



GEODYNAMIC CONDITIONS OF SEDIMENTATION AND SOURCES OF PALEOZOIC TERRIGENOUS ROCKS FROM THE YAMKUN SERIES OF THE ARGUN CONTINENTAL MASSIF

Yu.N. Smirnova ¹✉, A.V. Kurilenko ^{2,3}

¹ Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Relochniy ln, Blagoveshchensk 675000, Russia

² Karpinsky Russian Geological Research Institute, 74 Sredny Ave, Saint Petersburg, 199106, Russia

³ Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

ABSTRACT. The paper deals with the distribution of the major oxides and trace elements in the Paleozoic terrigenous rocks of the Ildikan and Gazimursky Zavod formations from the Yamkun series of the Argun continental massif. The main purpose of the study is to reconstruct depositional settings and sources of clastic material. It is shown that the terrigenous rocks of the Ildikan and Gazimursky Zavod formations correspond to different lithotypes: graywackes, arkoses, and litharenites. According to the variations in Zr/Sc and Th/Sc ratios, the rocks of the Yamkun series are the first-cycle sediments. Whole-rock geochemical composition of studied rocks suggests that the main sources of clastic material were felsic and intermediate igneous rocks, with a subordinate amount of mafic rocks. The use of these data in combination with the U-Pb geochronological data on igneous rocks from the Argun massif implies that the initial material was mainly sourced from the Tonian, Cambrian, Ordovician and Early Silurian felsic and intermediate igneous rocks, widely abundant within the Argun continental massif. Additional sources of clastic material may involve the Paleoproterozoic orthogneisses from the Xinhuaokou complex of the Argun massif. The position of figurative points of the composition of the Paleozoic terrigenous rocks from the Yamkun series of the Argun massif on the tectonic discriminant diagrams in combination with geological data indicates a passive continental margin setting for the Lower-Middle Devonian deposits of the Ildikan formation and an active continental margin (or island-arc) setting for the Lower Carboniferous deposits of the Gazimursky Zavod formation.

KEYWORDS: Ildikan formation; Gazimursky Zavod formation; terrigenous rocks; paleogeodynamics; Argun massif

FUNDING: The study was carried out on the state assignment of the Institute of Geology and Nature Management FEB RAS (No. 122041800127-8, "Geodynamic settings, main stages of tectonic evolution and metallogeny of the eastern part of the Central Asian Orogenic Belt").



EDN: TJNZRN

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Yulya N. Smirnova, smirnova@ascnet.ru

Received: August 26, 2025

Revised: October 8, 2025

Accepted: October 14, 2025

FOR CITATION: Smirnova Yu.N., Kurilenko A.V., 2025. Geodynamic Conditions of Sedimentation and Sources of Paleozoic Terrigenous Rocks from the Yamkun Series of the Argun Continental Massif. *Geodynamics & Tectonophysics* 16 (6), 0859. doi:10.5800/GT-2025-16-6-0859

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СЕДИМЕНТАЦИИ И ИСТОЧНИКИ ПАЛЕОЗОЙСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЯМКУНСКОЙ СЕРИИ АРГУНСКОГО КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА

Ю.Н. Смирнова¹, А.В. Куриленко^{2,3}

¹ Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 675000, Благовещенск, пер. Релочный, 1, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Санкт-Петербург, пр-т Средний, 74, Россия

³ Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

АННОТАЦИЯ. В публикации приведены особенности распределения основных пороодообразующих компонентов и микроэлементов в палеозойских терригенных отложениях ильди́канской и газимурозаводской свит ямкунской серии Аргунского континентального массива. Главной целью исследований является реконструкция обстановок накопления и определение основных источников кластического материала. Показано, что терригенные породы ильди́канской и газимурозаводской свит соответствуют различным литотипам: грауваккам, аркозам и литоидным аренитам. Согласно вариациям величин Zr/Sc и Th/Sc отложения ямкунской серии являются породами первого цикла седиментации. Анализ геохимического состава изученных пород свидетельствуют о том, что основными источниками кластического материала для них являлись кислые и средние магматические породы при возможном вовлечении в осадконакопление пород основного состава. Эти данные в совокупности с результатами U-Pb геохронологических исследований магматических образований Аргунского массива позволяют предполагать, что основными источниками исходного материала являлись тонийские, кембрийские, ордовикские и раннесилурийские магматические породы кислого и среднего состава, широко распространенные в пределах Аргунского континентального массива. В качестве дополнительных источников сноса стоит рассматривать палеопротерозойские ортогнейсы комплекса Синхуадукоу Аргунского массива. В свою очередь, положение фигуративных точек состава палеозойских терригенных отложений ямкунской серии Аргунского массива на тектонических дискриминационных диаграммах, а также накопленные геологические данные свидетельствуют о формировании ниже- и среднедевонских отложений ильди́канской свиты в обстановке пассивной континентальной окраины, а нижнекаменноугольных пород газимурозаводской свиты – в обстановке активной континентальной окраины или островной дуги.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ильди́канская свита; газимурозаводская свита; терригенные породы; палеогеодинамика; Аргунский массив

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование проведено в рамках госзадания ИГиП ДВО РАН (№ 122041800127-8, «Геодинамические обстановки, основные этапы тектонической эволюции и металлогения восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса»).

1. ВВЕДЕНИЕ

В восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса одним из крупных континентальных массивов является Аргунский (Аргун-Идерме́гский) [Parfenov et al., 2003] (рис. 1, а). К настоящему времени на основании комплексных минералого-геохимических, изотопно-геохимических (Sm-Nd) и изотопных (U-Pb метод, LA-ICP-MS) исследований выявлены вероятные поставщики кластического материала и выполнена реконструкция палеогеодинамических условий накопления верхнепротерозойских и нижнепалеозойских отложений северо-западной части Аргунского массива [Smirnova, Dril, 2022; Smirnova et al., 2023, 2024a, 2024b]. В то же время остаются слабоизученными терригенные и терригенно-карбонатные породы ильди́канской, яковлевской и газимурозаводской свит ямкунской серии, представляющие средне- и позднепалеозойский этап развития массива.

Наши исследования направлены на анализ особенностей распределения пороодообразующих оксидов, редкоземельных, редких и рассеянных элементов в терригенных отложениях нижнесреднедевонской ильди́канской свиты и нижнекаменноугольной газимурозаводской свиты ямкунской серии с целью реконструкции природы и состава пород в области сноса, а также геодинамических обстановок их накопления. Образцы пород были отобраны из коренных обнажений, расположенных в бассейнах рек Газимур и Донинская Борзя (рис. 1, б, в).

2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

По существующим представлениям в среднем и поздне палеозое в строении Аргунского массива в пределах Восточного Забайкалья выделяется следующая стратиграфическая последовательность (снизу вверх

