

Возраст пород шурмакской свиты по данным U-Pb датирования цирконов методом LA-ICP-MS (Юго-Восточная Тува)*

А. В. Иванов¹, Е. Ф. Летникова¹, С. И. Школьник^{1,2},
А. И. Прошенкин¹, Е. А. Бродникова¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3

² Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

Для цитирования: Иванов, А. В., Летникова, Е. Ф., Школьник, С. И., Прошенкин, А. И., Бродникова, Е. А. (2020). Возраст пород шурмакской свиты по данным U-Pb датирования цирконов методом LA-ICP-MS (Юго-Восточная Тува). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 65 (4), 702–716. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.406>

В юго-восточной части Тувы изучены раннепалеозойские осадочно-вулканогенные отложения (в том числе конгломераты) шурмакской свиты. В результате U-Pb датирования цирконов из туфа андезитового состава, матрикса конгломератов и вулканомиктовых песчаников этой свиты установлено, что ее накопление происходило 500 млн лет назад. Данные датирования цирконов из туфа являются геохронологической датой и указывают на время проявления андезитового вулканизма, синхронного с осадконакоплением пород шурмакской свиты. Учитывая близкий возраст цирконов основных популяций как в туфе, так и в матриксе конгломератов и в вулканомиктовом песчанике, можно считать, что образование последних напрямую связано с проявлениями вулканизма на данной территории в это время. Присутствие в туфах ксеногенных, а в вулканомиктовых песчаниках и матриксе конгломератов шурмакской свиты обломочных цирконов неопротерозойского и палеопротерозойского возраста и Sm-Nd изотопные данные указывают на то, что эти вулканические и осадочные процессы в раннем кембрии происходили в пределах докембрийского блока земной коры. Обломочный материал при формировании раннекембрийской шурмакской свиты поступал в результате вулканических событий синхронных с осадконакоплением. Среди других источников поступления обломков в бассейн седиментации были неопротерозойские гранитоиды и, реже, породы палеопротерозойского и неархейского возраста. Совмещение с нижележащими породами мугурской свиты Эрзинского метаморфического комплекса произошло в результате тектонических процессов в посткембрийское время, так как практически одновременно происходило накопление отложений шурмакской свиты и процессы гранулитового метаморфизма в породах метаморфического комплекса.

Ключевые слова: осадочно-вулканогенные отложения, конгломераты, возраст, цирконы, U-Pb датирование, кембрий, Тува.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 18-05-00604, 18-35-20025, 20-05-00560, экспедиционные работы, изучение и датирование осадочных пород) и РНФ (19-17-00099, экспедиционные работы, изучение и датирование вулканитов и туфов шурмакской свиты).

1. Введение и постановка проблемы

Основными структурно-вещественными комплексами юго-восточной части Тувинского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) являются метаморфические образования Эрзинского комплекса с возрастом гранулитового метаморфизма на рубеже 500 млн лет (Козаков и Азимов, 2017) и осадочно-вулканогенные отложения Таннуольской островной дуги, которая существовала в среднем кембрии (Ветров и др., 2020). Между этими блоками располагается Агардагская зона офиолитов и меланжа с возрастом 575 млн лет, определенным на основе датирования плагиогранитов (Pfander et al., 2002). Возможно, что совмещение этих различных по своей природе комплексов произошло в интервале 480–430 млн лет в результате трансформно-сдвиговых движений, широко проявленных в этом регионе (Барабаш и др., 2007).

При этом одной из характерных черт в строении раннепалеозойских осадочно-вулканогенных последовательностей Тувинского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса является повсеместное присутствие конгломератов мощностью от первых метров до километра. Как известно, изучение валунов и галек конгломератов позволяет получать прямые свидетельства о составе и возрасте магматических и метаморфических пород, в том числе уничтоженных на настоящий момент денудацией или перекрытых более молодыми отложениями, что позволяет восстанавливать этапы геологической истории развития отдельных тектонических структур и на основе этого проводить более обоснованные палеогеодинамические реконструкции.

Первым шагом в исследовании раннепалеозойских конгломератов Тувинского сегмента ЦАСП стало изучение наиболее мощной толщи конгломератов осадочно-вулканогенной шурмакской свиты, которую относят к Агардагской зоне офиолитов (рис. 1). При этом такие породы выглядят экзотическими в ее строении, так как в обломочной части конгломератов преобладают гранитоиды и кислые вулканиты.

Целью наших исследований стали оценка времени седиментации отложений шурмакской свиты и определение состава и возраста пород ее питающих провинций. Это обусловлено отсутствием информации о составе и времени формирования пород этой свиты и ее неясной геодинамической позицией. Было проведено U-Pb-изотопное датирование цирконов из пород шурмакской свиты — туфа, матрикса конгломератов и вулканомиктовых песчаников.

2. Геологическое положение и особенности состава пород шурмакской свиты

Представительный разрез шурмакской свиты расположен в среднем-верхнем течении р. Шурмак, и его отдельные фрагменты прослеживаются в юго-западном простирании более чем на 50 км (рис. 1). Отложения свиты со стратиграфическим несогласием залегают на кристаллических образованиях мугурской свиты и перекрывается кускунугской свитой нижнего кембрия. Возраст свиты принят условно как нижнекембрийский (Александров, 1985). В ее строении преобладают конгломераты и гравелиты, в подчиненном количестве присутствуют горизонты песчаников и вулканиты различного состава (рис. 2). Были изучены два разреза шурмакской

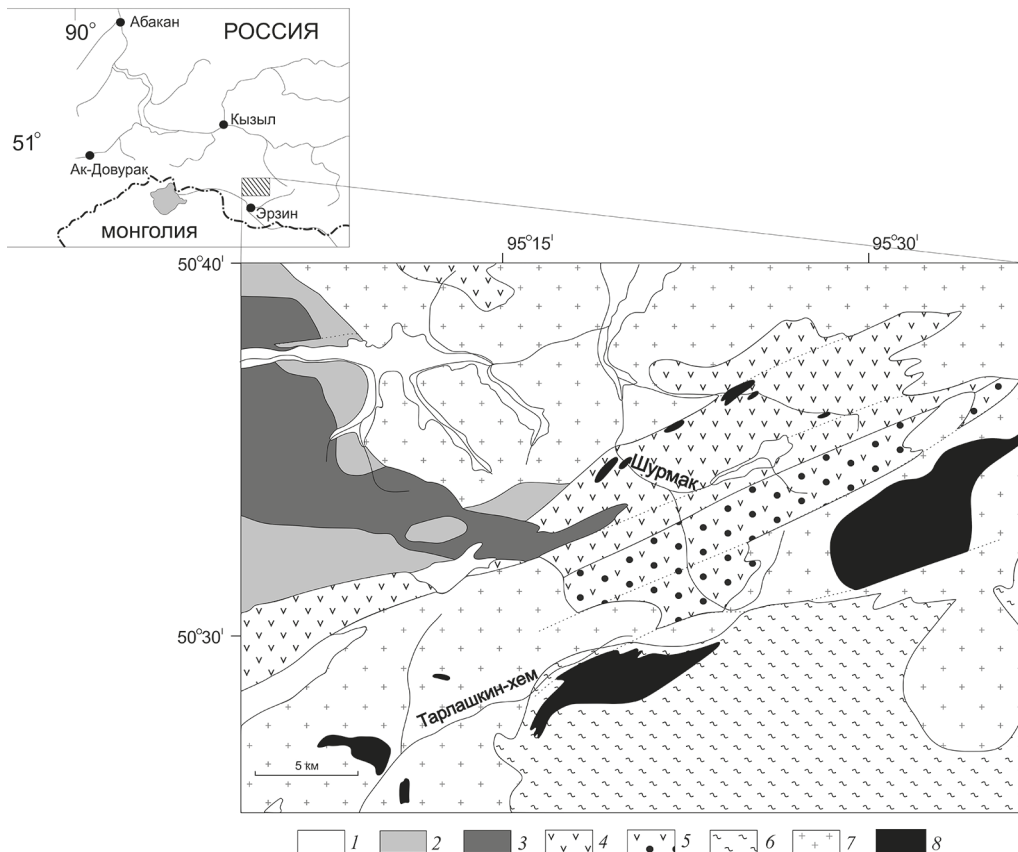


Рис. 1. Схема геологического строения, юго-восток Тувы, район р. Шурмак (на основе геологической карты М-46-ХVIII под ред. Ю. М. Шейнманн):

1 — четвертичные отложения, 2 — девонские отложения, 3 — кембрийские эффузивные породы, 4 — вулканогенно-осадочные отложения кускунугской свиты, 5 — осадочно-вулканогенные породы шурмакской свиты, 6 — породы Эрзинского метаморфического комплекса, 7 — палеозойские гранитоиды, 8 — ультраосновные породы.

На врезке — местоположение района работ (заштрихованный прямоугольник)

свиты — по р. Шурмак (полный разрез свиты) и в левом борту р. Тес-Хем (фрагменты разреза). В нижней части разреза широко распространены конглобрекции с хлоритовым матриксом. В обломочной части преобладают вытянутые линзообразные часто неокатанные обломки лиловых и зеленых аргиллитов, по длинной оси эти обломки могут достигать 15 см. Реже встречаются неокатанные обломки лиловых кремнистых пород. Более мелкие обломки часто представлены белым кварцем, матрикс в этих грубозернистых породах имеет вулканиктовую природу и представлен смесью полевых шпатов и хлорита. В переслаивании с грубозернистыми породами находятся горизонты зелено-серых песчаников в ассоциации с вулканитами среднего и основного составов. Для песчаников характерна горизонтальная слоистость. Выше по разрезу в зеленом матриксе начинают появляться крупные окатанные обломки гранитов и пород основного состава, обломки кремнистых пород и кварца в составе грубозернистых пород почти не присутствуют. В значитель-

Подгруппа Система	Отдел	Мощность в м	Характеристика пород
К Е М Б Р И С К А Я	Н И Ж Н И Й	3000	Серлигская свита. Эффузивы и туфы среднего состава, известняки, известковистые сланцы, алевролиты, песчаники, брекчии
		1575	Куксунугская толща. Базальтовые порфириды, спилиты, филлиты, кремнистые сланцы, кварциты, микрокварциты, известняки, туфогравелиты
		990–1140	Шурмакская свита. Валунные и разногалечные конгломераты с подчиненными прослоями туфопесчаников и порфиридов
ВЕРХНИЙ ПРОТЕРОЗОЙ		1200	Мугурская свита. Гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, кварциты, мраморизованные известняки, углисто-графитовые сланцы

Рис. 2. Фрагмент стратиграфической колонки к геологической карте СССР масштаба 1:200 000. Серия Западно-Саянская. Лист М-46-ХVIII (Александров, 1985)

ном количестве присутствуют обломки валунной размерности. Вверх по разрезу увеличивается количество обломков в конгломератах без изменения их состава. В средней части конгломератовой толщи обнаружены несколько горизонтов туфов. Общая мощность шурмакской свиты 990–1140 м. В обломочной части конгломератового горизонта преобладают гранитные обломки. Они имеют валунную размерность, хорошо окатанные. Обломки вулканитов в большинстве случаев изменены. Здесь проявлены процессы эпидотизации, окремнения, карбонатизации, поэтому нами для классификации этих пород была использована диаграмма (Winchester and Floyd, 1977), основанная на распределении немобильных элементов в различных вулканических породах (Zr, TiO₂, Nb, Y) (рис. 3). Так, вулканиты обломочной части

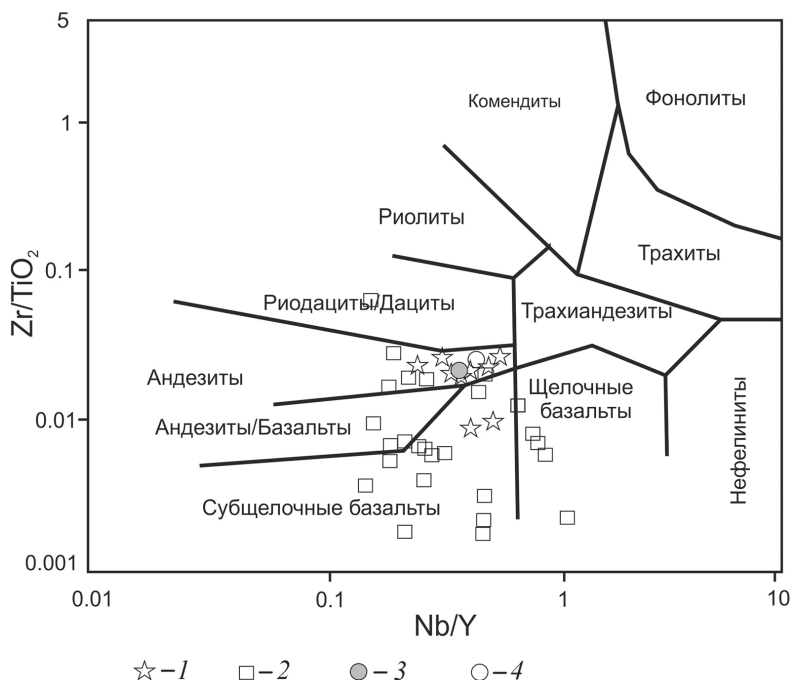


Рис. 3. Диаграмма Nb/Y-Zr/TiO₂ (Winchester and Floyd, 1977) для пород шурмакской свиты:

1 — вулканы из разреза шурмакской свиты, 2 — вулканы из обломков конгломератовой толщи шурмакской свиты, 3 — туф шурмакской свиты, 4 — матрикс конгломератов шурмакской свиты

конгломератового горизонта представлены в основном субщелочными базальтами и андезитами, реже встречаются щелочные базальты, андезибазальты, трахиандезиты и риодациты. Следует отметить, что туф, матрикс и вулканомиктовые песчаники из разреза шурмакской свиты имеют схожие геохимические характеристики и по своему составу соответствуют андезитам.

3. Методика исследования и фактический материал

Для U-Pb изотопного датирования цирконов были отобраны четыре пробы: K-176/15, K-34/16, K-242/15 и TV-119, представленные матриксом конгломератов, песчаником и туфом. Выделение цирконов для U-Pb датирования проводилось в Центре коллективного пользования научным оборудованием многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ЦКП МИИ СО РАН) Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) по стандартной методике, основанной на сочетании магнитной сепарации и разделения в тяжелых жидкостях. Изучение морфологии и внутреннего строения кристаллов цирконов проводилось в проходящем и отраженном свете. Внутреннее строение цирконов было изучено на сканирующих катодолюминесцентных микроскопах JEOL JSM 6510LV и LEO 1430VP с приставкой Detector Centaurus (ЦКП МИИ СО РАН, Новосибирск). Определение U-Pb возраста цирконов проводилось методом LA-ICP-MS в Институте гео-

химии и аналитической химии РАН на масс-спектрометре Element XR (Thermo Finnigan) с системой лазерной абляции UP-213 (New Wave Research). Для контроля данных в качестве внешнего стандарта для U-Pb датирования использованы цирконы 91500 и GJ-1. Детали методики описаны в (Jackson et al., 2004). Средневзвешенное значение возраста для этих стандартов по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ соответственно 1065.3 ± 1.6 млн лет (2σ , СКВО = 0.85, вероятность равна 0.64, $n = 19$) и 606 ± 2.4 млн лет (2σ , СКВО = 0.74, вероятность равна 0.66, $n = 9$). Использовались следующие настройки прибора: диаметр кратера 30 μm , частота 4 Гц, плотность энергии составляла 10–15 Дж/см². Последующая обработка результатов анализов проводилась с помощью программного пакета GLITTER (Van Achterbergh et al., 2001; Griffin et al., 2008). Для построения U-Pb диаграмм с конкордией использовался макрос Isoplot 3.0 (Ludwig, 2003) для программы Microsoft Excel 2003. Для дальнейших исследований брались данные возраста с дисконкордантностью менее 10 %. Для цирконов древнее 1000 млн лет за время их кристаллизации в исходной породе принимался возраст, рассчитанный по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, а для более молодых цирконов — возраст, рассчитанный по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Пики на гистограммах распределения возрастов детритовых цирконов соответствуют примерным максимальным значениям, образованным не менее чем пятью замерами.

4. Результаты U-Pb датирования осадочно-вулканогенных пород шурмакской свиты

В пробе TV-119 (среднее течение р. Шурмак, $50^{\circ}33'18.7''$ с. ш., $95^{\circ}22'15,0''$ в. д.), представленной туфом андезитового состава, было проанализировано 50 зерен, из которых конкордантные значения имеют 40 зерен. Основная популяция цирконов (24 зерна) имеет возраст в диапазоне 475–513 млн лет с пиком на 500 млн лет (рис. 4, прил. 3.1¹). Следует отметить, что эти цирконы являются самыми молодыми в данной выборке. Хорошо выраженная осцилляторная зональность — сохранившийся во многих случаях кристаллографический облик кристаллов цирконов — позволяет считать эту популяцию в андезитовом туфе синхронной вулканическому событию, возраст которого на основе расчета средневзвешенного значения составляет 500 ± 3.9 млн лет (рис. 5). Вторая популяция цирконов имеет интервал значений возраста от 739 до 831 млн лет с пиком на 780 млн лет. Зерна цирконов в большинстве случаев имеют кристаллическую форму и осцилляторную зональность. Следует отметить три зерна палеопротерозойского возраста — 1981, 1884, 2207 млн лет. Они все имеют округлую форму и неясное внутреннее строение.

В пробе K-176/15 (верховья р. Шурмак, $50^{\circ}31'13.7''$ с. ш., $95^{\circ}22'56.1''$ в. д.), представленной рассланцованным вулканомиктовым песчаником, проанализировано 100 зерен циркона, конкордантные значения имеют 97 зерен. Основная популяция цирконов (53 зерна) имеет возраст в диапазоне 492–547 млн лет с пиком на 505 млн лет (рис. 6, прил. 3.2). Следует отметить, что эти цирконы являются самыми молодыми в данной выборке. Зерна имеют хорошо выраженную осцилляторную зональность и сохранившийся кристаллографический облик кристаллов цирконов. Сред-

¹ Здесь и далее приложения 3.1–3.4 можно найти по электронному адресу: <https://escjournal.spbu.ru/article/view/7445/6779>. Приложения даны в авторской редакции.

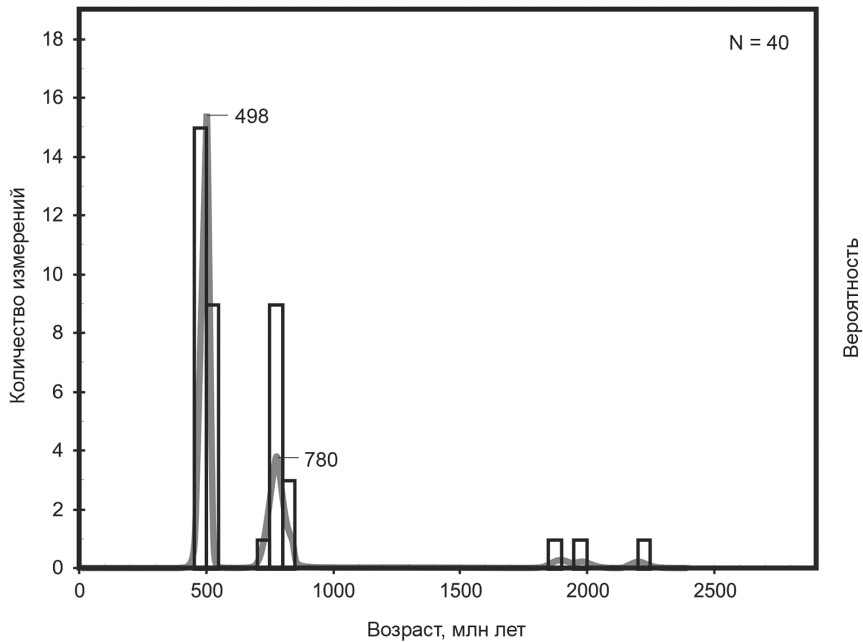


Рис. 4. Гистограмма и кривая относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из пробы андезитового туфа шурмакской свиты (проба TV-119)

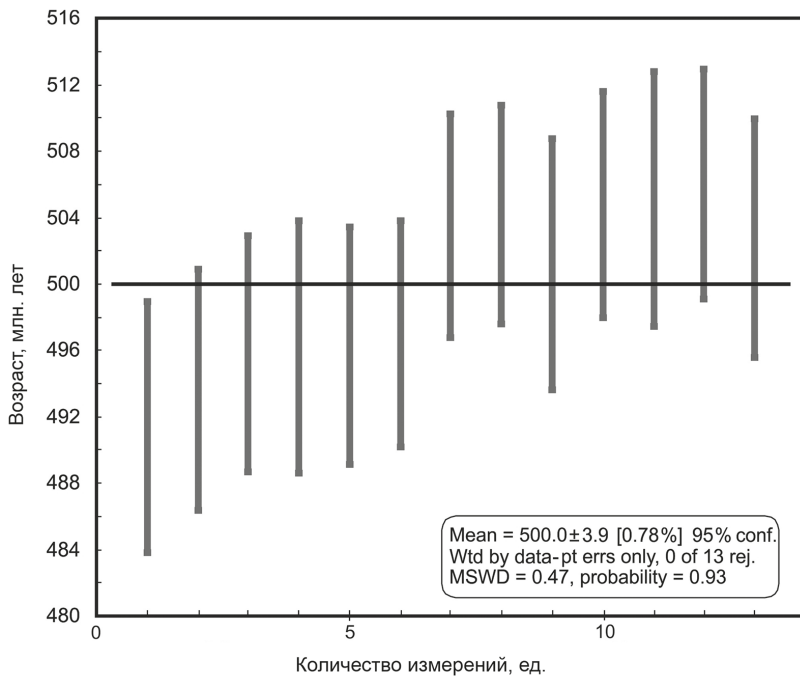


Рис. 5. Средневзвешенный возраст цирконов из пробы андезитового туфа шурмакской свиты (n = 13 зерен, проба TV-119)

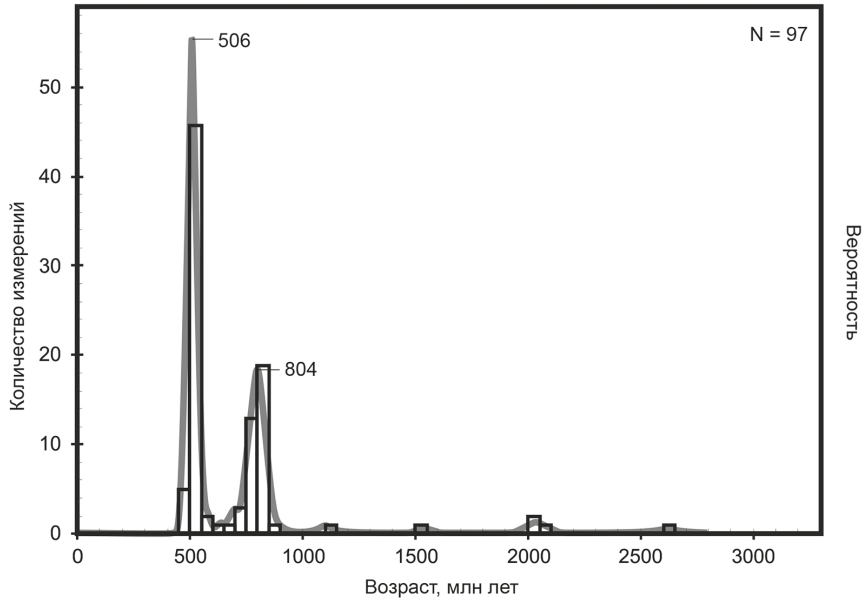


Рис. 6. Гистограмма и кривая относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из пробы вулканомиктового песчаника шурмакской свиты (проба К-176/15)

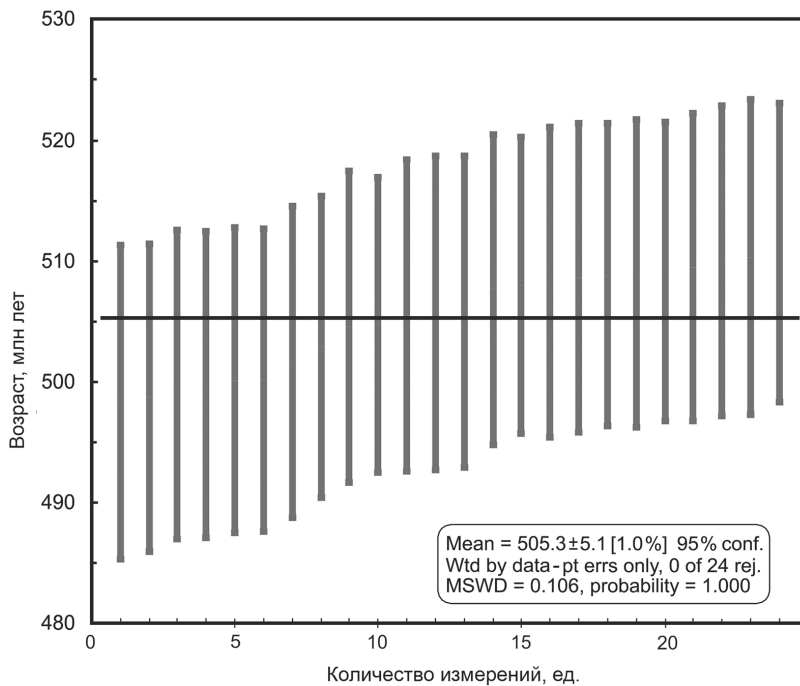


Рис. 7. Средневзвешенный возраст цирконов из пробы вулканомиктового песчаника шурмакской свиты (n = 24 зерен, проба К-176/15)

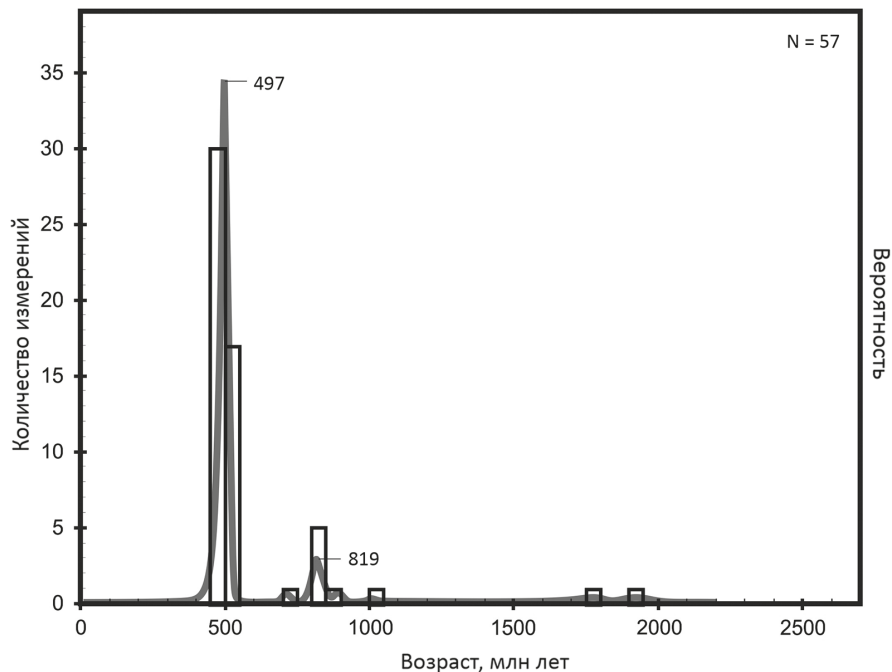


Рис. 8. Гистограмма и кривая относительной вероятности возрастов детритовых цирконов из пробы матрикса шурмакской свиты (проба К-34/16)

невзвешенное значение возраста молодой популяции составляет 505.3 ± 5.1 млн лет (рис. 7). Присутствуют единичные цирконы с возрастaми 572, 585, 639, 685, 705 млн лет, представленные зернами округлой формы и неясного внутреннего строения, а также зерна с возрастaми 718, 741, 896 млн лет, имеющие кристаллографический облик и хорошо выраженную осцилляторную зональность. Вторая популяция цирконов (32 зерна) имеет интервал значений возрастa от 768 до 847 млн лет с пиком на 804 млн лет. Зерна в большинстве случаев имеют кристаллическую форму и осцилляторную зональность. Самыми древними являются цирконы (6 зерен) мезо-палеопротерозойского и неархейского возрастa — 1128, 1583, 2031, 2046, 2101, 2643 млн лет. Они все имеют округлую форму и неясное внутреннее строение.

В пробе К-34/16 (верхоя р. Шурмак, $50^{\circ}17'49.8''$ с. ш., $94^{\circ}44'14.9''$ в. д.), взятой из песчано-гравийного хлоритового матрикса конгломератов, проанализировано 60 зерен цирконов, из которых конкордантные значения имеют 57 зерен. Основная популяция цирконов (47 зерен) имеет возраст в диапазоне 481–518 млн лет, пик данной популяции приходится на 495 млн лет (рис. 8, прил. 3.3). Эти цирконы принадлежат одной генерации, аналогичной по облику и строению цирконам из туфа андезитового состава TV-119, указывающим на их магматический генезис, что позволяет считать эту популяцию синхронной вулканизму. Их возраст на основе расчета средневзвешенного значения составляет 495.3 ± 2.1 млн лет (рис. 9). Вторая популяция цирконов (4 зерна) имеет узкий интервал значений возрастa от 809–820 млн лет с пиком на 819 млн лет. Зерна имеют кристаллическую форму и осцилляторную зональность. Выделяются единичные зерна с возрастом 708,

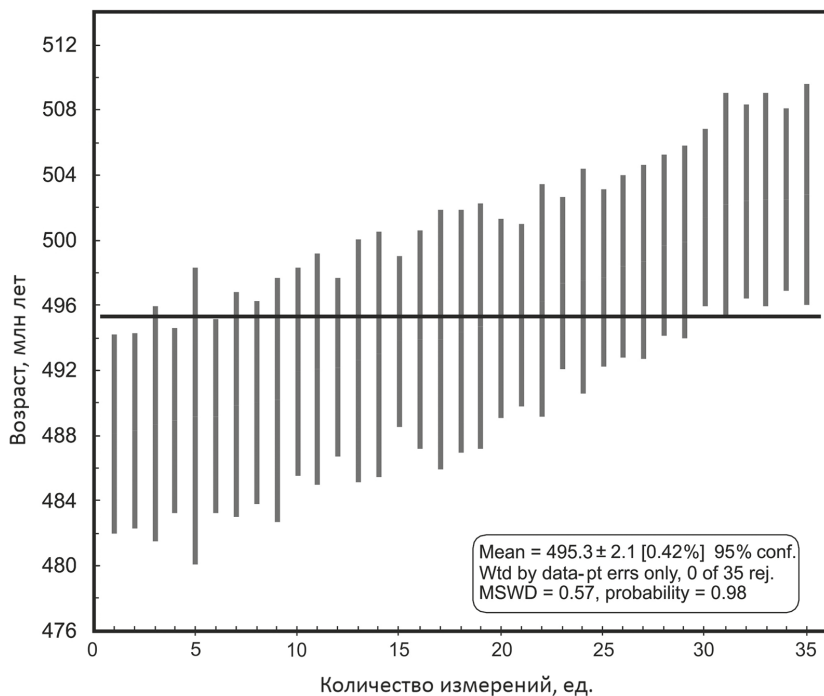


Рис. 9. Средневзвешенный возраст цирконов из пробы матрикса шурмакской свиты (n = 35 зерен, проба К-34/16)

842, 892 млн лет. Также в пробе присутствуют три зерна мезопалеопротерозойского возраста — 1081, 1776, 1922 млн лет. Зерно мезопротерозойского возраста имеет кристаллографический облик и хорошо выраженную осцилляторную зональность, зерна палеопротерозойского возраста имеют округлую форму и неясное внутреннее строение.

Во второй пробе из матрикса конгломератов К-242/15 (среднее течение р. Шурмак, 50°32'45.4" с. ш., 95°22'34.3" в. д.) из 100 изученных зерен цирконов 93 имеют конкордантные значения (прил. 3.4). Основная популяция цирконов (78 зерен) представлена молодыми зернами со значениями возраста на рубеже 500 млн лет. Присутствует популяция (13 зерен) с возрастом около 800 млн лет, пять зерен палеопротерозойского возрастов 1588, 1978, 1989, 2072, 2097 млн лет и одно зерно неоархейского возраста 2724 млн лет.

5. Обсуждение результатов

Исходя из полученных данных U-Pb изотопного датирования цирконов из разнообразных по составу пород шурмакской свиты — туфа андезитового состава, вулканомиктового песчаника и песчано-гравийного матрикса конгломератов, установлено время накопления данной осадочно-вулканогенной толщи (рис. 10). Основная популяция цирконов из этих пород представлена зернами, имеющими молодой возраст из очень узкого интервала на рубеже 500 млн лет. Данные по U-Pb датированию цирконов из туфа являются геохронологической

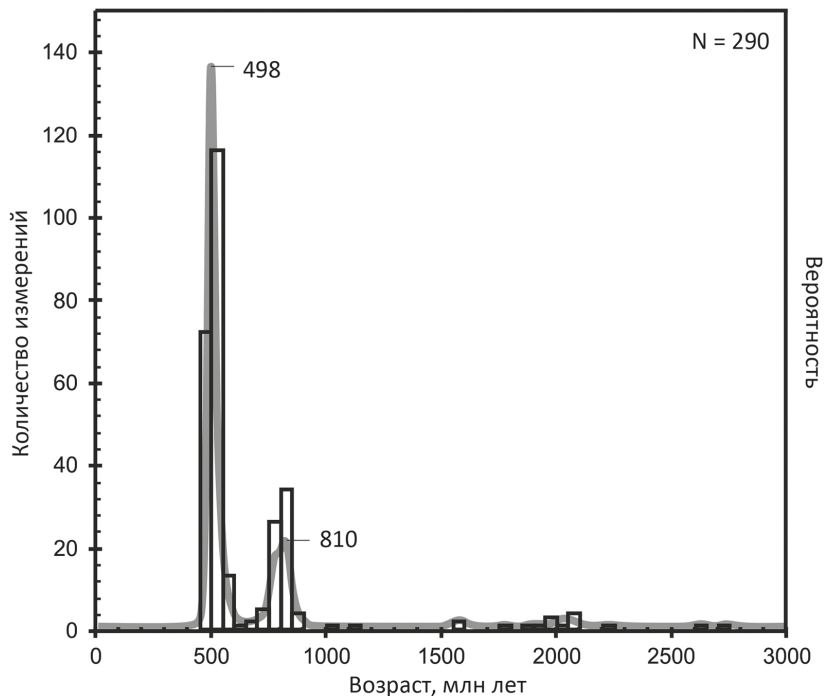


Рис. 10. Сводная гистограмма и кривая относительной вероятности возрастов цирконов из изученных проб шурмакской свиты (туф, матрикс (две пробы), вулканомиктовый песчаник)

датой и точно указывают на время проявления андезитового вулканизма, синхронного с накоплением пород шурмакской свиты. Учитывая близкий возраст цирконов этой популяции как в туфе, так и в обломочных породах, можно считать, что образование последних напрямую связано с проявлениями вулканизма на данной территории в это время. Таким образом, на основе проведенных исследований установлено, что накопление отложений шурмакской свиты происходило 500 млн лет назад.

Во всех изученных пробах также хорошо проявлена популяция цирконов с возрастным пиком около 800 млн лет. Осцилляторная зональность этих цирконов указывает на их магматическую природу. Присутствие данной популяции цирконов в туфе указывает на то, что они попали в осадок в результате эксплозивного вулканизма и являются ксеногенными, т. е. были захвачены из вмещающих пород при движении андезитовых расплавов к поверхности 500 млн лет назад. Отсутствие существенных вторичных изменений морфологии зерен цирконов в трех других пробах указывает на непосредственную близость от бассейна седиментации источника этих цирконов — магматических комплексов, сформированных на рубеже 800 млн лет назад. Следует отметить, что цирконы возрастного диапазона 800 ± 50 млн лет и с типичными формами магматического генезиса пользуются широким распространением в терригенных и метатерригенных породах во многих террейнах Центрально-Азиатского складчатого пояса (Козаков и др., 2005; Rojas-Agramonte et al., 2011 и др., Летникова и др., 2016 и др.).

Во всех изученных пробах пород шурмакской свиты присутствуют древние зерна цирконов. При этом пять зерен имеют мезопротерозойский возраст. Более представительна популяция (15 зерен) с палеопротерозойским возрастом. Также присутствуют два зерна неоархейского возраста. Учитывая Sm-Nd изотопные данные для матрикса из конгломератов и вулканомиктового песчаника, которые имеют палеопротерозойский модельный возраст от 1.7 до 2.4 млн лет и отрицательные значения ϵNd от -3.4 до -8.6 (Иванов, 2018), можно считать, что бассейн седиментации шурмакской свиты наполнялся осадками, поступавшими за счет размыва древнего континентального блока.

Считается, что отложения шурмакской свиты со стратиграфическим несогласием залегают на метаморфических породах мугурской свиты Эрзинского метаморфического комплекса (Александров, 1985). При этом в результате геохронологических исследований установлено, что процессы регионального метаморфизма гранулитовой и амфиболитовой фаций в метаморфическом комплексе происходили в одном возрастном интервале ~ 505 – 490 млн лет (Козаков и Азимов, 2017). Одновременно с метаморфизмом гранулитовой фации в не связанном с данным комплексом осадочном бассейне происходило накопление пород шурмакской свиты и проявление андезитового вулканизма. Учитывая отсутствие установленных контактов между этими стратиграфическими подразделениями, можно считать, что между ними наблюдается метаморфическое несогласие, указывающее на более позднее совмещение отложений шурмакской свиты с породами мугурской свиты Эрзинского метаморфического комплекса в посткембрийское время.

6. Заключение

В результате проведенных исследований на основе U-Pb датирования детритовых цирконов установлен среднекембрийский возраст пород шурмакской свиты. Так, на рубеже 500 млн лет назад происходило накопление осадочной толщи, сопровождавшееся вулканизмом андезитового состава. Источником основной части обломочного материала при формировании этих отложений послужили продукты синхронного с седиментацией вулканизма. Еще одним источником поступления обломочного материала являлись магматические породы, формировавшиеся около 800 млн лет назад. Присутствие во всех изученных пробах цирконов древнее 1 млрд лет с преобладанием зерен палеопротерозойского возраста позволяет предполагать, что накопление этой толщи происходило в результате разрушения пород древнего палеопротерозойского блока, что согласуется с данными Sm-Nd изотопии для пород шурмакской свиты.

Литература

- Александров, Г. П. (1985). *Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Западно-Саянская. Лист М-46-ХVIII, XXIV. Объяснительная записка*. Москва: Союзгеолфонд, 136.
- Барабаш, Н. В., Владимиров, В. Г., Травин, А. В., Юдин, Д. С. (2007). $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирование деформаций трансформно-сдвигового этапа эволюции ранних каледонид западного Сангилена (юго-восточная Тува). *Доклады Академии наук*, 414 (2), 226–232.
- Ветров, Е. В., Уваров, А. Н., Вишневская, И. А., Червяковская, М. В., Ветрова, Н. И., Жимулев, Ф. И., Андреева, Е. С. (2020). Структура, возраст, геохимический и изотопно-геохимический (Sm/Nd)

состав серлигской свиты Таннуольского террейна Тувы. *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, 41 (1), 81–94.

- Иванов, А. В. (2018). Кембрийские отложения шурмакской свиты: состав и возраст пород питающих провинций. В: *IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле: материалы конференции*. Новосибирск: ИПЦНГУ, 212–213.
- Козаков, И. К., Натман, А., Сальникова, Е. Б., Ковач, В. П., Котов, А. Б., Подковыров, В. Н., Плоткина, Ю. В. (2005). Мегатерригенные толщи Тувино-Монгольского массива: Возраст, источники, тектоническая позиция. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 13 (1), 1–20.
- Козаков, И. К., Азимов, П. Я. (2017). Геодинамическая обстановка формирования гранулитов Сангиленского блока Тувино-Монгольского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс). *Петрология*, 25 (6), 635–645. <https://doi.org/10.7868/S0869590317060048>
- Летникова, Е. Ф., Вишневская, И. А., Летников, Ф. А., Ветрова, Н. И., Школьник, С. И., Костицын, Ю. А., Караковский, Е. А., Резницкий, Л. З., Каныгина, Н. А. (2016). Осадочные комплексы чехла Дзабханского микроконтинента: различные бассейны седиментации и источники сноса. *Доклады Академии наук*, 470 (5), 570–574. <https://doi.org/10.7868/S0869565216290223>
- Griffin, W. L., Powell, W. J., Pearson, N. J. and O'Reilly, S. Y. (2008). GLITTER: data reduction software for laser ablation ICP-MS. In: P. J. Sylvester, ed., *Laser ablation ICP-MS in the Earth sciences: current practices and outstanding issues*. *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, 40, 308–311.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004). The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211, 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>
- Ludwig, K. R. (2003). Isoplot 3.0. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley Geochron. CenterSpec. Publ., 4.
- Pfander, J. A., Jochum, K. P., Kozakov, I., Kroner, A. and Todt, W. (2002). Coupled evolution of back-arc and island arc — like mafic crust in the late — eoproterozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite, Central Asia: evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data. *Contrib. Mineral Petrol*, 143, 154–174. <https://doi.org/10.1007/s00410-001-0340-7>
- Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Demoux, A., Xia, X., Wang, W., Donskaya, T., Liu, D. and Sun, M. (2011). Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 19, 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2010.10.004>
- Van Achterbergh, E., Ryan, C. G., Jackson, S. E. and Griffin, W. L. (2001). La-ICP-MS in the Earth sciences — appendix 3, data reductions of tware for La-ICP-Ms. In: P. J. Sylvester, ed., *Short course*. St. John's Mineral. Assoc., Canada, 29, 239–243.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1977) Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20, 325–343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)

Статья поступила в редакцию 29 мая 2020 г.

Статья рекомендована в печать 12 октября 2020 г.

Контактная информация:

Иванов Александр Владимирович — ivanovav@igm.nsc.ru

Летникова Елена Феликсовна — efletnik@igm.nsc.ru

Школьник Светлана Ивановна — sink@crust.irk.ru

Прошенкин Артем Игоревич — aiprosh@igm.nsc.ru

Бродникова Елизавета Андреевна — brodnikovaelizaveta@mail.ru

Age of rocks of the Shurmak Formation according to U-Pb dating of zircon by LA-ICP-MS method (south-eastern Tuva)*

A. V. Ivanov¹, E. F. Letnikova¹, S. I. Schkolnik^{1,2},
A. I. Prochenkin¹, E. A. Brodnikova¹

¹ Sobolev Institute of Geology and Mineralogy,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
3, pr. Akademika Koptiuga, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

² Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences,
128, ul. Lermontova, Irkutsk, 664033, Russian Federation

For citation: Ivanov, A. V., Letnikova, E. F., Schkolnik, S. I., Prochenkin, A. I., Brodnikova, E. A. (2020). Age of rocks of the Shurmak Formation according to U-Pb dating of zircon by LA-ICP-MS method (south-eastern Tuva). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 65 (4), 702–716. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2020.406> (In Russian)

In southeastern Tuva, early Proterozoic volcanogenic-sedimentary deposits were studied, including conglomerates from the Shurmak Formation. As a result of U-Pb zircon dating from tuff with andesitic composition, conglomerate matrix and volcanoclastic sandstones from this formation, it was established that it was accumulated at around 500 Ma. The dating results for zircons from tuff are a geochronological date indicating the time of manifestation of andesitic volcanism synchronous with accumulation of Shurmak Formation deposits. Given the close age of zircons of the main populations in both tuff and clastic rocks, one can assume that the formation of the latter is related directly to the manifestations of volcanism on this territory at the time. Zircons with Neoproterozoic and Paleoproterozoic ages are present in matrix of conglomerates and volcanoclastic sandstones of Shurmak Formation in the form of rock fragments and in tuffas in the form of xenogenic minerals. This, together with a result from Sm-Nd isotopic dating indicated that these volcanic and sedimentary processes in the early Cambrian time took place within the range of the Precambrian block of earth's crust. The main supplier of clastic material during the formation of the Early Cambrian Shurmak Formation were volcanic events synchronous with sedimentation. Other sources of clastic material entering the sedimentation basin were Neoproterozoic granitoids and, less commonly, Paleoproterozoic and Neoproterozoic rocks. Combination with the underlying rocks of the Mugur Formation of the Erza metamorphic complex occurred as a result of tectonic processes in the post-Cambrian time, since the sedimentation of the Shurmak Formation deposits and the processes of granulite metamorphism in the rocks of the metamorphic complex occurred almost simultaneously.

Keywords: sedimentary-volcanogenic deposits, conglomerates, age, zircons, U-Pb dating, Cambrian.

References

- Alexandrov, G. P., (1985). *Geological map of the USSR 1:200 000. Series of West-Sayan. List M-46-XVIII, XXIV. Explanatory note.* Moscow: Southgeolfond Publ., 136.
- Barabash, N. V., Vladimirov, V. G., Travin, A. V. and Yudin, D. S. (2007). ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the stage of transform-shear deformation in evolution of the early Caledonides in western Sangilen, southeastern Tuva. *Doklady Earth Science*, 414 (1), 592–598. <https://doi.org/10.1134/S1028334X0704023X>

* This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants 18-05-00604, 18-35-20025, 20-05-00560, expeditionary work, study and dating of sedimentary rocks) and the Russian Science Foundation (19-17-00099, expeditionary work, study and dating volcanics and tuffs of the Shurmak Formation).

- Griffin, W.L., Powell, W.J., Pearson, N.J. and O'Reilly, S.Y. (2008). GLITTER: data reduction software for laser ablation ICP-MS. In: P.J. Sylvester, ed., *Laser ablation ICP-MS in the Earth sciences: current practices and outstanding issues*. *Mineral. Assoc. Canada. Short Course*, 40, 308–311.
- Ivanov, A. V. (2018). Cambrian deposits Shurmak Formation: composition and age of the rocks of the source areas. In: *IX Siberian conference of young scientists on Earth Sciences: conference materials*. Novosibirsk: IPSRU Publ., 212–213.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L. and Belousova, E.A. (2004). The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211, 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017>
- Kozakov, I.K., Saĭnikova, E.B., Kovach, V.P., Kotov, A.B., Podkovyrov, V.N., Plotkina, Yu. V. and Natman, A. (2005). Metasedimentary complexes of the Tuva-Mongolian massif: Age, provenances, and tectonic position. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 13 (1), 1–20.
- Kozakov, I.K. and Azimov, P.Y. (2017). Geodynamics of the origin of granulites in the Sangilen block of the Tuva–Mongolian terrane, Central Asian Orogenic Belt. *Petrology*, 25 (6), 615–624. <https://doi.org/10.1134/S0869591117060042>
- Letnikova, E.F., Vishnevskaya, I.A., Letnikov, F.A., Vetrova, N.I., Shkolnik, S.I., Kostitsyn, Yu. A., Karakovsky, E.A., Reznitsky, L.Z. and Kanygina, N.A. (2016). Sedimentary complexes of the cover of the Dzabkhan continental block: Different sedimentary basins and source areas. *Doklady Earth Sciences*, 470, 1071–1075. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16100147>
- Ludwig, K.R. (2003). *Isoplot 3.0. A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Berkley Geochron. Center-Spec. Publ., 4.
- Pfander, J.A., Jochum, K.P., Kozakov, I., Kroner, A. and Todt, W. (2002). Coupled evolution of back-arc and island arc — like mafic crust in the late — eoproterozoic Agardagh Tes-Chem ophiolite, Central Asia: evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 143, 154–174. <https://doi.org/10.1007/s00410-001-0340-7>
- Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Demoux, A., Xia, X., Wang, W., Donskaya, T., Liu, D. and Sun, M. (2011). Detrital and xenocrystic zircon ages from Neoproterozoic to Palaeozoic arc terranes of Mongolia: Significance for the origin of crustal fragments in the Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research*, 19, 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.10.004>
- Van Achterbergh, E., Ryan, C.G., Jackson, S.E. and Griffin, W.L. (2001). La-ICP-MS in the Earth sciences — appendix 3, data reductions of tware for La-ICP-MS. In: P.J. Sylvester, ed., *Short course*. St. John's Mineral. Assoc., Canada, 29, 239–243.
- Vetrov, E.V., Uvarov, A.N., Vishnevskaya, I.A., Chervyakovskaya, M.V., Vetrova, N.I., Zhimulev, F.I. and Andreeva, E.S. (2020). Structure, age, geochemical and isotope-geochemical (Sm/Nd) composition of the Serlig Formation of the Tannuol Terrane of Tuva. *Geology and mineral resources of Siberia*, 41 (1), 81–94.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A. (1977) Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobile Elements. *Chemical Geology*, 20, 325–343. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(77\)90057-2](https://doi.org/10.1016/0009-2541(77)90057-2)

Received: May 29, 2020

Accepted: October 12, 2020

Contact information:

Alexandr V. Ivanov — ivanovav@igm.nsc.ru

Elena F. Letnikova — efletnik@igm.nsc.ru

Svetlana I. Schkolnik — sink@crust.irk.ru

Artem I. Prochenkin — aiprosh@igm.nsc.ru

Elizaveta A. Brodnikova — brodnikovaelizaveta@mail.ru