномалии (1.05–1.13), что сближает их с адакитами. По составу они ближе всего к гранитоидам тындинско-бакаранского комплекса западной части Джугджуро-Станового супертеррейна.

U–Pb (ID-TIMS) геохронологические исследования выполнены для кварцевого диорита из северной части Уян-Тавитчакского массива удского комплекса (проба М-571-А) (рис. 1б). Акцессорный циркон, выделенный из кварцевого диорита, образует субидиоморфные короткопризматические, реже призматические прозрачные и полупрозрачные кристаллы желтого цвета, размер которых изменяется от 50 до 300 мкм, с отношениями длины к ширине от 1:1 до 2:1. Основными элементами огранки этих кристаллов являются призмы {100}, {110} и дипирамиды {111}, {101}, {211} (рис. 2, I–III). Они характеризуются четкой осцилляторной зональностью (рис. 2, IV–VI) и присутствием в отдельных кристаллах реликтов унаследованных ядер.

Для U–Pb-геохронологических исследований использованы две микронавески (20–50 зерен) наиболее прозрачных и идиоморфных кристаллов циркона, отобранные из размерных фракций 50–100 и >100 мкм, а также навеска циркона из размерной фракции 50–100, которая была подвергнута предварительной кислотной обработке (табл. 1). Как видно на рис. 3, точка изотопного состава циркона из фракции >100 мкм (№ 1, табл. 1) располагается на конкордии, а величина его конкордантного возраста составляет 116 ± 1 млн лет (СКВО = 0.79, вероятность = 0.37). Такая же оценка возраста (116 ± 1 млн лет) получена по нижнему пересечению дискордии (рис. 3), построенной для всех проанализированных микронавесок циркона (верхнее пересечение – 2138 ± 57 млн лет, СКВО = 0.29). Морфологические особенности изученного циркона указывают на его магматическое происхождение. Следовательно, есть все основания рассматривать полученную для него оценку возраста 116 ± 1 млн лет как возраст его кристаллиции из расплава и соответственно, как возраст становления Уян-Тавитчакского массива удского комплекса.

Результаты изотопно-геохимических (Nd, Sr) исследований гранитоидов удского комплекса

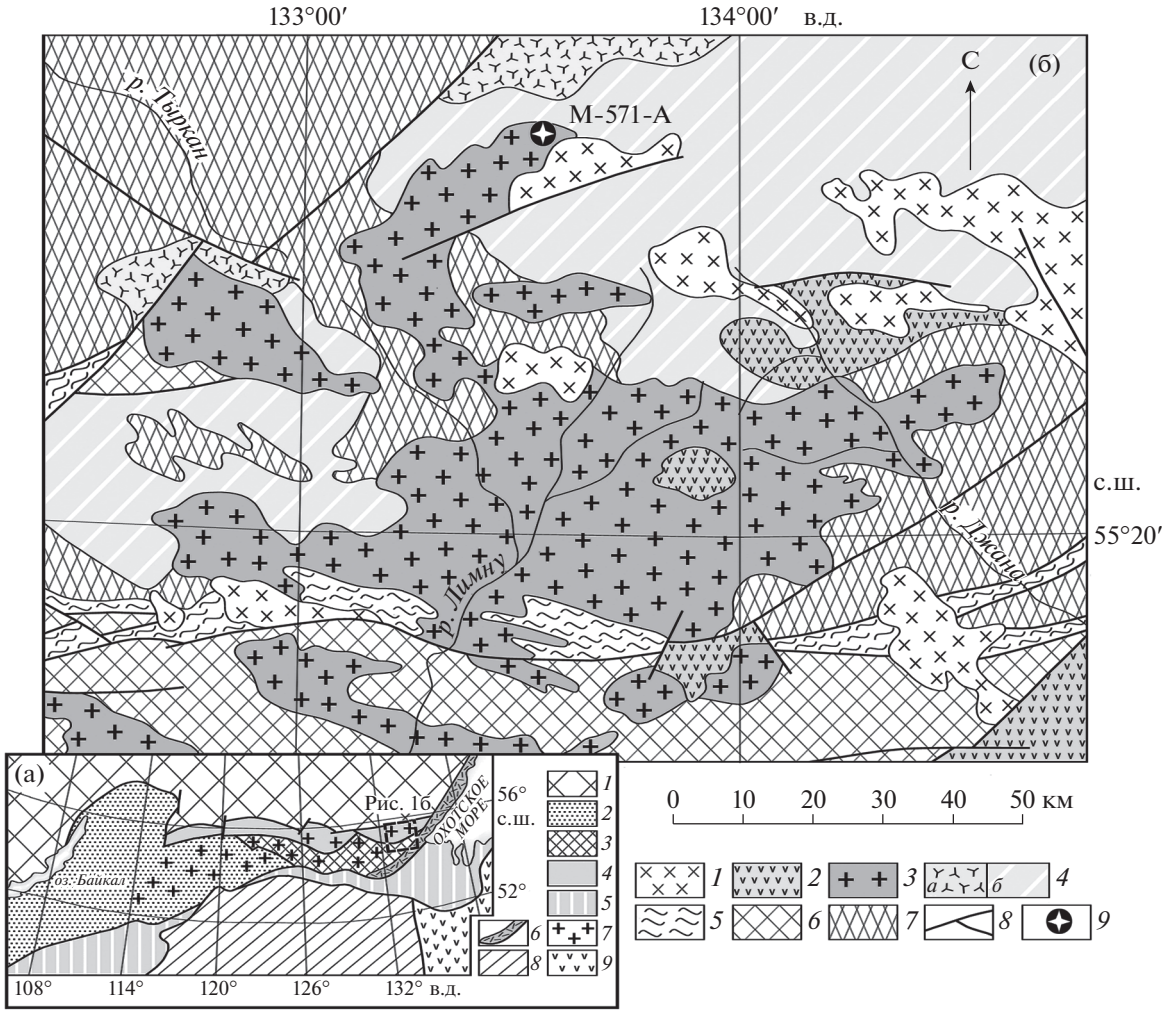

Рис. 1. (а) Геологическое положение позднемезозойского Удско-Зейского (Станового) постколлизионного пояса батолитов в складчатом обрамлении Сибирской платформы. *1* – Сибирский кратон; *2* – террейны, аккретированные к кратону в позднем рифее и палеозое; *3* – Джугджуро-Становой супертеррейн; *4* – Становой структурный шов; *5* – Монголо-Охотский складчатый пояс; *6* – Удско-Мургальская магматическая дуга; *7* – Удско-Зейский (Становой) пояс батолитов; *8* – Амурская микроплита; *9* – Сихоте-Алиньский орогенный пояс. (б) Схема размещения гранитоидов удского комплекса в пределах раннедокембрийского Джугджурского блока Станового структурного шва. *1* – позднемеловые гранитоиды и вулканиты; *2* – нижнемеловые вулканогенно-осадочные и осадочные породы неймуканской и боконской свит; *3* – раннемеловые гранитоиды удского комплекса; *4* – палеопротерозойская улкан-джугджурская магматическая ассоциация (*а* – рапакивигранит-щелочногранитный комплекс, *б* – габбро-анортозитовый комплекс); *5* – диафториты, бластомилониты зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, фельдшпатиты и кремне-щелочные метасоматиты; *6–7* – раннедокембрийские породы южного обрамления Сибирского кратона: *6* – метаморфические породы (амфиболитовая фация) Удско-Майской зоны Джугджуро-Станового супертеррейна, *7* – метаморфические породы (гранулитовая фация) Джугджурского блока Станового структурного шва; *8* – разрывные нарушения; *9* – место отбора геохронологической пробы.

Джугджурского блока Станового структурного шва позволяют заключить, что для изученных пород изотопный состав Nd ($\varepsilon_{Nd}(T)$ = –11.7... –12.9, T_{Nd}(DM) = 1.4–1.6 млрд лет, T_{Nd}(C) = 1.9–2.0 млрд лет) несколько более радиогенный по сравнению с вмещающими палеопротерозойскими кристаллическими сланцами и гнейсами этого блока (ε_{Nd}(116) = –14.9... –22.3, T_{Nd}(DM) = 2.2–2.7 млрд лет [11, 12]), и мало радиогенный изотопный состав Sr (ISr = 0.7053). Из приведенных изотопных данных следует, что формирование исходных магм для рассматриваемых гранитоидов происходило из смешанного источника. Очевидно, что одним из компонентов этого источника была раннедокембрийская континентальная кора Джугджурского блока. Вторым, ювенильным, компонентом, по-видимому, было вещество мантии. При этом вклад мантийного источника был существенно ниже корового. На вклад вещества мантийного источника указывают также и сравнительно низкие значения ISr.