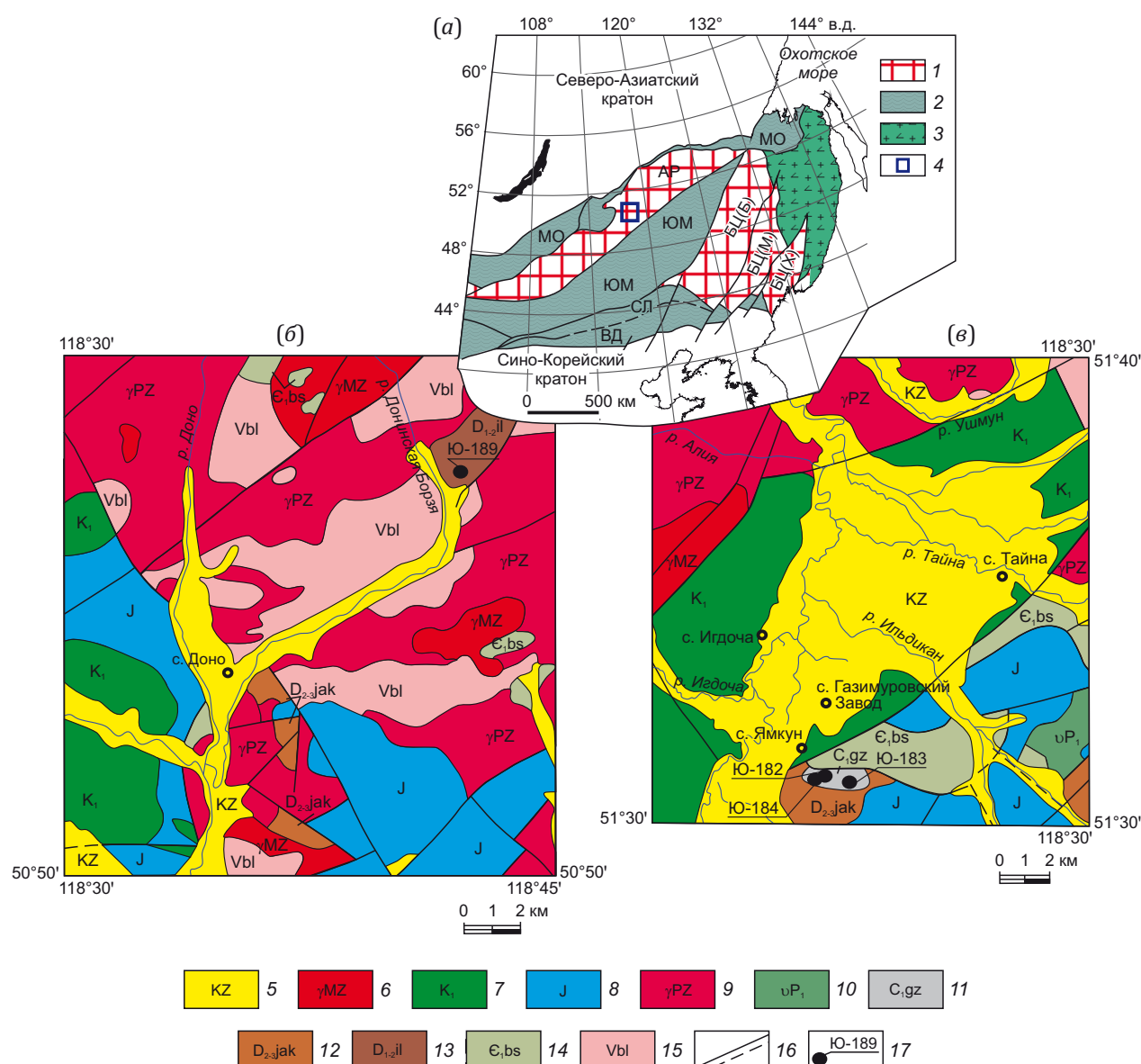


Рис. 1. Положение объекта исследований на тектонической схеме восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса по [Parfenov et al., 2003] (а) и геологические схемы северо-западной части Аргунского континентального массива по [State Geological Map..., 1998, 2001] с дополнениями авторов (б, в).

1 – континентальные массивы: АР – Аргунский, БЦ – Бурей-Цямусинский; террейны Бурейский (Б), Малохинганский (М), Ханкайский (Х); 2 – палеозойско-раннемезозойские складчатые пояса: ЮМ – Южномонгольско-Хинганский, МО – Монголо-Охотский, СЛ – Солонкерский, ВД – Вундурмиао; 3 – позднечурско-раннемеловые орогенные пояса; 4 – район исследований; 5 – кайнозойские рыхлые отложения; 6 – мезозойские граниты и лейкограниты; 7 – меловые вулканогенно-осадочные комплексы; 8 – юрские осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 9 – палеозойские гранитоиды; 10 – раннепермские габбро; 11–13 – терригенные и терригенно-карбонатные отложения ямкунской серии: 11 – нижнекаменноугольной газимуровской свиты, 12 – средневерхнедевонской яковлевской свиты, 13 – нижнесреднедевонской ильдиканской свиты; 14 – нижнекембрийские терригенно-карбонатные отложения быстринской свиты аргунской серии; 15 – вендские терригенно-карбонатные отложения белётуйской свиты быркинской серии; 16 – разломы; 17 – места отбора образцов для геохимических исследований и их номера.

Fig. 1. Position of the study area in the eastern Central Asian orogenic belt (after [Parfenov et al., 2003]) (a) and geological schemes of the northwestern part of the Argun continental massif (supplemented after [State Geological Map..., 1998, 2001]) (b, v).

1 – continental massifs: AP – Argun; BC – Bureya-Jiamusi, terranes: Bureya (B), Lesser Khingan (M), Khanka (X), 2 – Paleozoic – Early Mesozoic orogenic foldbelts: ЮМ – South Mongolian-Khingan, МО – Mongol-Okhotsk, СЛ – Solonker, ВД – Wundurmiao; 3 – Late Jurassic – Early Cretaceous orogenic foldbelts; 4 – study area; 5 – Cenozoic loose sediments; 6 – Mesozoic granites and leucogranites; 7 – Cretaceous volcanosedimentary complexes; 8 – Jurassic sedimentary and volcanosedimentary rocks; 9 – Paleozoic granitoids; 10 – Early Permian gabbro; 11–13 – terrigenous and terrigenous-carbonate rocks of the Yamkun series: 11 – Lower Carboniferous Gazimursky Zavod formation, 12 – Middle-Upper Devonian Yakovlev formation, 13 – Lower-Middle Devonian Ildikan formation; 14 – Lower Cambrian terrigenous-carbonate deposits of the Bystraya formation of the Argun series; 15 – Vendian terrigenous-carbonate rocks of the Beletuy formation of the Byrka series; 16 – faults; 17 – sampling sites for geochemical studies and their numbers.

[State Geological Map..., 2010]): горнозерентуйская толща (Sgz) → макаровская толща (D₁mk) → ильди́канская свита (D₁₋₂il) → яковлевская свита (D₂₋₃jak) → газимурозаводская свита (C₁gz) (рис. 2).

Силурийская горнозерентуйская толща закартирована в тектонических блоках вблизи пос. Нерчинский Завод, в районе гор Благодатской и Трехсвятительской. В основании свиты отмечается присутствие конгломератобрекчий и конгломератов, вверх по разрезу сменяющихся переслаивающимися аргиллитами, алевролитами и песчаниками, туффитами с линзами и прослоями мергелей, гравелитов и ракушечников. Общая мощность толщи не превышает 60 м. Представления о ее возрасте основываются на находках брахиопод, которые соответствуют периоду времени от позднего лландовери до пржидоли [State Geological Map..., 2010].

Макаровская толща слагает тектонические блоки или ксенолиты среди гранитоидов ундинского ком-

плекса и динамометаморфических пород агинско-борщовочного комплекса на правом берегу р. Онон, от устья р. Макарова до верховьев р. Урульга, а также на правом берегу р. Унда и в приустьевой части р. Нерча [Kurilenko et al., 1999; State Geological Map..., 2010, 2015]. Толща мощностью 1300–1600 м сложена в нижней части аргиллитами с прослоями кварцитовидных песчаников и конгломератов. Далее отмечается присутствие олистостромового горизонта, который вверх по разрезу наращивается пачкой переслаивания песчаников и аргиллитов. Завершает разрез макаровской толщи пачка сланцеватых углистых, кремнистых аргиллитов и алевролитов с линзовидными прослоями полимиктовых песчаников. Далее обнажаются известковистые алевролиты и аргиллиты с прослоями известняков. Возраст толщи определен по остаткам криноидей как пржидольско-лохковский [Kurilenko et al., 2002]. Контакты макаровской толщи с более древними породами тектонические.

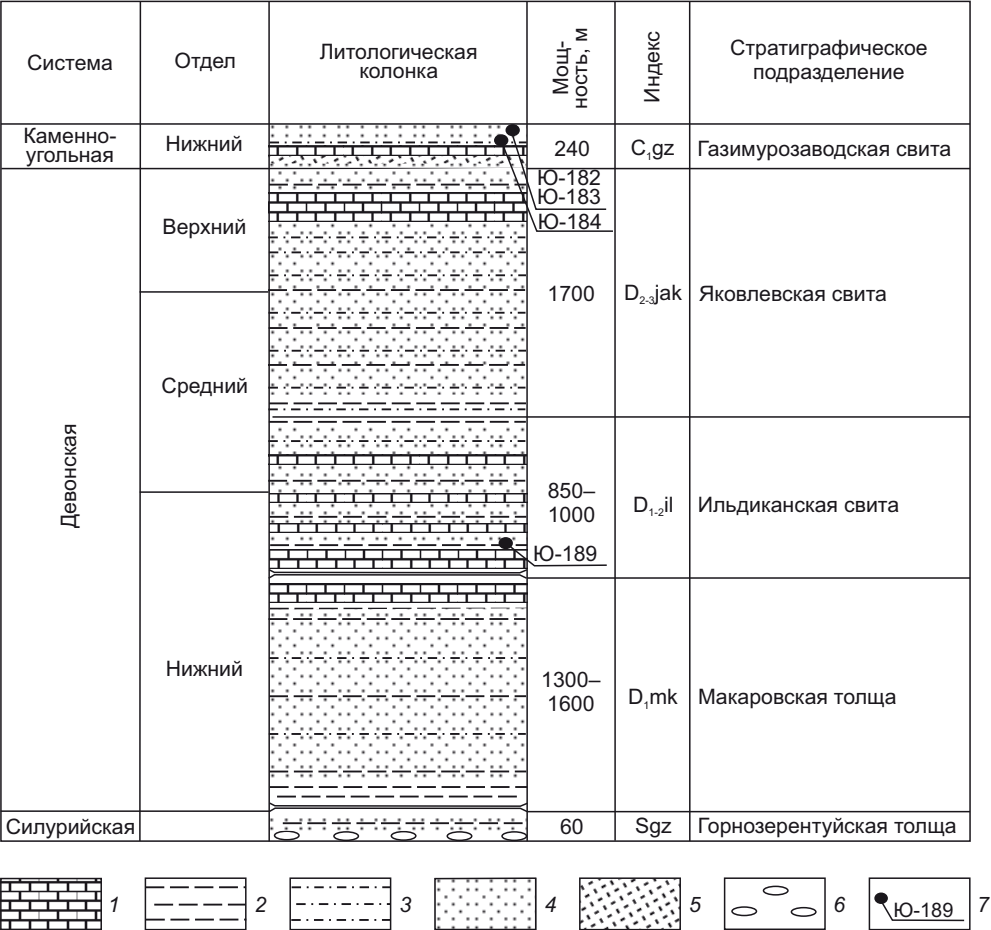


Рис. 2. Стратиграфическая колонка палеозойских осадочных пород северо-западной части Аргунского континентального массива (составлена по [State Geological Map..., 1998, 2001]).

1 – известняки; 2 – аргиллиты; 3 – алевролиты; 4 – песчаники; 5 – туффиты; 6 – конгломераты; 7 – места отбора образцов для геохимических исследований и их номера.

Fig. 2. Stratigraphic column of the Paleozoic sedimentary rocks in the northwestern part of the Argun continental massif (after [State Geological Map..., 1998, 2001]).

1 – limestones; 2 – mudstones; 3 – siltstones; 4 – sandstones; 5 – tuffites; 6 – conglomerates; 7 – sampling sites for geochemical studies and their numbers.

Отложения нижнесреднедевонской ильдиканской свиты встречаются в мелких тектонических блоках в бассейне р. Газимур и вблизи пос. Нерчинский Завод, а также в бассейнах рек Унда, Урулюнгуй и Донинская Борзя. