

## ГЕОХИМИЯ ВЕНДСКИХ (?) МЕТАОСАДОЧНЫХ ПОРОД БЫРКИНСКОЙ СЕРИИ АРГУНСКОГО СУПЕРТЕРРЕЙНА

© 2022 г. Ю. Н. Смирнова<sup>а</sup>, \*, С. И. Дриль<sup>б</sup>, \*\*

<sup>а</sup>Институт геологии и природопользования ДВО РАН,  
пер. Релочный, 1, г. Благовещенск, Амурская обл., 675000 Россия

<sup>б</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, ул. Фаворского, 1А, г. Иркутск, Иркутская обл., 664033 Россия

\*e-mail: smirnova@ascnet.ru

\*\*e-mail: sdril@igc.irk.ru

Поступила в редакцию 12.02.2021 г.

После доработки 13.04.2021 г.

Принята к публикации 13.04.2021 г.

В публикации представлены первые результаты геохимических и Sm-Nd изотопно-геохимических исследований условно вендских метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Анализ химического состава пород позволил установить, что источниками сноса кластического материала послужили образования как кислого, так и основного составов. Данный вывод согласуется с наличием в разрезе свит прослоев метаэффузивов кислого и основного составов. Изотопно-геохимические исследования метаосадочных пород быркинской серии свидетельствуют о присутствии в области сноса пород, характеризующихся палеопротерозойским Nd-модельным возрастом. Основными источниками сноса кластического материала для метаосадочных отложений быркинской серии, вероятно, послужили докембрийские магматические и метаморфические комплексы, расположенные на территории Аргунского супертеррейна в пределах Восточного Забайкалья и на сопредельной территории Китая.

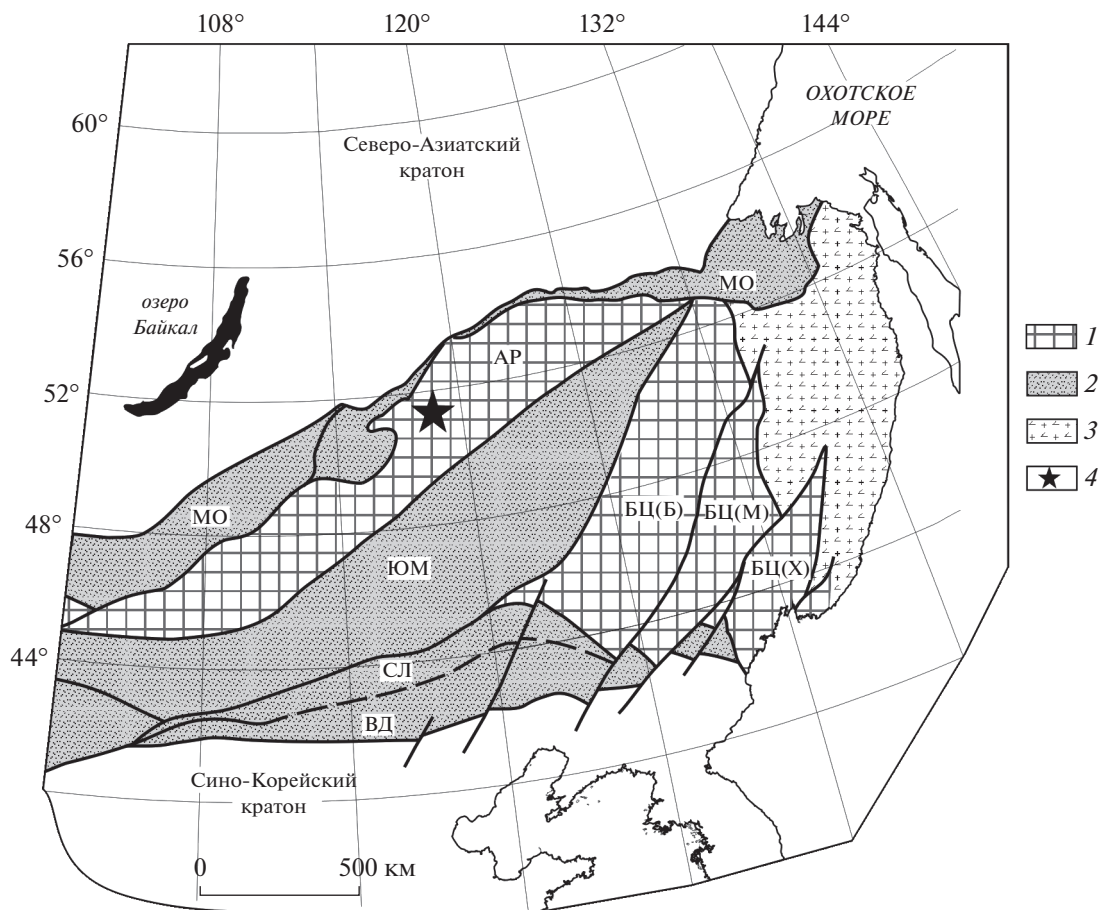
**Ключевые слова:** Аргунский супертеррейн, быркинская серия, метаосадочные породы, источники сноса, геохимия, Nd-модельный возраст

**DOI:** 10.31857/S0016752522030086

### ВВЕДЕНИЕ

Восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса представляет собой коллаж таких крупных супертеррейнов, как Аргунский, Буря-Цзямусинский и Ханкайский, и разделяющих их разновозрастных складчатых поясов (рис. 1), которые, согласно (Зоненшайн и др., 1990), рассматриваются в составе крупного микроконтинента “Амурия”. К настоящему времени накоплен значительный объем информации для посткембрийских осадочных толщ и магматических комплексов Аргунского супертеррейна (Котов и др., 2009а, 2009б, 2013; Смирнова и др., 2013, 2015, 2016; Сорокин, Кудряшов, 2017; Сорокин и др., 2004, 2014; Ge et al., 2005; Wu et al., 2011; Zhou et al., 2011 и др.). Докембрийская история супертеррейна менее изучена. Наиболее древние образования, слагающие фундамент Аргунского супертеррейна в пределах Восточного Забайкалья, представлены протерозойскими глубокометаморфизованными породами урульгинского и ишагинского комплексов. Геохронологический возраст тектонитов, сложенных породами урульгинского комплекса в райо-

не пос. Досатуй, составляет 1800–1630 млн лет (Шивохин и др., 2010). Метаморфические породы ишагинского комплекса развиты в Урюмканском и Ишагинском гранито-гнейсовых куполах на северо-востоке Аргунского супертеррейна. Согласно Sm-Nd изотопно-геохимическим исследованиям, модельный возраст формирования континентальной коры Ишагинского купола мезопротерозойско-неопротерозойский (Гордиенко и др., 2019). К позднему протерозою отнесены условно рифейские и вендские осадочные и вулканогенно-осадочные породы даурской и быркинской серий, а также позднедокембрийские гранитные комплексы (Анашкина и др., 1977; Бибикина и др., 1979; Бутин, 1990; Голубев и др., 2010; Решения ..., 1994; Шивохин и др., 2010) (рис. 2). Согласно существующим представлениям накопление отложений даурской и быркинской серий Аргунского супертеррейна происходило в обстановке активной континентальной окраины (Шивохин и др., 2010). В пределах современного Забайкалья в этот период времени существовала система островных дуг и сопряженных окраинных бассейнов (Гордиенко и др., 2019). Ранее нами были изучены осадочные породы уру-

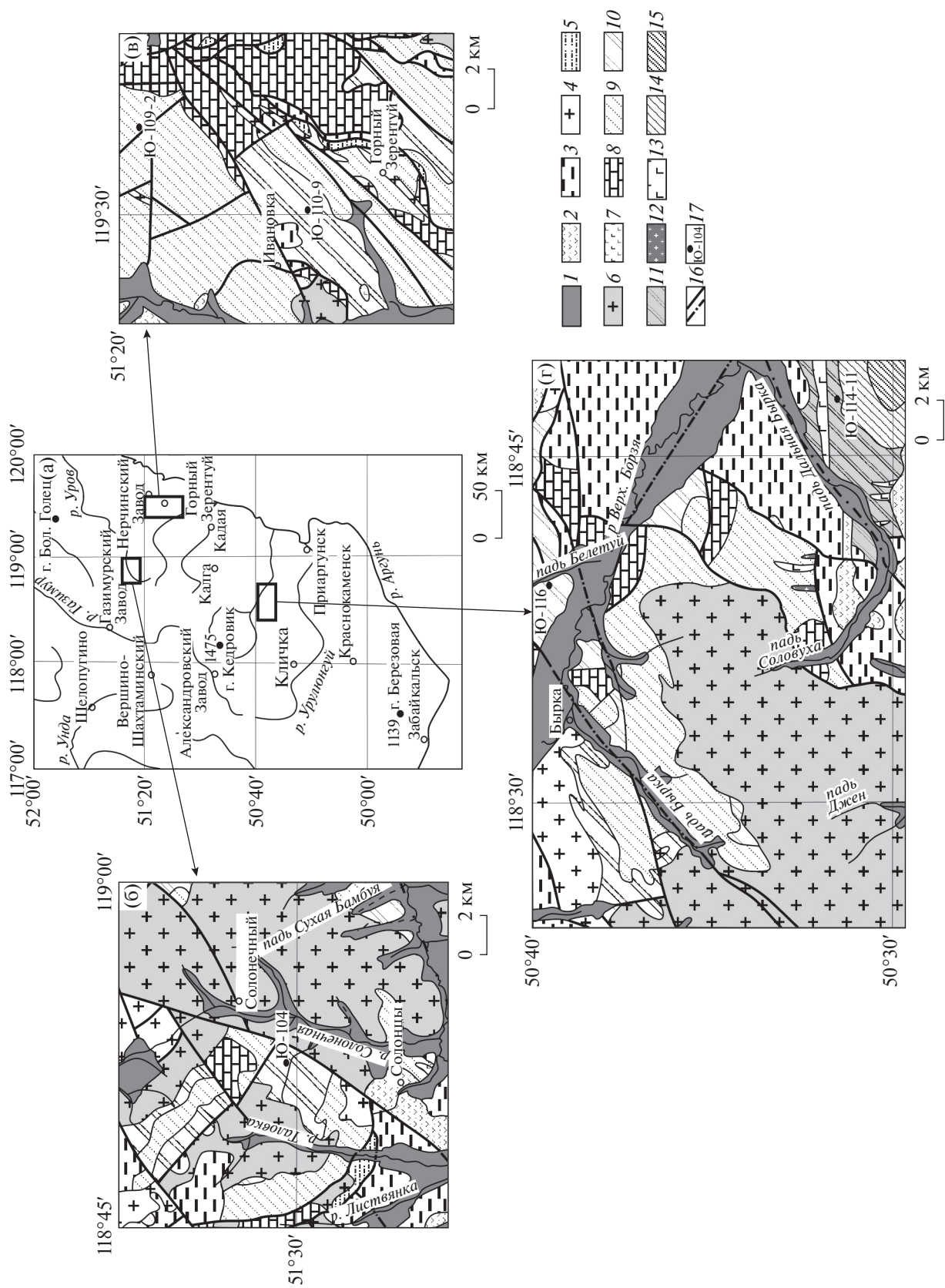


**Рис. 1.** Тектоническая схема восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Составлена по (Парфенов и др., 2003). Условные обозначения: 1 – супертеррейны АР – Аргунский, БЦ – Буря-Цзямусинский; террейны Бурейский (Б), Малохинганский (М), Ханкайский (Х), 2 – палеозойские–раннемезозойские складчатые пояса (ЮМ – Южно-Монгольско–Хинганский, СЛ – Солонкерский, ВД – Вундурмиао); 3 – позднеюрско-раннемеловые орогенные пояса; 4 – район исследований.