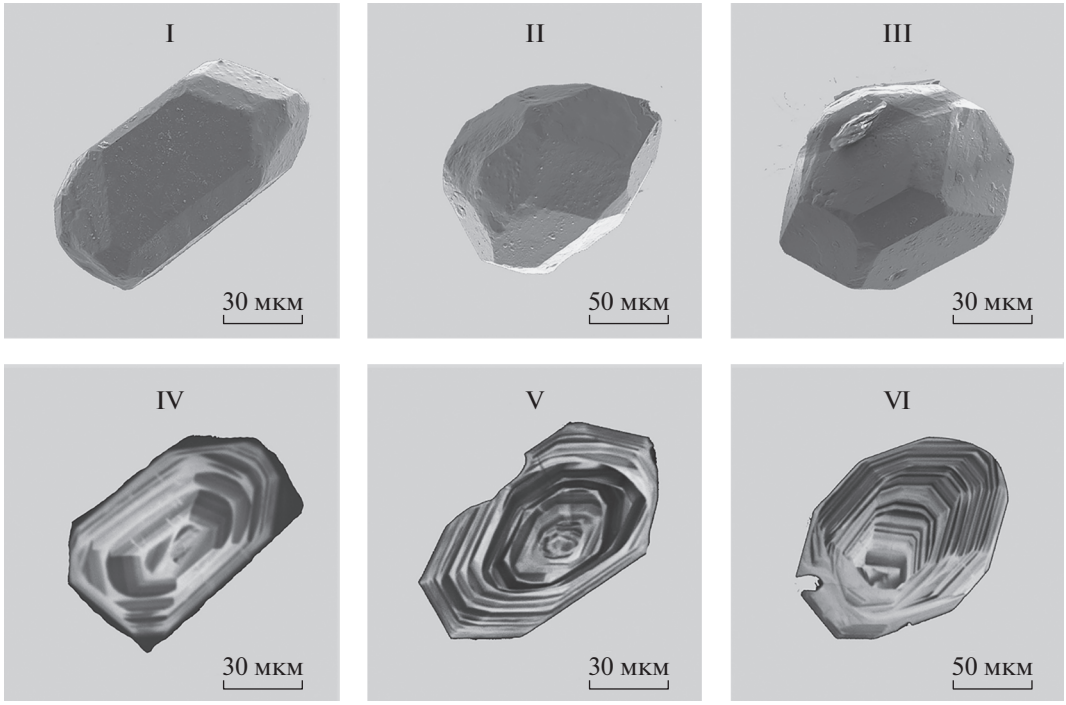

Рис. 2. Микрофотографии кристаллов циркона из пробы М-571-А, выполненные на сканирующем электронном микроскопе АВТ 55: I–III – в режиме вторичных электронов; IV–VI – в режиме катодолюминесценции.

По возрасту и составу гранитоиды удского комплекса Джугджурского блока Станового структурного шва обнаруживают наибольшее сходство с гранитоидами тындинско-бакаранского комплекса (122 ± 1 млн лет, [2]), образующими крупные батолиты Удско-Зейского (Станового) пояса. Таким образом, можно полагать, что массивы гранитоидов удского комплекса Джугджурского блока представляют собой восточное окончание Удско-Зейского (Станового)

Таблица 1. Результаты U–Pb геохронологических исследований циркона из кварцевого диорита Уян-Тавитчакского массива удского комплекса (проба М-571а).

Номер п/п	Размерная фракция (мкм) и характеристика циркона	Навеска, мг	Pb, мкг/г	U, мкг/г	Изотопные отношения					Rho	Возраст, млн лет		
					$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb^{a}$	$^{208}Pb/^{206}Pb^{a}$	$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$	$^{206}Pb/^{238}U$	$^{207}Pb/^{206}Pb$
1	>100, 20 крист.	0.03	4.40	228	815	0.0482 ± 2	0.2022 ± 1	0.1207 ± 4	0.0181 ± 1	0.46	116 ± 1	116 ± 1	110 ± 8
2	50–100, 50 крист.	0.56	2.71	121	395	0.0496 ± 2	0.1975 ± 1	0.1262 ± 7	0.0185 ± 1	0.49	121 ± 1	118 ± 1	174 ± 11
3	50–100, кисл.обр. = 3.0	–*	U/Pb = 42.1		1145	0.0613 ± 2	0.1976 ± 1	0.1799 ± 7	0.0130 ± 1	0.71	168 ± 1	136 ± 1	649 ± 6

Примечания: [a] – изотопные отношения, скорректированные на бланк и обычный свинец; Rho – коэффициент корреляции ошибок отношений $^{207}Pb/^{235}U$ – $^{206}Pb/^{238}U$. * – навеска циркона не определялась; кисл. обр. = 3.0 – кислотная обработка циркона с заданной экспозицией (часы). Величины ошибок (2 σ) соответствуют последним значащим цифрам после запятой. Выделение циркона проводилось по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. Выбранные для U–Pb геохронологических исследований кристаллы циркона подвергались многоступенчатому удалению поверхностных загрязнений в спирте, ацетоне и 1 М HNO_3. При этом после каждой ступени зерна циркона (или их фрагменты) промывались особо чистой водой. Химическое разложение циркона и выделение U и Pb выполнялись по модифицированной методике Т.Е. Кроу [7]. В некоторых случаях для уменьшения степени дискордантности циркона использовалась предварительная кислотная обработка [8]. Для изотопных исследований использован смешанный изотопный индикатор ^{235}U–^{202}Pb. Они выполнены на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом и динамическом (с помощью электронного умножителя) режимах. Точность определения U/Pb-отношений и содержаний U и Pb составила 0.5%. Холостое загрязнение не превышало 15 пг Pb и 1 пг U. Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи программ “PbDAT” [9] и “ISOPLOT” [10].

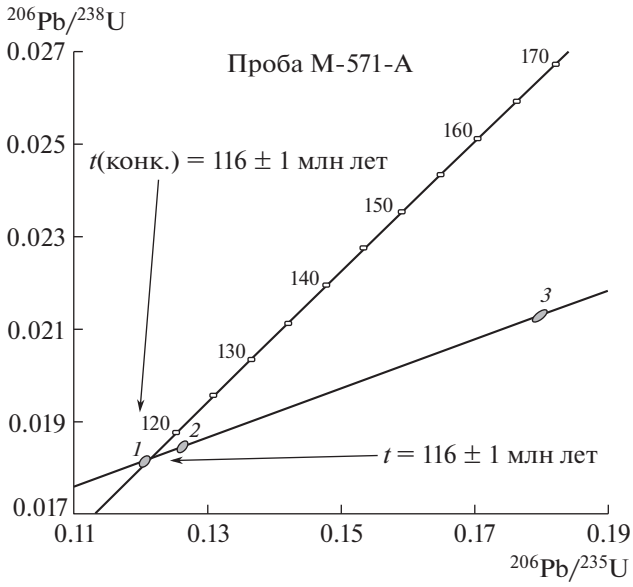

Рис. 3. Диаграмма с конкордией для циркона из пробы М-571-А. Номера точек соответствуют порядковым номерам в табл. 1.

постколлизионного магматического пояса, протягивающегося более чем на 1000 км вдоль южного обрамления Сибирского кратона параллельно Монголо-Охотской сутурной зоне и сшивающего различные тектонические блоки северо-восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса [2, 6]. Возраст проявления магматических событий в пределах этого пояса последовательно возрастает в направлении с востока на запад с 116 млн лет и до 160–142 млн лет в западной части Западно-Станового супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса [13, 14]. В этом же направлении происходит и закономерное изменение состава магматических пород. Наблюдаются общее увеличение их щелочности и усиление роли калия в балансе щелочей. Известково-щелочные породы нормального ряда, близкие к адакитам, сменяются умеренно-щелочными породами в центральной части пояса. В западной части пояса им на смену приходят щелочные граниты А-типа [14]. Есть все основания полагать, что далее к западу Удско-Зейский (Становой) пояс переходит в Западно-Забайкальскую рифтовую систему, формирование которой произошло в интервале 170–110 млн лет [15]. Другими словами, можно предполагать, что в мезозое в южном обрамлении Сибирского кратона существовала гигантская единая рифтовая система, протягивающаяся более чем на 2000 км.

Полученные данные показывают, что гранитоиды удского магматического комплекса Джугджуро-Станового супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса и зоны его сочленения с Алданским щитом (Становой структурный шов) в действительности следует относить к разным комплексам. Гранитоиды удского комплекса восточной части Джугджуро-Станового супертеррейна имеют возраст 181 ± 2 млн лет [5]. Массивы этих гранитоидов входят в состав Удско-Мургальской магматической дуги, которая имеет субдукционное происхождение [3]. Возраст гранитоидов удского комплекса Джугджурского блока Станового структурного шва составляет 116 ± 1 млн лет. Скорее всего они относятся к гигантскому постколлизионному Удско-Зейскому (Становому) поясу батолитов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены за счет средств РФФИ (проекты № 18-05-00403 и 19-05-00647).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-53 – Шантарские острова. Объяснительная записка. СПб. ВСЕГЕИ. 2007. 448 с.
2. *Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др.* // ДАН. 2014. Т. 456. № 3. С. 314–319.
3. *Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртогоо О.* // Тихоокеанская геология. 1999. № 5. С. 24–43.
4. *Максимов Е.П.* Мезозойские рудоносные магматогенные системы Алдано-Станового щита. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. ИГАБМ СО РАН Якутск: г. Нерюнгри, 2003. 44 с.
5. *Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др.* // ДАН. 2020. Т. 492. № 2. С. 21–25.
6. *Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П.* // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: X Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции с международным участием, 10–12 сентября 2019, г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2019. С. 67–69.
7. *Krogh T.E.* // Geochim. Cosmochim. Acta. 1973. V. 37. P. 485–494.
8. *Mattinson J.M.* // Contrib. Mineral. Petrol. 1994. V. 116. P. 117–129.
9. *Ludwig K.R.* // U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 88–542. 1991. 35 p.
10. *Ludwig K.R.* ISOPLOT / Ex.Version 2.06. // Berkley Geochronology Center Sp. Publ. 1999. № 1a. 49 p.
11. *Мишкин М.А., Ленников А.М., Вовна Г.М. и др.* // Геохимия. 2007. № 6. С. 608–623.
12. *Ларин А.М.* Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.
13. *Чернышев И.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С. и др.* // ГРМ. 2014. Т. 56. № 1. С. 3–18.
14. *Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др.* // ДАН. 2018. Т. 482. № 6. С. 680–684.
15. *Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И.* // Петрология. 1998. Т. 6. № 2. С. 115–138.

AGE AND TECTONIC STATE OF GRANITOIDS OF THE UDSKY COMPLEX OF THE DZHUGDZHUR BLOCK OF THE STANOVOY SUTURE: NEW DATA ON THE FORMATION OF THE GIANT MAGMATIC BELTS IN EASTERN ASIA

A. M. Larin[a,#], Corresponding Member of the RAS A. B. Kotov[a], E. B. Salnikova[a], V. P. Kovach[a], Yu. V. Plotkina[a], and T. M. Skovitina[b]

[a] *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*
[b] *Institute of Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*
[#]*E-mail: larin7250@mail.ru*

Granitoids of the Udsky complex are distributed within the southeastern marginal part of the Siberian craton and its folded framing. Geochemical, isotope-geochemical (Nd, Sr) and geochronological (U-Pb ID TIMS) studies of two massifs of this complex (Chalbuk-Yakon and Uyan-Tavitchak) of the Dzhugdzhur block of the Stanovoy suture were carried out, the results of which are presented in this article. As a result of the conducted studies, it was found that their formation took place in the Early Cretaceous (116 ± 1 Ma) in the geodynamic setting of lithospheric extension. The initial magma of these granitoids was formed from a mixed source: Early Precambrian lower crustal and mantle, with a clear predominance of the crustal component. The granitoids of the Udsky complex of the Dzhugdzhur block most likely represent the eastern end of the Udsko-Zeya (Stanovoy) postcollision belt, stretching for more than 1000 km along the southern framing of the Siberian craton parallel to the Mongol-Okhotsk suture zone and stitching various tectonic blocks of the northeastern part of the Central Asian fold belt. There is every reason to believe that further to the west, the Udsko-Zeya (Stanovoy) belt passes into the West-Transbaikal rift system, the formation of which took place in the interval of 170–110 Ma. In other words, it can be assumed that in the Mesozoic, in the southern framing of the Siberian craton, there was a giant unified rift system stretching for more than 2000 km.

Keywords: granitoids, postcollisional magmatism, rift systems, U–Pb age, isotope geochemistry, continental crust, mantle, Siberian craton