люнгульской и дырбылкейской свит даурской серии. Результаты U-Th-Pb датирования цирконов показали, что в песчаниках урулюнгульской и дырбылкейской свит наиболее молодые популяции детритовых цирконов имеют возраст 899 и 771 млн лет соответственно. Эти данные свидетельствуют о том, что нижняя возрастная граница накопления отложений урулюнгульской и дырбылкейской свит приходится на неопротерозой, а именно тоний (Смирнова и др., 2021). Однако из-за ограниченного объема изотопно-геохимических и

геохронологических данных для докембрийских образований Аргунского супертеррейна затруднено понимание эволюции супертеррейна в докембрии. В этой связи нами были проведены геохимические и Sm-Nd изотопно-геохимические исследования метаосадочных пород кличкнской и белетуйской свит быркинской серии с целью выявления основных источников сноса кластического материала и уточнения тектонической эволюции Аргунского супертеррейна в позднем протерозое.

**Рис. 2.** Районная карта (а) и геологические схемы (б–г) северо-западной части Аргунского супертеррейна. Составлены по (Озерский, Винниченко, 2002; Озерский и др., 2001а, 2001б; Шивохин и др., 2010) с изменениями авторов. Условные обозначения: 1 – кайнозойские рыхлые отложения, 2 – меловые вулканогенные и осадочные комплексы, 3 – юрские терригенные отложения, 4 – мезозойские гранитоиды, 5 – палеозойские терригенные и терригенно-карбонатные отложения, 6 – позднепалеозойские и раннемезозойские гранитоиды, 7 – позднепалеозойские и раннемезозойские габбро и диориты, 8 – условно кембрийские терригенные и терригенно-карбонатные отложения аргунской серии, 9–11 – условно вендские метаосадочные породы быркинской серии: 9 – верхней подсвиты белетуйской свиты, 10 – нижней подсвиты белетуйской свиты, 11 – кличкнской свиты, 12–13 – условно вендские образования быркинского комплекса: 12 – гранитоиды, 13 – метагаббро, 14–15 – условно верхнерифейские терригенные и терригенно-карбонатные отложения даурской серии: 14 – нортуйской свиты, 15 – дырбылкейской свиты, 16 – разломы, 17 – места отбора образцов для Sm-Nd изотопно-геохимических исследований и их номера.



## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований являются метаосадочные породы кличкинской и белетуйской свит, которые рассматриваются в составе быркинской серии Аргунского супертеррейна. Породы быркинской серии распространены на территории Забайкальского края, протягиваясь от поселка Кличка на юго-западе до бассейна реки Уров на северо-востоке (Шивохин и др., 2010). Отложения кличкинской свиты характеризуются резкой фашиальной изменчивостью. Так единичные выходы кличкинской свиты, выделенные в бассейне пади Кадавасун, ранее рассматривались в составе милозанской (Анашкина и др., 1977) или кадавасунской (Павлова и др., 2001) свиты. В разрезе свиты преобладают пестроцветные переслаивающиеся кремнистые, глинистые, глинисто- и известковисто-кремнистые сланцы, известковистые песчаники, известковистые брекчии, кислые эффузивы и туфы. Также в составе свиты присутствуют линзы фтанитов и яшмоидов. Среди обломков в брекчиях выявлены доломиты и кварц. Отличительной особенностью верхней части разреза является более тонкое переслаивание пород (Анашкина и др., 1977).

Восточнее, а именно в бассейнах падей Дарбыкей, Дальняя Бырка и на правобережье реки Верхняя Борзя, представлен наиболее полный разрез кличкинской свиты общей мощностью 1500 м. Здесь на отложениях нортуйской свиты залегают мелкозернистые аркозовые или кварцевые песчаники мощностью 200–300 м, которые сменяются более крупнозернистыми разностями и гравелитами. Обломки в песчаниках и гравелитах представлены кварцем и калиевыми полевыми шпатами. Среди песчаников отмечаются прослой кварц-двуслюдяных и кварц-углеродистослюдяных сланцев, алевропесчаников и алевролитов. Верхняя часть разреза сложена алевролитами, переслаивающимися с песчаниками, алевропесчаниками, доломитами и известняками. Свита насыщена рассланцованными и превращенными в зеленые сланцы метаэффузивами, которые также включаются в состав кличкинской свиты (Анашкина и др., 1977; Озерский, Винниченко, 2002).

В отложениях кличкинской свиты органические остатки не выявлены, а возраст свиты принят условно вендским. Во всех разрезах породы кличкинской свиты согласно перекрывают отложения нортуйской свиты даурской серии через постепенное переслаивание карбонатных и терригенных отложений, а в районе падей Бол. Колторотуй и Белетуй на сланцах кличкинской свиты с угловым несогласием залегают метаморфизованные конгломераты белетуйской свиты, образуя базальную пачку мощностью 120–150 м.

Белетуйская свита разделена на две подсвиты. В составе нижней подсвиты выделены филлитовидные сланцы, песчаники, алевропесчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями известняков и доломитов. Верхняя подсвита сложена полимиктовыми, аркозовыми и кварцевыми песчаниками, гравелитами, конгломератами, алевролитами, сланцами с прослоями известняков и доломитов. Граница между подсвитами проводится по горизонту, сложенному карбонатными породами. Среди галек конгломератов присутствует кварц, кварциты, кремнистые и филлитовидные сланцы, мрамор и калиевый полевой шпат. Для верхней подсвиты белетуйской свиты характерно присутствие метаэффузивов кислого, среднего и основного состава, а также их туфов, туфоконгломератов, туфопесчаников и туфоалевролитов. Породы белетуйской свиты повсеместно претерпели контактовый метаморфизм и динамометаморфизм с образованием разнообразных сланцев, метаморфизованных в эпидот-амфиболитовой, зеленосланцевой и контактово-роговиковой фациях. Общая мощность свиты 3000 м (Шивохин и др., 2010).

Вендский возраст белетуйской свиты принят на основании находок строматолитов *Boxonia* sp., *Columnacollenia* sp., *Columnaefacta* sp., *Newlandia* sp., *Stratifera* sp. и онколитов *Ambigolamellata horridus* Z. Zhur., *Osagia* sp., *O. columnata* Reitl., *O. tenuilamellata* Reitl., *O. gigantea* Korol., *O. mongolica* Korol., *Osagia nimia* Z. Zhur., *O. minuta* Z. Zhur., *O. donatella* Korol., *O. globulosa* Korol., катаграфии *Nubecularites* sp., *Vesicularites* sp., *Vesicularia Schulgini*. В то же время Г.Н. Пономаренко выделен спектр растительных микрофоссилий *Leiomargomasculina* Naum., *Dictyopsophosphaera* Naum., *D. simplex* Naum., *D. modica* Pon., *D. limata* Pon., *Trachypsophosphaera vadumbrata* Pon., *Trematopsophosphaera ordinata* Pon., *Leiopsophosphaera* sp. 1, *Leiomargomasculina* sp. 5, *L. sp. 3a*, *L. sp. 1*, *Dictyomasculina* sp. 4, *Trachimasculina* sp., *Leiomasculina* sp. 7, *L. sp. 2*, *Rifenites* Naum, большинство из которых имеет кембрийский облик (Петрук, Козлов, 2009; Стецюк, 1977; Шивохин и др., 2010).

На общей схеме (рис. 2а) показано расположение участков исследований пород кличкинской и белетуйской свит быркинской серии. Образцы пород были отобраны в окрестностях сел Солонцы, Горный Зерентуй (рис. 2б, 2в) и поселка Бырка (рис. 2г). Координаты образцов, выбранных для Sm-Nd изотопно-геохимических исследований, приведены в табл. 1.

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование химического состава метаосадочных пород быркинской серии проводилось с использованием методов РФА (основные петрогенные оксиды, Zr) в Институте геологии и при-

**Таблица 1.** Координаты мест отбора образцов метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна, отобранных для Sm-Nd изотопно-геохимических исследований, и их краткое описание

№ п/п	№ образца	Координаты [x°x'x"]	Петрографические особенности пород
<i>Кличкинская свита</i>			
1	Ю-114-11	50°31'34.2" 118°47'33.6"	Вулканомиктовый метапесчаник темно-серого цвета. Обломочный материал (0.10–0.70 мм) угловатой и полуугловатой форм и представлен преимущественно обломками вулканических пород и серицит-кварцевых сланцев (до 50%), кварца и полевых шпатов (до 20%). Слюдистый материал представлен мусковитом (до 7%).
<i>Нижняя подсвита белетуйской свиты</i>			
2	Ю-104	51°30'14.4" 118°52'18.8"	Метаалевролит светло-серого цвета, сложенный полуокатанными и полуугловатыми обломками (0.05–0.10 мм) кварца – 20%, полевых шпатов – 5%, слюдисто-кварцевых сланцев – до 5%, а также чешуйками биотита (часто хлоритизированного) и мусковита (до 30%).
3	Ю-110-9	51°14'45.7" 119°30'08.6"	Метаалевролит темно-серого цвета, сложенный полуокатанными и полуугловатыми обломками (0.05–0.10 мм) кварца (35%), полевых шпатов (25%), слюдисто-кварцевых сланцев (до 10%). Среди слюд наблюдаются биотит (часто хлоритизированный) и мусковит (до 13%).
4	Ю-116	50°39'09.1" 118°39'30.7"	Метапесчаник серого цвета. Обломки полуокатанной и полуугловатой форм (0.10–0.25 мм), среди которых выделены кварц (30%), полевые шпаты (15%), серицит-кварцевые сланцы (до 5%). Слюдистый материал представлен биотитом и мусковитом (до 8%).
<i>Верхняя подсвита белетуйской свиты</i>			
5	Ю-109-2	51°19'23.6" 119°34'00.6"	Метапесчаник светло-серого цвета. Обломочный материал (0.10–0.40 мм) полуокатанной и полуугловатой форм: кварц (40%), полевые шпаты (17%), слюдистые и слюдисто-кварцевые сланцы (10%). Мусковит и биотит (редко хлоритизированный) встречаются в виде единичных чешуек.

родопользования ДВО РАН (г. Благовещенск) и ICP-MS (Li, Rb, Sr, Ba, REE, Y, Th, U, Nb, Ta, Zr, Pb, Co, Ni, Sc, V, Cr) в Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН (г. Хабаровск). Гомогенизация порошковых проб для рентген-флуоресцентного анализа выполнялась путем сплавления со смесью метабората и тетрабората лития в муфельной печи при температуре 1050–1100°C. Измерения проводились на рентгеновском спектрометре Pioneer 4S. Величины интенсивности аналитических линий корректировались на фон, эффекты поглощения и вторичной флуоресценции. Для анализа образцов методом ICP-MS проводилось их кислотное разложение. Измерения осуществлялись на приборе Elan 6100 DRC в стандартном режиме. Калибровка чувствительности прибора по всей шкале масс выполнена с помощью стандартных растворов, содержащих все анализируемые в пробах элементы. Относительная погрешность определения содержания петрогенных и малых элементов составляет 3–10%.

Sm-Nd изотопно-геохимические исследования пород проводились в ЦКП Изотопно-геохимических исследований ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Около 100 мг истертого образца разлагалось в смеси кислот HF, HNO<sub>3</sub> и HClO<sub>4</sub>. Перед

разложением к образцу добавлялся смешанный изотопный <sup>149</sup>Sm-<sup>150</sup>Nd трассер. Сумма редкоземельных элементов выделялась с использованием ионообменной смолы BioRad AGW50-X8 (200–400 меш) по традиционным методикам (Richard et al., 1976; Pin et al., 1994; Makishima et al., 2008). Чистые фракции Sm и Nd выделялись из суммы редких земель при помощи ионообменной смолы LN-Spec (100–150 меш) согласно (Yang et al., 2011).

Измерения изотопного состава Sm и Nd проводились на 9-коллекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой MC-ICP-MS Neptune Plus в статическом режиме. В течение проведения измерений бланк составил 0.1–0.2 нг для Sm и 0.2–0.5 нг для Nd. Погрешности определения отношений <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd и <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd составили не более 0.003% и 0.4% соответственно. Полученные данные были нормализованы к отношению <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219. Результаты измерений международного изотопного стандарта JNd-1 (*n* = 40) составили <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.512107 ± 4 при рекомендованном значении <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.512115 ± 7 (Tanaka et al., 2000). Для изотопного состава Nd и концентраций Nd и Sm в международных породных стандартах получены следующие значения: 1) BCR-2 (*n* = 28), <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd =

$= 0.512630 \pm 14$ ;  $Nd = 28.8 \pm 0.1$  мкг/г;  $Sm = 6.52 \pm 0.03$  мкг/г; 2) AGV-2 ( $n = 8$ )— $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512769 \pm 16$ ;  $Nd = 30.3 \pm 0.1$  мкг/г;  $Sm = 5.42 \pm 0.03$  мкг/г.

Исследование изотопного состава Nd в международном образце BCR-2, подготовленного к анализу по описанной выше методике, проводилось также с использованием 7-коллекторного термоионизационного масс-спектрометра Finnigan MAT-262 (ЦКП Геодинамика и геохронология ИЗК СО РАН). Измерения изотопного состава неодима выполнялись с использованием 2-х-ленточного источника ионов с ренийвыми катодами в статическом режиме. Количество наносимого образца составляло в среднем 100–200 нг. Ионный ток  $^{146}Nd$  обычно был равен  $0.5–1.0 \times 10^{(-11)}$  А. Присутствие в спектре неодима следов самария контролировалось по величине отношения  $^{147}Sm/^{144}Nd$ , которое всегда было ниже 0.00005. Правильность результатов определения изотопного состава оценивалась по результатам измерения стандартных образцов JNdI-1 и BCR-2, которые в процессе проведения аналитических работ составили  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512107 \pm 4$  (2SD,  $n = 35$ ) и  $^{143}Nd/^{144}Nd = 0.512629 \pm 8$  (2SD,  $n = 18$ ) соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о полной сопоставимости Sm-Nd изотопных данных, полученных с использованием как высокоточной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, так и классического термоионизационного изотопного анализа. При расчете величин  $\epsilon_{Nd(T)}$  и модельных возрастов  $T_{Nd(DM)}$  использованы современные значения однородного хондритового резервуара (CHUR) по (Jacobsen, Wasserburg, 1984) и деплетированной мантии (DM) по (Goldstein, Jacobsen, 1988).

## ОСНОВНЫЕ ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Вулканикоидные метапесчаники кличкинской свиты темно-серого и зеленовато-серого цвета с массивной текстурой и бластопсаммитовой мелко-крупнозернистой структурой (размер обломков от 0.10 до 0.70 мм). Обломочный материал преимущественно обломками вулканических пород, углеродисто-кварц-серицитовых и серицит-кварцевых сланцев. В меньшем количестве в образцах присутствуют моно- и поликристаллический кварц, полевые шпаты, чешуйки мусковита и хлоритизированного биотита. Цемент регенерационный или контактово-поровый кварц-серицитового состава. Акцессорные минералы: циркон, апатит, гидроксиды железа и магнетит.

В нашей коллекции образцов, представляющей нижнюю подсвиту белетуйской свиты, преобладают метаалевролиты и мелко-среднезернистые ме-

тапесчаники. Метаалевролиты характеризуются светло-серой до темно-серой окраской, массивной текстурой и бластоалевритовой структурой. Обломочный материал (0.05–0.10 мм) имеет полуокатанную и полуугловатую формы и представлен кварцем, полевыми шпатами, слюдисто-кварцевыми сланцами. Среди слюд в изученных образцах наблюдаются биотит (часто хлоритизированный) и мусковит. Цемент базальный слюдисто-кварцевого состава. Акцессорные минералы: циркон, сфен, гранаты, апатит, магнетит и гидроксиды железа.

Метапесчаники нижней подсвиты белетуйской свиты серого и зеленовато-серого цвета. Структура бластопсаммитовая мелко-среднезернистая, текстура массивная. Они состоят из полуокатанных, полуугловатых, реже угловатых обломков (0.10–0.35 мм) кварца (моно- и поликристаллического), полевых шпатов, слюдистых и серицит-кварцевых сланцев. В породах также присутствуют чешуйки биотита и мусковита. Цемент базального типа слюдисто-кварцевого состава. Среди акцессорных минералов наблюдаются циркон, сфен, апатит, гранат, магнетит и гидроксиды железа. Для метапесчаников характерно присутствие углеродистого вещества.

Метапесчаники верхней подсвиты белетуйской свиты светло- и темно-серого цвета с массивной текстурой и бластопсаммитовой мелко-крупнозернистой структурой с плохой сортировкой обломочного материала. Размер обломков варьирует от 0.10 до 1.00 мм. Единичные обломки достигают 1 см. Метапесчаники сложены полуугловатыми и полуокатанными обломками кварца (моно- и поликристаллического), полевых шпатов, слюдистых и слюдисто-кварцевых сланцев, редко встречаются обломки карбонатов, слюды (мусковит, биотит (редко хлоритизированный)). Цемент базальный слюдисто-кварцевый. Для метапесчаников характерны прослойки и линзы углеродистого вещества, количество которого в шлифе может достигать 20%. Акцессорные минералы представлены цирконом, гранатом, сфеном, апатитом, магнетитом и гидроксидами железа.

Метаосадочные породы быркинской серии характеризуются значительными вариациями основных породообразующих компонентов (табл. 2). Фигуративные точки составов вулканикоидных метапесчаников кличкинской свиты на классификационной диаграмме  $\lg(SiO_2/Al_2O_3)–\lg(Na_2O/K_2O)$ , предложенной (Петтиджен и др., 1976), тяготеют к полю аркозов (рис. 3а). В то же время на диаграмме  $\lg(SiO_2/Al_2O_3)–\lg(Fe_2O_3/K_2O)$  (Herron, 1988) эти метапесчаники отвечают ваккам и литоидным аренитам (рис. 3б). В свою очередь, для метаосадочных пород белетуйской свиты типичны существенные вариации значений  $Na_2O/K_2O$ ,  $Fe_2O_3/K_2O$  и  $SiO_2/Al_2O_3$ , в связи с чем на дискриминационной

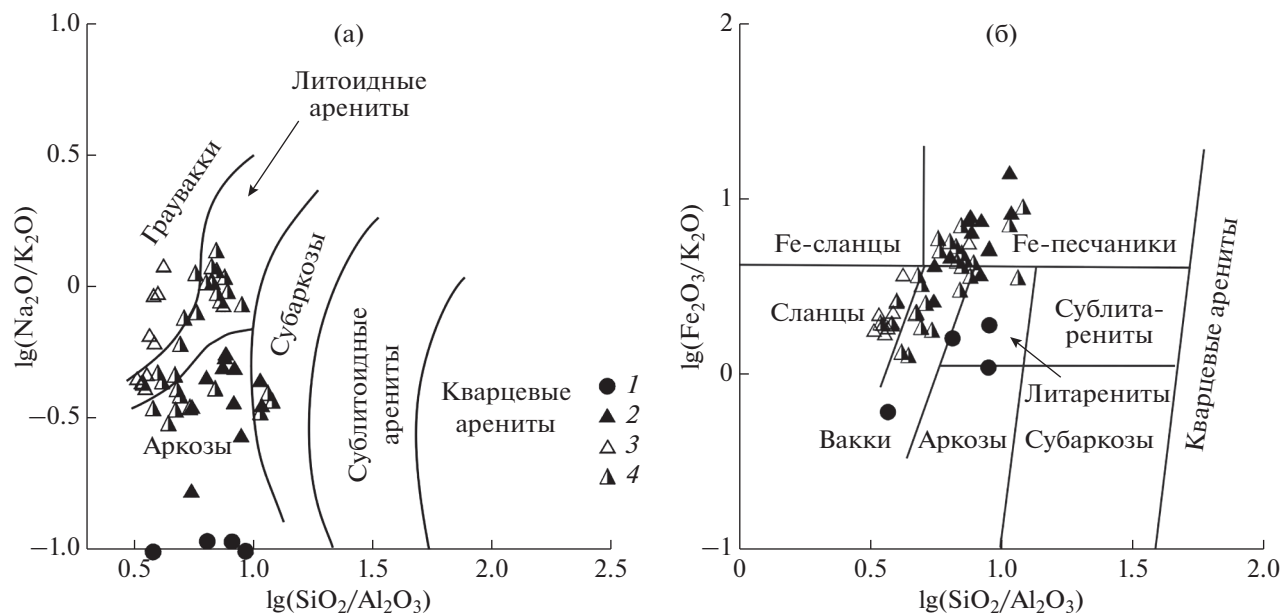


Рис. 3. Диаграммы  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Петтиджон и др., 1976) (а),  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Herron et al., 1988) (б) для метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Условные обозначения: 1 – вулканомиктовые метапесчаники кличкинской свиты, 2–4 – метаосадочные породы белетуйской свиты: 2 – метапесчаники нижней подсвиты, 3 – метаалевролиты нижней подсвиты, 4 – метапесчаники верхней подсвиты.

диаграмме  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Петтиджон и др., 1976) фигуративные точки составов метаосадочных пород белетуйской свиты расположены в поле граувякк, литоидных аренов, аркозов и субаркозов. На диаграмме  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  они по составу соответствуют преимущественно сланцам, ваккам и железистым песчаникам. Для классификации метаалевролитов белетуйской свиты наиболее информативна диаграмма  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ , которая разработана для типизации не только песчаников, но и глинистых пород.

В вулканомиктовых метапесчаниках кличкинской свиты суммарные содержания лантаноидов относительно невысокие ( $\Sigma\text{REE} = 61$ – $122$  г/т) при незначительном преобладании легких редкоземельных элементов над тяжелыми ( $[\text{La}/\text{Yb}]_n = 4.0$ – $9.1$ ) и явно выраженной отрицательной европиевой аномалии ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.57$ – $0.73$ ) (рис. 4а). Содержания большинства элементов-примесей в породах кличкинской свиты близки к таковым в верхней континентальной коре, за исключением дефицита Nb, Ta, Sr, Th (рис. 5а).

Метаалевролиты и метапесчаники нижней подсвиты белетуйской свиты по распределению редкоземельных элементов характеризуются обогащением легких лантаноидов над тяжелыми ( $[\text{La}/\text{Yb}]_n = 7.7$ – $16.0$ ). Европиевая аномалия в них четко проявленная отрицательная ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.61$ – $0.72$ ) (рис. 4б, 4в). По содержанию лантаноидов метаалевролиты и метапесчаники нижней подсвиты различаются (табл. 2). Так в метаалев-

ролитах  $\Sigma\text{REE} = 155$ – $207$  г/т, а в метапесчаниках  $\Sigma\text{REE} < 107$  г/т. В метапесчаниках верхней подсвиты белетуйской свиты отмечаются значительные вариации концентраций лантаноидов ( $\Sigma\text{REE} = 58$ – $152$  г/т) при обогащении легкими редкоземельными элементами над тяжелыми ( $[\text{La}/\text{Yb}]_n = 7.8$ – $14.3$ ) и отрицательной европиевой аномалии ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.59$ – $0.72$ ) (рис. 4г).

В метаалевролитах нижней подсвиты белетуйской свиты концентрации микроэлементов соответствуют верхнекоровым при небольшом дефиците Nb, Ta и Sr (рис. 5б). В то же время уровень концентраций большинства микроэлементов в метапесчаниках нижней и верхней подсвиты белетуйской свиты ниже такового в верхней континентальной коре (рис. 5в, 5г). В метапесчаниках верхней подсвиты белетуйской свиты наблюдается наибольшая вариативность концентраций Ta, Sr, Co. Также стоит отметить, что для всех изученных образцов кличкинской и белетуйской свит быркинской серии характерны повышенные содержания Cr и Ni, которые близки к таковым в позднепротерозойских базальтах (рис. 6а, 6б).

Для реконструкции состава пород в областях сноса нами использовались диаграммы, в основе которых лежит анализ содержаний и соотношений элементов-примесей. Положение фигуративных точек состава метаосадочных пород быркинской серии на диаграммах Th/Co–La/Sc (Cullers, 2002), Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987), Th–La–Sc (Wronkiewicz, Condie, 1987) (рис. 6в–д) свидетельствует о кислом составе материнских пород. На различный по кремнекислотности состав пород

**Таблица 2.** Химический состав представительных образцов метасадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна

Компо- ненты	Кличкинская свита				Нижняя подсвита белетуйской свиты									
	Вулканомиктовые метапесчаники				Метаалевролиты									
	Ю- 113-10	Ю- 114-1	Ю- 114-8	Ю- 114-11	Ю-104	Ю- 104-1	Ю- 104-3	Ю- 104-5	Ю- 104-6	Ю- 104-7	Ю- 104-8	Ю- 104-9	Ю- 110-2	Ю- 110-9
SiO <sub>2</sub>	76.01	77.09	68.05	82.59	59.40	60.71	61.88	61.08	60.55	60.43	60.35	60.59	60.62	71.83
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.55	0.88	0.38	0.97	0.87	0.90	0.94	0.99	1.01	0.94	0.95	0.98	0.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.40	11.80	18.42	9.20	18.08	17.08	14.58	15.70	15.72	16.72	16.28	15.09	17.67	9.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.44	3.67	2.57	2.14	7.44	7.41	8.41	7.38	6.43	6.68	6.65	8.02	7.15	8.55
MnO	0.10	0.02	0.02	0.01	0.13	0.12	0.10	0.11	0.11	0.13	0.11	0.13	0.07	0.11
MgO	0.69	0.52	0.74	0.63	3.02	2.48	2.99	3.18	4.20	4.04	3.61	3.41	2.26	0.96
CaO	4.14	1.08	0.84	0.64	1.85	2.02	3.58	3.82	3.32	2.76	3.48	3.78	1.02	1.15
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.23	0.32	0.20	1.85	1.56	2.71	1.98	3.01	1.80	2.34	2.86	1.39	1.28
K <sub>2</sub> O	1.78	2.26	4.20	1.94	4.12	3.79	2.24	3.22	3.23	3.87	3.56	3.01	3.21	1.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.04	0.05	0.05	0.19	0.20	0.20	0.18	0.21	0.22	0.19	0.19	0.16	0.21
П.п.п.	4.29	2.15	3.19	1.71	2.65	2.83	1.79	1.62	2.18	2.15	1.83	1.47	4.52	3.36
Сумма	99.42	99.41	99.28	99.49	99.70	99.07	99.38	99.21	99.95	99.81	99.34	99.50	99.05	99.41
Rb	74	117	209	81	156	158	111	134	122	137	140	120	147	63
Sr	33	51	72	49	94	95	312	148	158	113	165	174	62	98
Ba	455	1260	1897	1855	482	452	369	411	448	525	495	454	491	362
La	11.59	10.24	20.92	12.18	37.80	37.33	31.84	36.51	37.08	39.33	37.65	35.86	30.59	41.11
Ce	21.15	22.44	48.98	24.86	84.44	80.93	69.94	78.43	80.74	85.05	80.68	78.04	64.92	92.97
Pr	3.00	3.09	6.38	3.36	8.69	8.49	7.89	8.93	9.15	9.58	9.08	8.73	7.29	10.22
Nd	12.13	13.49	27.37	14.00	34.99	34.26	30.20	34.19	34.84	36.45	34.58	33.69	28.51	38.40
Sm	2.55	2.95	5.60	2.94	6.57	6.46	5.86	6.60	6.71	6.94	6.59	6.61	5.56	6.83
Eu	0.62	0.56	1.18	0.54	1.30	1.41	1.32	1.42	1.48	1.46	1.39	1.39	1.13	1.30
Gd	2.65	2.86	4.63	2.71	5.80	5.68	5.20	6.30	6.13	6.34	5.90	6.20	5.16	5.53
Tb	0.41	0.38	0.56	0.36	0.76	0.73	0.71	0.92	0.86	0.88	0.82	0.88	0.74	0.76
Dy	2.54	2.05	2.36	2.02	3.86	3.68	3.53	4.87	4.44	4.32	4.13	4.62	4.15	3.90
Ho	0.53	0.42	0.41	0.36	0.60	0.57	0.64	0.90	0.82	0.77	0.77	0.86	0.86	0.72
Er	1.67	1.40	1.32	1.21	1.79	1.72	1.80	2.62	2.40	2.21	2.26	2.50	2.62	2.16
Tm	0.25	0.22	0.20	0.18	0.22	0.22	0.24	0.35	0.33	0.29	0.29	0.33	0.39	0.31
Yb	1.70	1.74	1.56	1.37	1.61	1.63	1.63	2.36	2.15	2.10	2.03	2.32	2.71	2.12
Lu	0.25	0.30	0.26	0.21	0.24	0.24	0.24	0.34	0.32	0.31	0.30	0.33	0.41	0.33
Y	14	11	9	9	13	13	14	22	20	18	18	21	19	17
Th	5.47	3.44	2.99	2.82	11.37	11.30	11.36	12.75	12.81	13.46	13.00	12.68	12.69	14.16
U	3.88	2.92	1.19	2.17	1.88	2.43	1.98	2.24	2.25	2.50	2.21	2.19	2.31	2.21
Zr	123	122	216	105	161	150	187	182	184	180	177	184	176	131
Hf	2.59	2.94	2.84	2.04	2.98	3.01	2.66	2.92	2.98	3.18	2.97	2.92	4.13	3.62
Nb	5	1	4	2	16	15	16	17	15	15	16	16	12	12
Ta	0.30	0.10	0.34	0.14	1.16	1.15	1.27	1.29	1.18	1.16	1.18	1.17	1.13	0.92
Co	12	4	3	2	12	14	9	11	12	15	9	12	13	11
Ni	44	31	24	26	36	40	36	35	40	39	35	38	42	39
Sc	6	14	18	7	15	14	16	16	16	16	16	15	20	9
V	41	223	118	82	135	129	124	119	124	128	132	118	143	109
Cr	88	100	62	160	99	95	98	101	94	104	86	93	91	166
Eu/Eu*	0.73	0.58	0.69	0.57	0.62	0.69	0.72	0.66	0.69	0.66	0.67	0.65	0.63	0.62
[La/Yb] <sub>n</sub>	4.6	4.0	9.1	6.1	16.0	15.5	13.3	10.5	11.7	12.7	12.6	10.5	7.7	13.2
ΣREE	61	62	122	66	189	183	161	185	187	196	186	182	155	207



Таблица 2. Продолжение

Компо- ненты	Нижняя подсвита белетуйской свиты										
	Метапесчаники										
	Ю-116	Ю-116-1	Ю-116-2	Ю-116-3	Ю-116-4	Ю-116-5	Ю-116-6	Ю-116-7	Ю-116-8	Ю-116-9	Ю-116-10
SiO <sub>2</sub>	72.58	72.91	79.30	75.12	74.64	79.84	80.75	78.47	71.79	71.93	74.63
TiO <sub>2</sub>	0.64	0.63	0.56	0.55	0.56	0.51	0.43	0.53	0.64	0.69	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.44	11.34	7.32	8.89	9.62	8.87	7.34	9.36	12.91	12.85	9.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	11.24	8.48	7.50	9.51	9.09	5.40	6.69	5.91	6.99	6.91	7.94
MnO	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.13	0.02	0.02	0.04	0.05
MgO	0.92	0.98	1.32	1.07	0.93	0.91	0.83	0.86	0.91	1.18	1.35
CaO	0.85	0.82	0.85	0.81	0.84	0.78	0.85	0.77	0.92	0.82	0.83
Na <sub>2</sub> O	0.75	0.81	0.23	0.61	0.77	0.28	0.28	0.57	0.44	0.57	0.51
K <sub>2</sub> O	1.39	1.79	0.52	1.24	1.38	1.03	0.79	1.57	2.63	1.63	1.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.13	0.13	0.12	0.12	0.09	0.10	0.07	0.12	0.14	0.11
П.п.п.	1.69	2.01	1.81	1.79	1.68	1.94	2.01	1.60	2.32	2.84	2.73
Сумма	99.69	99.92	99.57	99.74	99.65	99.68	100.20	99.73	99.69	99.60	99.71
Rb	48	69	21	48	56	44	35	70	109	66	42
Sr	41	70	23	48	61	37	29	44	44	52	53
Ba	185	260	99	246	207	131	148	247	425	255	89
La	13.93	17.18	13.82	13.38	14.60	15.20	12.81	12.37	20.34	19.98	15.79
Ce	30.87	37.63	30.74	29.29	31.74	33.10	28.25	26.98	45.12	44.56	34.66
Pr	3.74	4.55	3.71	3.50	3.94	4.02	3.37	3.30	5.44	5.32	4.17
Nd	14.54	17.93	14.58	13.70	15.35	15.66	13.22	12.95	21.64	20.92	16.48
Sm	3.10	3.69	3.11	2.94	3.30	3.17	2.66	2.65	4.47	4.29	3.30
Eu	0.69	0.75	0.64	0.62	0.68	0.61	0.50	0.51	0.92	0.84	0.65
Gd	2.95	3.11	2.90	2.57	2.82	2.68	2.26	2.13	3.72	3.58	2.72
Tb	0.34	0.37	0.36	0.30	0.33	0.31	0.28	0.25	0.42	0.43	0.31
Dy	1.45	1.58	1.56	1.32	1.37	1.34	1.10	1.18	1.74	1.84	1.37
Ho	0.25	0.27	0.26	0.22	0.22	0.23	0.18	0.21	0.29	0.31	0.24
Er	0.75	0.84	0.77	0.69	0.69	0.69	0.57	0.71	0.94	1.00	0.79
Tm	0.11	0.13	0.11	0.10	0.11	0.10	0.09	0.11	0.15	0.16	0.13
Yb	0.90	1.06	0.86	0.84	0.85	0.84	0.70	0.88	1.19	1.26	1.00
Lu	0.15	0.17	0.14	0.14	0.14	0.14	0.11	0.15	0.20	0.20	0.17
Y	6	6	6	5	5	6	5	5	7	7	6
Th	5.48	5.72	4.60	4.78	5.09	4.57	3.76	4.37	6.59	5.66	4.76
U	1.36	1.33	1.08	1.23	1.16	1.08	0.89	1.10	1.59	1.24	1.09
Zr	225	166	368	164	144	132	113	193	166	151	226
Hf	2.07	2.25	2.31	1.90	1.84	1.97	1.58	1.98	2.77	2.76	2.35
Nb	2	3	2	2	2	2	1	2	3	3	2
Ta	0.20	0.22	0.15	0.16	0.18	0.13	0.08	0.14	0.20	0.21	0.20
Co	9	9	7	10	8	5	5	8	9	10	9
Ni	29	38	35	29	31	40	32	31	35	35	29
Sc	8	9	5	7	8	6	6	7	12	12	7
V	71	81	55	53	76	65	58	57	93	85	71
Cr	116	96	154	106	95	168	100	97	81	100	99
Eu/Eu*	0.69	0.66	0.64	0.67	0.66	0.62	0.61	0.64	0.67	0.63	0.64
[La/Yb] <sub>n</sub>	10.6	11.0	11.0	10.8	11.6	12.4	12.5	9.6	11.6	10.8	10.7
ΣREE	74	89	74	70	76	78	66	64	107	105	82

Таблица 2. Продолжение

Компо- ненты	Верхняя подсвита белетуйской свиты													
	Метапесчаники													
	Ю- 109	Ю- 109-1	Ю- 109-2	Ю- 109-3	Ю- 109-4	Ю- 109-5	Ю- 109-6	Ю- 109-7	Ю- 109-8	Ю- 109-9	Ю- 109-10	Ю- 109-11	Ю- 109-12	Ю- 109-13
SiO <sub>2</sub>	60.45	55.29	70.58	71.62	65.39	55.54	71.91	73.47	73.33	60.09	73.99	74.83	72.82	74.71
TiO <sub>2</sub>	0.91	0.70	0.74	0.69	0.71	0.64	0.72	0.60	0.69	0.45	0.64	0.63	0.67	0.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.37	11.07	12.06	10.12	11.31	10.72	11.21	9.31	10.31	7.83	10.41	10.18	10.76	10.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	7.70	6.33	7.06	7.12	7.34	4.73	6.59	5.20	6.19	3.51	5.21	5.44	6.72	5.40
MnO	0.12	0.12	0.04	0.04	0.05	0.12	0.04	0.04	0.02	0.14	0.04	0.03	0.05	0.04
MgO	2.46	4.23	2.14	2.17	3.08	4.26	2.38	1.79	2.25	1.37	2.28	1.82	1.82	1.66
CaO	2.01	7.22	1.13	2.42	3.65	8.13	1.39	2.43	1.30	13.17	1.59	1.41	0.90	0.89
Na <sub>2</sub> O	1.67	1.16	1.10	1.37	1.37	1.40	1.18	1.14	1.18	1.04	1.44	1.06	1.48	1.26
K <sub>2</sub> O	3.86	1.91	1.37	0.99	1.21	1.83	1.13	1.18	1.24	0.95	1.24	1.19	1.23	1.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.17	0.16	0.13	0.16	0.13	0.15	0.12	0.15	0.12	0.15	0.12	0.13	0.17
П.п.п.	2.70	11.44	3.28	3.67	5.45	12.09	3.06	4.15	2.94	10.80	3.00	2.98	2.35	2.71
Сумма	99.42	99.64	99.66	100.34	99.72	99.59	99.76	99.43	99.60	99.47	99.99	99.69	98.93	99.73
Rb	153	76	58	44	48	78	48	51	55	38	52	51	55	56
Sr	100	109	39	65	66	141	39	65	45	273	39	43	44	36
Ba	492	320	201	187	177	254	191	203	220	165	181	188	185	186
La	32.38	24.86	23.51	24.40	24.13	21.10	18.77	20.08	21.57	17.06	20.60	18.89	21.17	22.82
Ce	65.85	55.30	53.04	54.51	54.49	46.02	41.74	44.51	46.58	38.18	45.77	41.84	48.04	51.20
Pr	7.56	6.24	5.84	5.98	6.15	5.35	4.85	5.03	5.22	4.32	5.11	4.58	5.20	5.78
Nd	27.90	23.85	22.52	22.50	23.29	20.51	18.91	18.59	20.02	17.20	19.58	17.79	20.05	22.68
Sm	4.86	4.49	4.25	4.05	4.36	4.01	3.80	3.40	3.94	3.34	3.70	3.46	3.80	4.53
Eu	1.13	0.89	0.82	0.77	0.82	0.85	0.69	0.70	0.78	0.72	0.74	0.68	0.71	0.83
Gd	4.62	3.85	3.52	3.29	3.73	3.50	3.11	2.96	3.35	3.00	3.14	2.91	3.06	3.71
Tb	0.65	0.48	0.41	0.42	0.44	0.46	0.37	0.34	0.42	0.41	0.38	0.36	0.38	0.45
Dy	3.20	2.21	1.82	1.87	1.96	2.11	2.10	1.45	1.75	2.08	2.07	1.49	1.70	1.97
Ho	0.55	0.40	0.33	0.34	0.35	0.40	0.28	0.25	0.30	0.37	0.29	0.26	0.29	0.33
Er	1.61	1.28	1.05	1.03	1.08	1.21	0.90	0.84	0.99	1.22	0.95	0.88	0.93	1.08
Tm	0.24	0.19	0.17	0.16	0.17	0.19	0.14	0.13	0.16	0.18	0.14	0.14	0.14	0.16
Yb	1.60	1.48	1.20	1.16	1.31	1.39	1.06	1.04	1.21	1.49	1.09	1.10	1.11	1.23
Lu	0.24	0.23	0.19	0.19	0.21	0.23	0.18	0.18	0.18	0.22	0.17	0.17	0.18	0.20
Y	13	9	7	7	8	9	6	6	7	8	6	6	6	8
Th	8.67	8.20	7.86	7.88	7.95	7.24	7.76	6.97	7.96	6.10	6.87	7.19	7.50	8.04
U	2.68	1.36	1.12	1.14	1.26	1.32	1.06	1.12	1.08	1.02	1.20	1.08	1.06	1.50
Zr	165	161	154	153	136	155	153	125	158	129	125	126	133	159
Hf	3.01	2.50	2.19	2.26	2.32	2.40	1.90	1.86	2.12	1.80	1.86	1.85	1.99	2.16
Nb	6	6	6	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5
Ta	1.21	0.50	0.53	0.46	0.48	0.76	0.80	0.42	0.47	0.51	0.48	0.46	0.49	0.48
Co	7	7	13	8	14	7	8	9	9	8	9	10	11	10
Ni	36	32	37	32	37	36	29	30	36	26	33	34	32	31
Sc	17	11	9	8	10	11	9	8	9	8	8	8	9	9
V	141	78	90	80	90	83	92	52	81	53	66	62	78	69
Cr	98	81	124	102	91	74	97	102	111	65	140	112	107	121
Eu/Eu*	0.72	0.64	0.63	0.62	0.61	0.68	0.59	0.66	0.64	0.68	0.64	0.63	0.61	0.60
[La/Yb] <sub>n</sub>	13.7	11.4	13.3	14.3	12.5	10.3	12.0	13.1	12.1	7.8	12.9	11.6	12.9	12.6
ΣREE	152	126	119	121	122	107	97	100	106	90	104	95	107	117

Таблица 2. Окончание

Компо- ненты	Верхняя подсвита белетуйской свиты													
	Метапесчаники													
	Ю-111	Ю-111-1	Ю-111-2	Ю-111-3	Ю-111-4	Ю-111-5	Ю-111-6	Ю-111-7	Ю-111-8	Ю-111-9	Ю-111-10	Ю-111-11	Ю-111-12	Ю-111-13
SiO <sub>2</sub>	81.85	79.38	79.15	67.41	65.44	69.09	83.35	70.01	73.42	69.36	75.69	69.76	71.05	66.37
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.44	0.50	0.67	0.73	0.67	0.41	0.73	0.61	0.73	0.50	0.70	0.69	0.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.72	7.33	8.73	13.94	16.32	14.47	7.15	15.74	13.41	16.55	10.81	14.73	14.28	17.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.97	7.63	4.93	9.21	7.70	6.92	4.12	4.37	4.79	4.56	5.69	6.18	5.05	6.55
MnO	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	1.80	1.28	2.15	1.40	1.58	1.03	1.18	0.78	1.04	0.71	1.14	0.93	1.32	1.50
CaO	0.72	0.73	0.78	0.79	0.71	0.77	0.72	0.81	0.78	0.73	0.79	0.76	0.77	0.81
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.35	0.80	1.01	1.37	1.03	0.45	1.02	0.92	1.47	0.76	1.27	1.04	1.15
K <sub>2</sub> O	0.65	1.05	0.93	2.47	2.90	3.02	1.14	3.37	2.64	3.36	1.85	2.74	2.69	3.33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.09	0.13	0.08	0.06	0.07	0.02	0.05	0.09	0.07	0.05	0.05	0.09	0.05
П.п.п.	1.41	1.41	1.82	2.56	2.82	2.51	1.16	2.36	2.08	2.01	2.34	2.42	2.76	1.87
Сумма	99.85	99.72	99.93	99.56	99.65	99.60	99.71	99.25	99.79	99.56	99.63	99.55	99.75	99.70
Rb	26	41	37	87	100	106	45	138	105	120	111	105	116	78
Sr	31	35	31	39	42	36	35	42	36	40	49	47	47	41
Ba	113	216	92	381	341	363	129	430	296	382	428	335	379	288
La	11.68	15.03	15.40	19.76	25.44	21.54	14.06	25.82	18.72	27.23	24.66	26.65	26.26	15.83
Ce	25.10	31.22	32.31	43.84	55.54	47.08	29.98	59.20	42.22	60.75	56.04	60.62	59.69	34.60
Pr	3.05	3.87	3.88	5.40	6.70	5.74	3.70	7.00	5.18	7.37	6.72	7.36	7.27	4.24
Nd	11.68	15.00	15.01	21.11	26.36	22.86	14.68	27.33	20.33	29.11	26.46	29.03	28.60	16.78
Sm	2.12	2.82	2.75	4.24	5.16	4.52	2.67	5.38	4.05	5.77	5.19	5.58	5.65	3.29
Eu	0.38	0.52	0.53	0.81	0.94	0.83	0.48	0.96	0.76	1.02	0.95	1.01	1.02	0.62
Gd	1.43	1.91	2.14	3.18	3.48	3.19	1.80	3.51	2.91	3.73	3.59	3.81	3.72	2.41
Tb	0.17	0.22	0.28	0.39	0.41	0.39	0.20	0.41	0.37	0.42	0.42	0.42	0.42	0.29
Dy	0.82	1.02	1.43	1.87	1.94	2.01	1.03	2.07	1.82	2.05	2.15	2.12	2.13	1.51
Ho	0.16	0.20	0.28	0.36	0.39	0.40	0.20	0.41	0.36	0.40	0.43	0.41	0.42	0.31
Er	0.54	0.71	0.89	1.19	1.31	1.32	0.66	1.40	1.21	1.35	1.40	1.37	1.43	1.03
Tm	0.08	0.10	0.14	0.19	0.21	0.21	0.10	0.22	0.19	0.21	0.22	0.21	0.23	0.16
Yb	0.61	0.77	0.99	1.41	1.56	1.54	0.76	1.65	1.44	1.57	1.65	1.57	1.74	1.18
Lu	0.10	0.12	0.16	0.23	0.25	0.25	0.12	0.26	0.24	0.26	0.27	0.26	0.29	0.19
Y	4	5	7	9	10	10	5	10	9	9	10	10	10	8
Th	3.35	4.22	4.42	7.48	8.24	7.69	4.02	8.74	7.04	8.85	8.39	8.52	9.07	6.14
U	0.75	1.07	1.07	1.62	1.86	1.65	0.92	1.66	1.52	1.77	1.90	1.47	1.84	1.38
Zr	98	109	227	144	161	152	144	182	163	181	159	183	177	127
Hf	1.30	1.63	2.33	2.70	3.11	2.96	1.72	3.30	2.95	3.01	3.34	3.23	3.60	2.38
Nb	1	1	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2
Ta	0.12	0.14	0.18	0.22	0.27	0.24	0.14	0.23	0.27	0.23	0.30	0.28	0.29	0.23
Co	11	7	7	8	12	3	3	1	4	1	2	9	7	9
Ni	42	32	46	30	38	41	50	28	35	21	23	31	36	30
Sc	4	5	5	11	13	13	4	14	12	13	13	12	15	8
V	43	53	40	99	110	98	45	113	74	96	101	83	108	67
Cr	101	118	104	89	91	106	102	90	97	97	89	89	94	93
Eu/Eu*	0.64	0.64	0.64	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.65	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64
[La/Yb] <sub>n</sub>	13.0	13.3	10.6	9.5	11.1	9.5	12.6	10.6	8.8	11.8	10.2	11.5	10.2	9.1
ΣREE	58	74	76	104	130	112	70	136	100	141	130	140	139	82

Примечание. Оксиды в мас. %, элементы в г/т. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* – общее железо в форме Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

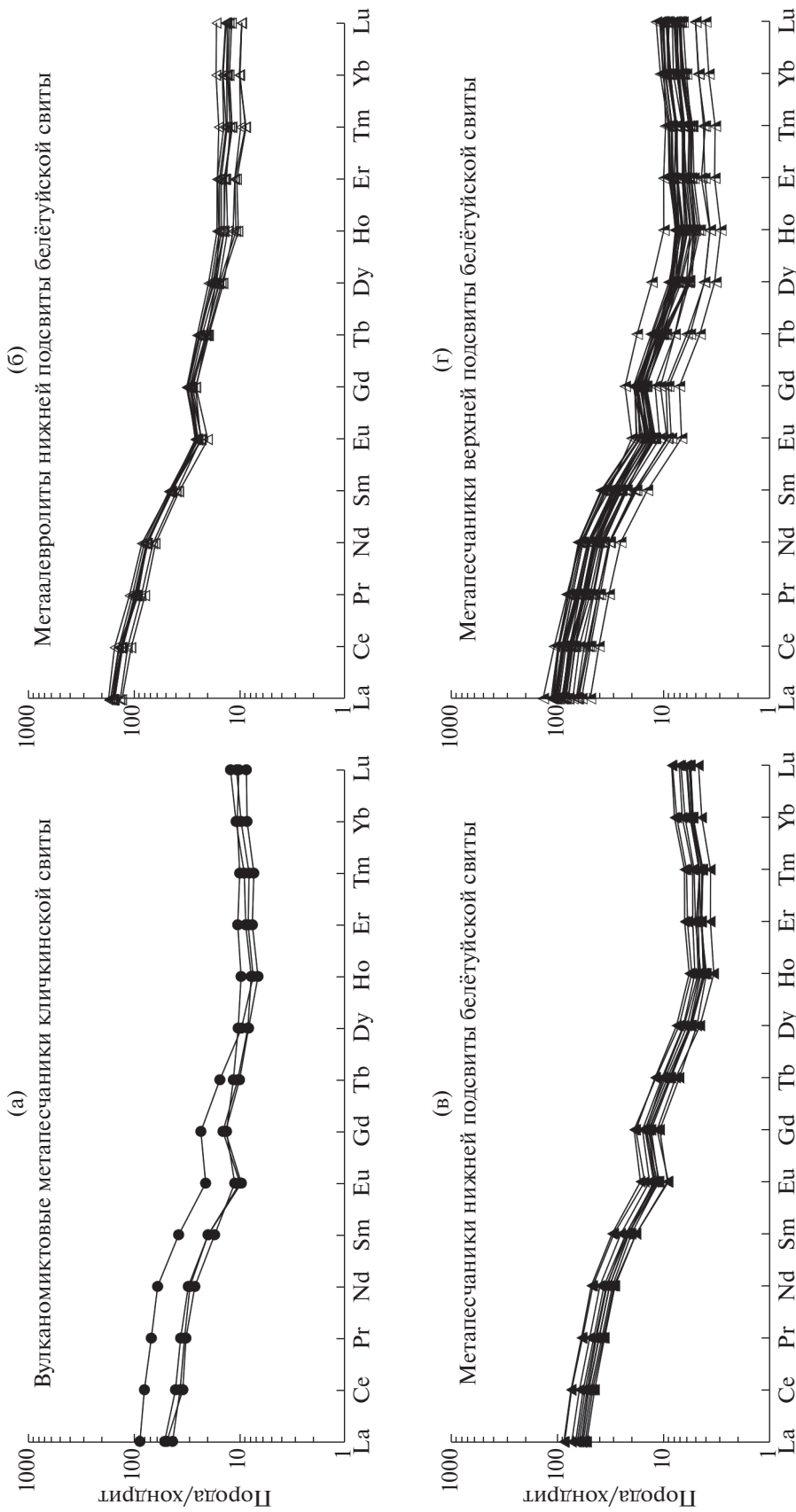


Рис. 4. Графики распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) для метасадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Состав хондрита по (McDonough, Sun, 1995).

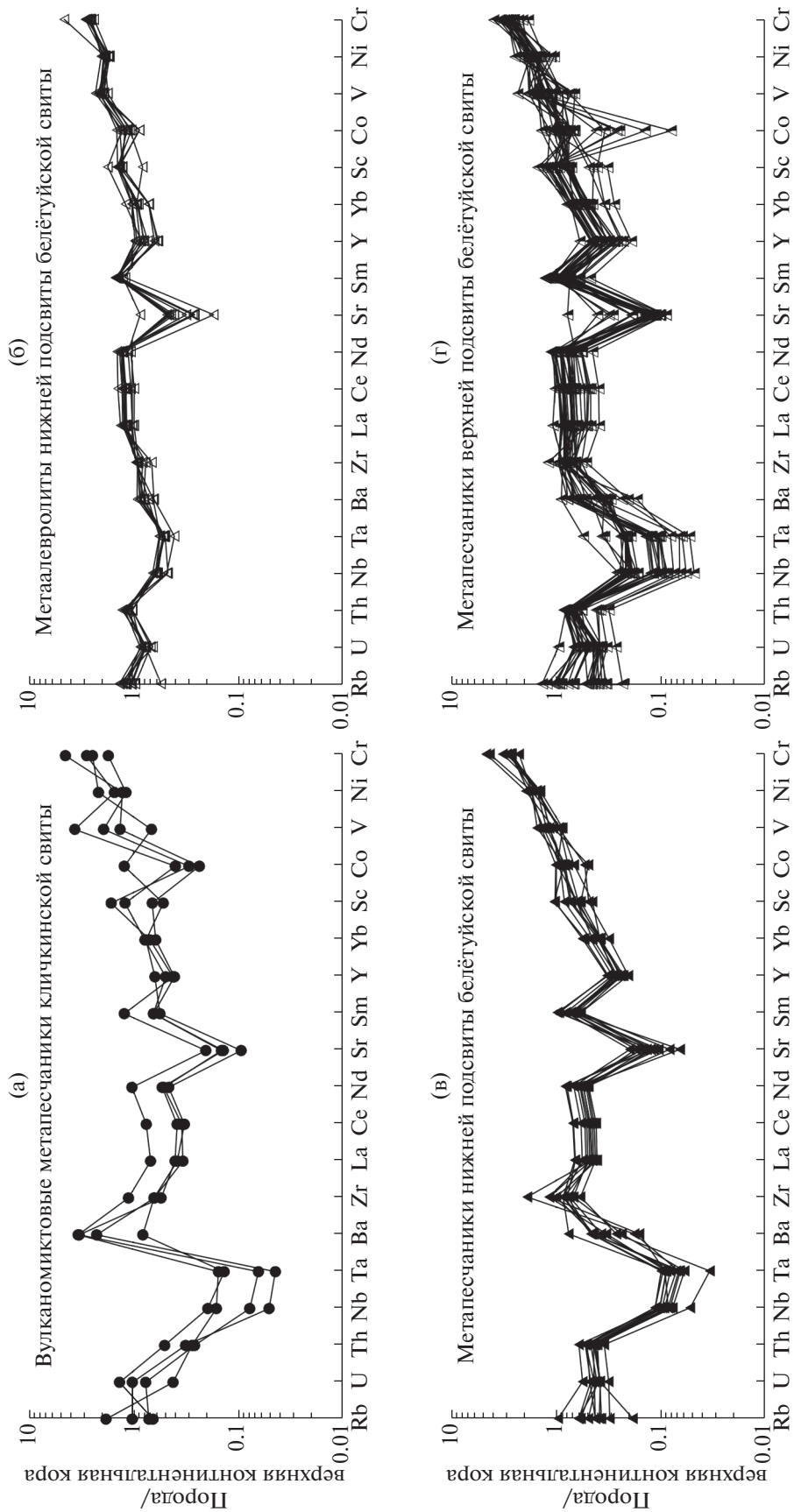
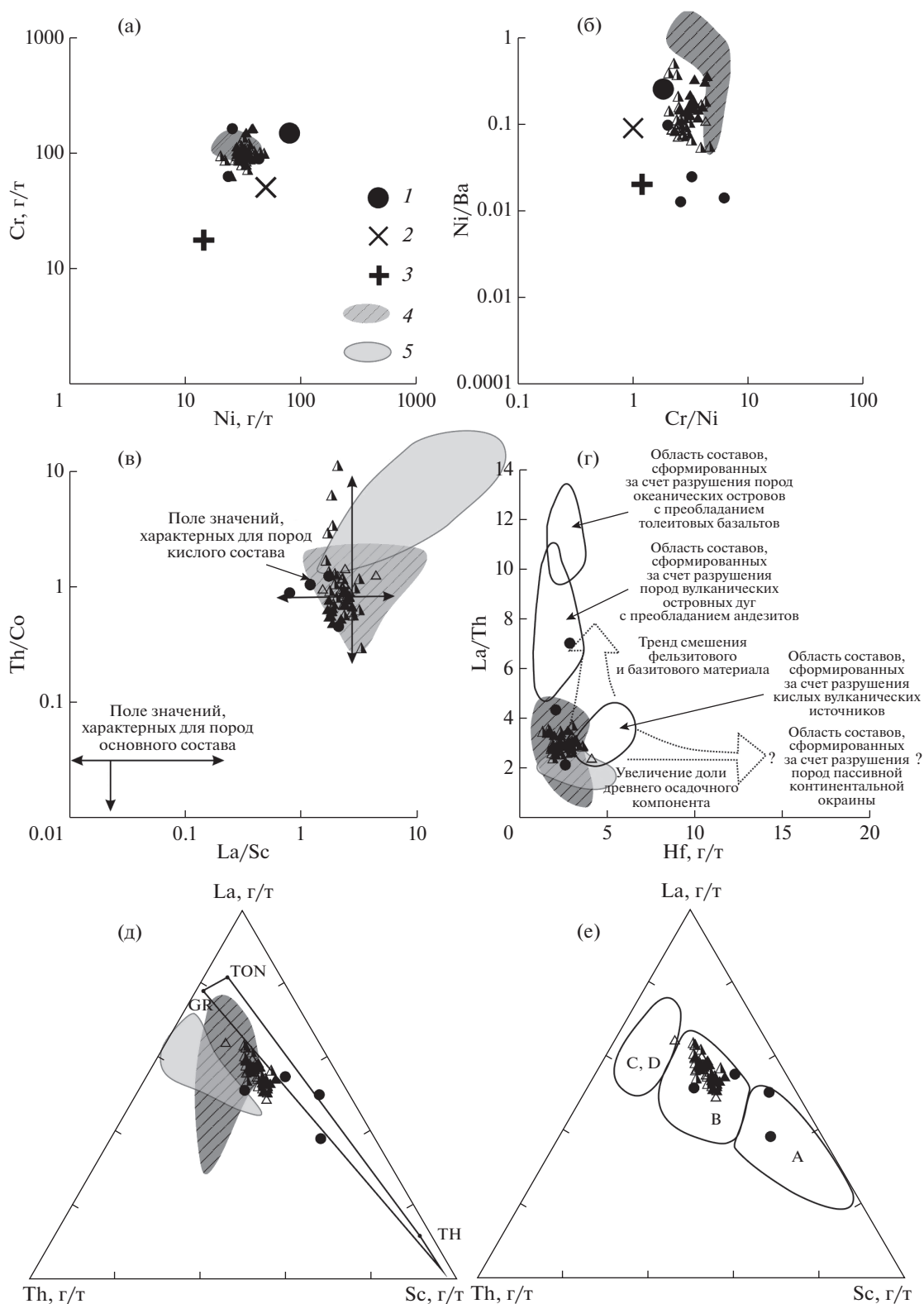


Рис. 5. Спайлдердиаграммы для метасадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Состав верхней континентальной коры по (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).



**Рис. 6.** Диаграммы Ni–Cr (а), Cr/Ni–Ni/Ba (б), La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002) (в), Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987) (г), Th–La–Sc (Wronkiewicz, Condie, 1987) (д), Th–La–Sc (Bhatia, Crook, 1986) (е) для метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Условные обозначения на рис. 3. Крупные значки (а, б) по данным (Condie, 1993): 1 – базальты и коматииты позднепротерозойские, 2 – андезиты позднепротерозойские, 3 – граниты протерозойские. Поля составов 4 – метаосадочных пород даурской серии Аргунского супертеррейна по данным (Смирнова и др., 2022), 5 – гранито-гнейсов массива Ухусишань (Wuhuxishan) по данным (Liu et al., 2020). Сокращения (д): GR – граниты, TON – тоналиты, TH – толеиты, КОМ – коматииты. Поля (е), характеризующие песчаники из тектонических обстановок: А – океанические островные дуги, В – континентальные островные дуги, С – активные континентальные окраины, D – пассивные континентальные окраины.

**Таблица 3.** Результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна

№ п/п	Номер образца	Sm, г/г	Nd, г/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	+/-2σ изм.	$\epsilon_{\text{Nd}(0)}$	$\epsilon_{\text{Nd}(T)}$	$T_{\text{Nd(DM)}}$ , млн лет
<i>Кличкинская свита</i>									
1	Ю-114-11	3.90	17.5	0.1354	0.512295	7	-6.7	-2.2	1663
<i>Нижняя подсвита белетуйской свиты</i>									
2	Ю-104	6.83	35.6	0.1168	0.512006	6	-12.3	-6.5	1796
3	Ю-110-9	7.41	41.3	0.1094	0.512019	6	-12.1	-5.7	1650
4	Ю-116	4.75	22.1	0.1308	0.512149	7	-9.5	-4.7	1836
<i>Верхняя подсвита белетуйской свиты</i>									
5	Ю-109-2	5.21	27.0	0.1175	0.511938	10	-13.6	-7.9	1915

Примечание. Величины  $\epsilon_{\text{Nd}(T)}$  пород рассчитаны на возраст 570 млн лет. Концентрации Sm и Nd определены методом изотопного разбавления.

питающей провинции указывают вариации индикаторного отношения Th/Cr. В метаосадочных породах кличкинской и белетуйской свит значения Th/Cr варьируют от 0.02 до 0.15. Стоит также отметить, что исследуемые породы быркинской серии по составу перекрываются с областью составов метаосадочных пород даурской серии.

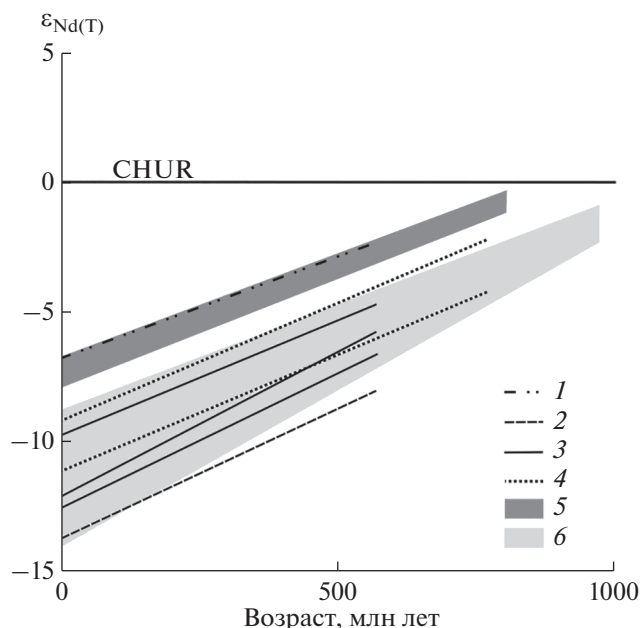
Для реконструкции палеотектонической обстановки накопления использовались диаграммы, основанные на распределении микроэлементов. На диаграммах Sc-Th-Zr/10, Th-La-Sc (рис. 6е), Th-La (Bhatia, Crook, 1986) составы метаосадочных пород кличкинской и белетуйской свит соответствуют песчаникам, сформированным в обстановках островных дуг.

### РЕЗУЛЬТАТЫ Sm-Nd ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований приведены в таблице 3. Из приведенных результатов следует, что вулканомиктовый метапесчаник кличкинской свиты характеризуется палеопротерозойским значением модельного Nd-возраста  $T_{\text{Nd(DM)}} = 1.7$  млрд лет при  $\epsilon_{\text{Nd}(T)} = -2.2$ . Для метапесчаников и метаалевролитов нижней подсвиты белетуйской свиты типичны отрицательные значения величины  $\epsilon_{\text{Nd}(T)} = -4.7...-6.5$  при палеопротерозойских значениях Nd-модельного возраста ( $T_{\text{Nd(DM)}} = 1.6-1.8$  млрд лет). В свою очередь, в метапесчанике верхней подсвиты белетуйской свиты установлено более низкое значение  $\epsilon_{\text{Nd}(T)} = -7.9$  при  $T_{\text{Nd(DM)}} = 1.9$  млрд лет. Согласно этим данным, основными источниками сноса для метаосадочных пород быркинской свиты являлись палеопротерозойские образования и (или) более молодые изверженные породы, исходные расплавы которых сформировались за счет переработки континентальной коры палеопротерозойского возраста.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Как было показано выше, метаосадочные породы кличкинской и белетуйской свит быркинской серии Аргунского супертеррейна характеризуются значительным разбросом содержаний основных породообразующих компонентов (рис. 3). В этой связи в дальнейшем для реконструкции источников сноса кластического материала нами был проведен анализ содержаний и соотношений микроэлементов, которые менее подвержены вариациям при постседиментационных преобразованиях. Установлено, что источниками сноса кластического материала для метаосадочных пород кличкинской и белетуйской свит быркинской серии являлись различные по кремнекислотности материнские породы. Высокие значения соотношений Th/Co, La/Sc и La/Th, обогащение легкими редкоземельными элементами по сравнению с тяжелыми и наличие отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалии в метаосадочных породах быркинской серии свидетельствует о присутствии в области сноса пород кислого состава. Близкие вариации этих индикаторных показателей (рис. 6в-6д) типичны для гранито-гнейсов массива Ухусишань (Wuhuxishan) Аргунского супертеррейна, локализованного вблизи одноименной деревни на территории Китая, который, вероятно, является одним из потенциальных источников сноса. В то же время повышенные концентрации Sr и Ni в метаосадочных породах кличкинской и белетуйской свит указывают на участие в осадконакоплении магматических пород основного состава. На присутствие в областях размыва базальтов и андезитов свидетельствуют низкие значения Th/Cr. Подобные значения микроэлементов типичны для осадочных пород урулюнгульской и дырбыл-кейской свит даурской серии Аргунского супертеррейна (Смирнова и др., 2022) (рис. 6). В связи с этим не исключено, что для последних характерны близкие по составу источники сноса кластическо-



**Рис. 7.** Диаграмма возраст –  $\epsilon_{Nd(T)}$  для метаосадочных пород быркинской серии Аргунского супертеррейна. Условные обозначения: поля Nd-изотопного состава метаосадочных пород: 1 – кличкинской свиты, 2 – верхней подсвиты белетуйской свиты, 3 – нижней подсвиты белетуйской свиты, 4 – урулюнгуийской и дырбылкейской свит даурской серии Аргунского супертеррейна (Смирнова и др., 2022), 5 – поле Nd-изотопного состава гранитов урулюнгуевского (урулюнгуевского) комплекса по данным (Голубев и др., 2010), 6 – поле Nd-изотопного состава гранито-гнейсов массива Ухусишань (Wuhuxishan) по данным (Liu et al., 2020).

го материала. Вывод о различном по кремнекислотности составе пород питающей провинции согласуется с наличием в составе быркинской серии прослоев метаэффузивов как кислого, так и основного составов.

Особенности распределения микроэлементов, лежащих в основе тектонических дискриминационных диаграмм, свидетельствуют о накоплении метаосадочных пород быркинской серии в обстановках островных дуг. Учитывая геологические критерии, а именно присутствие в разрезе быркинской серии метаэффузивов (Шивохин и др., 2010), то, наиболее вероятно, что осадконакопление происходило при активной магматической деятельности. Данный вывод согласуется с предположенными ранее моделями формирования Аргунского супертеррейна (Шивохин и др., 2010; Гордиенко и др., 2019).

Согласно результатам Sm-Nd изотопно-геохимических исследований вулканомиктовые метапесчаники кличкинской свиты имеют более высокие значения  $\epsilon_{Nd(0)} = -6.7$ ,  $\epsilon_{Nd(T)} = -2.2$  при  $T_{Nd(DM)} = 1.7$  млрд лет, которые близки к оценкам  $\epsilon_{Nd(0)} = -6.7 \dots -7.9$  и  $T_{Nd(DM)} = 1.6-1.7$  млрд лет неопротерозойских гранитов урулюнгуевского ком-

плекса, расположенных в междуречье Урулюнгуи – Аргунь (Голубев и др., 2010) (рис. 7). В метаосадочных породах белетуйской свиты величины  $\epsilon_{Nd(0)}$ ,  $\epsilon_{Nd(T)}$  и  $T_{Nd(DM)}$  изменяются в диапазонах  $-9.5 \dots -13.6$ ,  $-4.7 \dots -7.9$  и  $1.6-1.9$  млрд лет соответственно. Подобные значения  $\epsilon_{Nd(0)}$  и  $T_{Nd(DM)}$  типичны для неопротерозойских гранито-гнейсов массива Ухусишань (Wuhuxishan) Аргунского супертеррейна ( $\epsilon_{Nd(0)} = -8.7 \dots -14.0$ ;  $T_{Nd(DM)} = 1.6-1.8$  млрд лет) (Liu et al., 2020). Стоит отметить, что для метаосадочных пород дырбылкейской свиты даурской серии Аргунского супертеррейна ранее были получены близкие значения Nd-изотопного возраста ( $T_{Nd(DM)} = 1.7-1.9$  млрд лет) (Смирнова и др., 2022) (рис. 7).

В то же время терригенные породы Ольдойского террейна, Верхнеамурского и Зея-Депского прогибов, расположенные в северо-восточной части Аргунского супертеррейна, характеризуются более молодыми значениями Sm-Nd модельного возраста ( $T_{Nd(DM)} = 1.0-1.5$  млрд лет) (Смирнова и др., 2015; Сорокин и др., 2015). Эти данные позволяют предполагать, что при накоплении верхнепротерозойских метаосадочных пород и посткембрийских терригенных отложений Аргунского супертеррейна принимали участие существенно разные по изотопному составу Nd исходные породы.

Выше приведенные результаты в совокупности с региональным положением метаосадочных пород кличкинской и белетуйской свит быркинской серии дают основание полагать, что основными источниками сноса для них послужили докембрийские магматические и метаморфические комплексы широко развитые на территории Аргунского супертеррейна в пределах Восточного Забайкалья (Шивохин и др., 2010; Голубев и др., 2010 и др.) и на сопредельной территории Китая (Liu et al., 2020; Gou et al., 2013; Tang et al., 2013; Zhao et al., 2016 и др.). В качестве одних из таких источников сноса, вероятно, можно рассматривать граниты урулюнгуевского комплекса и гранито-гнейсы массива Ухусишань.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенным геохимическим исследованиям при формировании метаосадочных пород кличкинской и белетуйской свит быркинской серии принимали участие породы с различной кремнекислотностью. Данный вывод согласуется с наличием в разрезе серии прослоев метаэффузивов кислого и основного составов. Результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований свидетельствуют о присутствии в областях сноса пород с палеопротерозойскими значениями Nd-модельного возраста. В качестве главных источников можно рассматривать неопротерозойские граниты и гранито-гнейсы Ар-



гунского супертеррейна, которые характеризуются близкими вариациями Nd-изотопного состава.

Авторы благодарят сотрудников Аналитического центра Института геологии и природопользования ДВО РАН (А.И. Палажченко, В.И. Рождествену, Е.С. Сапожник, Е.В. Ушакову) и Института тектоники и геофизики ДВО РАН (В.Е. Зазулину, Е.М. Голубеву, А.В. Штареву). Авторы признательны рецензентам за конструктивные замечания и дискуссию.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 20-05-00195), а также в рамках выполнения государственного задания (проект 0350-2019-0006).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анашкина К.К., Афанасов М.Н., Писцов Ю.П., Рутштейн И.Г., Стецюк М.И., Шульдинер В.И. (1977) Верхний докембрий южного Приаргунья. *Протерозойские комплексы восточной части Забайкалья* (Под ред. Радкевич Е.А.). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 83-111.
- Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Макаров В.А., Воробьев В.С. (1979) Геохронологические рубежи для южной части Восточного Забайкалья по данным U-Pb метода датирования. *Геохимия*. (2), 204-215.
- Бутин К.С. (1990) О стратиграфии докембрийско-нижнепалеозойских отложений Аргунской зоны Восточного Забайкалья. Новые данные по биостратиграфии палеозоя и мезозоя юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 14-23.
- Голубев В.Н., Чернышев И.В., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Гольцман Ю.В., Баирова Э.Д., Яковлева С.З. (2010) Стрельцовский урановорудный район: изотопно-геохимическая (U-Pb, Rb-Sr и Sm-Nd) характеристика гранитоидов и их место в истории формирования урановых месторождений. *Геология рудных месторождений*. **52**(6), 553-571.
- Гордиенко И.В., Метелкин Д.В., Велужских Л.И. (2019) Строение Монголо-Охотского складчатого пояса и проблема выделения Амурского микроконтинента. *Геология и геофизика*. **60**(3), 318-341.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. (1990) *Тектоника литосферных плит территории СССР*. Т. 1. М.: Недра, 327 с.
- Котов А.Б., Великославинский С.Д., Сорокин А.А., Котова Л.Н., Сорокин А.П., Ларин А.М., Ковач В.П., Загорная Н.Ю., Кургузова А.В. (2009а) Возраст амурской серии Бурея-Цзямусинского супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты Sm-Nd изотопных исследований. *ДАН*. **428**(5), 637-640.
- Котов А.Б., Сорокин А.А., Сальникова Е.Б., Сорокин А.П., Ларин А.М., Великославинский С.Д., Беляков Т.В., Анисимова И.В., Яковлева С.З. (2009б) Мезозойский возраст гранитоидов бекетского комплекса (Гонжинский блок Аргунского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса). *ДАН*. **429**(6), 779-783.
- Котов А.Б., Мазукабзов А.М., Сквитина Т.М., Великославинский С.Д., Сорокин А.А., Сорокин А.П. (2013) Структурная эволюция и геодинамическая позиция Гонжинского блока (Верхнее Приамурье). *Геотектоника*. (5), 48-60.
- Озерский А.Ф., Винниченко Е.Л. (2002) *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. М-50-XVII (Краснокаменск)* (Под ред. Старченко В.В.). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Озерский А.Ф., Винниченко Е.Л., Кривицкий А.В., Ступина Т.А., Шивохин Е.А. (2001а) *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. М-50-XII (Нерчинский Завод)* (Под ред. Старченко В.В.). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Озерский А.Ф., Винниченко Е.Л., Кривицкий А.В., Ступина Т.А., Шивохин Е.А. (2001б) *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. М-50-V (Газимурский Завод)* (Под ред. Старченко В.В.). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Павлова В.В., Грознова Т.Н., Афанасов М.Н., Платонов Е.Г., Лейкум М.С. (2001) *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Приаргунская серия. М-50-XVI (Под ред. Амантова В.А.)*. СПб.: ВСЕГЕИ.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бодарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У.Дж., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. (2003) Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии. *Тихоокеанская геология*. **22**(6), 7-41.
- Петрук Н.Н., Козлов С.А. (2009) *Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1000000. Лист N-51 (Сковородино), (M-51). Третье поколение. Дальневосточная серия* (Под ред. Вольского А.С.). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р.М. (1976) *Пески и песчаники*. М.: Мир, 535 с.
- Решения IV межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою юга Дальнего Востока и Восточного Забайкалья. Комплект схем* (1994). Хабаровск: ХГГГП.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Попеко Л.И., Смирнов Ю.В. (2013) Геохимические особенности палеозойских терригенных отложений Ольдойского террейна восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса как отражение геодинамических условий седиментации. *Геохимия*. (4), 344-365.
- Smirnova Yu.N., Sorokin A.A., Popoko L.I., Smirnov Yu.V. (2013) Geochemistry of Paleozoic terrigenous sediments from the Oldoi Terrane, Eastern Central Asian Orogenic Belt, as an indicator of geodynamic conditions during deposition. *Geochem. Int.* **51**(4), 306-325.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Котов А.Б., Ковач В.П. (2015) Источники юрских терригенных отложений Верхнеамурского и Зея-Депского прогибов восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты изотопно-геохимических (Sm-Nd) и геохронологических (U-Pb, LA-ICP-MS) исследований. *ДАН*. **465**(6), 706-710.
- Смирнова Ю.Н., Сорокин А.А., Попеко Л.И. (2016) Геохимические особенности, обстановки накопления и источники материала нижнепалеозойских отложений Мамынского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса. *Литология и полезные ископаемые*. (6), 564-582.
- Смирнова Ю.Н., Овчинников Р.О., Сорокин А.А., Смирнов Ю.В. (2021) Возраст и источники сноса осадочных пород даурской серии (рифей) Аргунского континентального массива: результаты U-Th-Pb и Lu-

- Hf изотопных исследований детритового циркона. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. **29**(1), 3–10.
- Смирнова Ю.Н., Овчинников Р.О., Смирнов Ю.В., Дриль С.И. (2022) Источники кластического материала и условия накопления осадочных пород даурской серии Аргунского континентального массива. *Тихоокеанская геология*. **41**(1), 13–31.
- Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. (2017) Кембрий-ордовикская диорит-гранодиорит-гранитная ассоциация Мамынского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс): U–Pb геохронологические и геохимические данные. *ДАН*. **472**(3), 326–332.
- Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Ли Цзинь, Журавлев Д.З., Ян Пин, Сун Гуйхуа, Гао Лиминг (2004) Раннепалеозойские гранитоиды восточной окраины Аргунского террейна, Приамурье: первые геохронологические и геохимические данные. *Петрология*. **12**(4), 415–425.
- Сорокин А.А., Котов А.Б., Ковач В.П., Пономарчук В.А., Саватенков В.М. (2014) Источники позднемезозойских магматических ассоциаций северо-восточной части Амурского микроконтинента. *Петрология*. **22**(1), 72–84.
- Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Котов А.Б., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Попеко Л.И. (2015) Источники и области сноса палеозойских терригенных отложений Ольдойского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса: результаты Sm–Nd изотопно-геохимических и U–Pb геохронологических (LA–ICP–MS) исследований. *Геохимия*. (6), 539–550.
- Sorokin A.A., Smirnova Yu.N., Kotov A.B., Kovach V.P., Salnikova E.B., Popko L.I. (2015) Provenances of the Paleozoic terrigenous sequences of the Oldoi Terrane of the Central Asian Orogenic Belt: Sm–Nd isotope geochemistry and U–Pb geochronology (LA–ICP–MS). *Geochem. Int.* **53**(6), 534–544.
- Стецюк М.И. (1977) Верхний докембрий и кембрий Аргунь-Газимурского междуречья. *Протерозойские комплексы восточной части Забайкалья* (Под ред. Радкевич Е.А.). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 76–82.
- Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. (1988) *Континентальная кора: ее состав и эволюция*. М.: Мир, 384 с.
- Шивохин Е.А., Озерский А.Ф., Куриленко А.В., Раитина Н.И., Карасев В.В. (2010) *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50. Третье поколение*. (Под ред. Старченко В.В.). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. (1986) Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Miner. Petrol.* (92), 181–193.
- Condie K.C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.* **104**, 1–37.
- Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.* **191**(4), 305–327.
- Floyd P.A., Leveridge B.E. (1987) Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *J. Geol. Soc. London*. **144**(4), 531–542.
- Ge W., Wu F., Zhou C., Abdel Rahman A.A. (2005) Emplacement age of the Tahe granite and its constraints on the tectonic nature of the Ergun block in the northern part of the Da Hinggan Range. *Chin. Sci. Bull.* **50**(18), 2097–2105.
- Goldstein S.J., Jacobsen S.B. (1988) Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution. *Earth and Planet. Sci. Lett.* **98**(87), 249–265.
- Gou J., Sun D.Y., Ren Y.S., Liu Y.J., Zhang S.Y., Fu C.L., Wang T.H., Wu P.F., Liu X.M. (2013) Petrogenesis and geodynamic setting of Neoproterozoic and Late Paleozoic magmatism in the Manzhouli-Erguna area of Inner Mongolia, China: geochronological, geochemical and Hf isotopic evidence. *J. Asian Earth Sci.* (67–68), 114–137.
- Herron M.M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sediment. Petrol.* **58**(5), 820–829.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J. (1984) Sm–Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. *Earth and Planet. Sci. Lett.* (67), 137–150.
- Liu H., Li Y., Wan Z., Lai Ch.-K. (2020) Early Neoproterozoic tectonic evolution of the Erguna Terrane (NE China) and its paleogeographic location in Rodinia supercontinent: Insights from magmatic and sedimentary record. *Gondwana Res.* (88), 185–200.
- Makishima A., Nagender B., Nakamura E. (2008) New sequential separation procedure for Sr, Nd and Pb isotope ratio measurement in geological material using MC–ICP–MS and TIMS. *Geochemical J.* (42), 237–246.
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) The composition of the Earth. *Chem. Geol.* **120**, 223–253.
- Pin C., Briot D., Bassin C., Poitrasson F. (1994) Concomitant separation of strontium and samarium–neodymium for isotopic analysis in silicate samples, based on specific extraction chromatography. *Anal. Chim. Acta.* (298), 209–217.
- Richard P., Shimizu N., Allègre C.J. (1976) <sup>143</sup>Nd/<sup>146</sup>Nd A Natural Tracer: An Application to Oceanic Basalts. *Earth Plan. Sci. Lett.* (31), 269–278.
- Tanaka T., Togashi S., Kamioka H., Amakawa H., Kagami H., Hamamoto T., Yuhara M., Orihashi Y., Yoneda S., Shimizu H., Kunimaru T., Takahashi K., Yanagi T., Nakano T., Fujimaki H., Shinjo R., Asahara Y., Tanimizu M., Dragusanu C. (2000) JNdi-1: a neodymium isotopic reference in consistency with LaJolla neodymium. *Chem. Geol.* (168), 279–281.
- Tang J., Xu W.L., Wang F., Wang W., Xu M.J., Zhang Y.H. (2013) Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Erguna Massif, NE China: petrogenesis and implications for the breakup of the Rodinia supercontinent. *Precamb. Res.* (224), 597–611.
- Yang Y.H., Chu Z.Y., Wu F.Y., Xie L.W., Yang J.H. (2011) Precise and accurate determination of Sm, Nd concentrations and Nd isotopic compositions in geological samples by MC–ICP–MS. *J. Anal. At. Spectrom.* (26), 1237–1244.
- Wronkiewicz D.J., Condie K.C. (1987) Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **51**(9), 2401–2416.
- Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.C., Zhang Y.B., Grant M.L., Wilde S.A., Jahn B.M. (2011) Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China. *J. Asian Earth Sci.* **41**(1), 1–30.
- Zhao S., Xu W.L., Tang J., Li Y., Guo P. (2016) Timing of formation and tectonic nature of the purportedly Neoproterozoic Jiageda Formation of the Erguna Massif, NE China: constraints from field geology and U–Pb geochronology of detrital and magmatic zircons. *Precambrian Res.* (281), 585–601.
- Zhou J.B., Wilde S.A., Zhang X.Z., Ren S.M., Zheng C.Q. (2011) Early Paleozoic metamorphic rocks of the Erguna block in the Great Xing'an Range, NE China: evidence for the timing of magmatic and metamorphic events and their tectonic implications. *Tectonophysics.* **499**(1–4), 105–117.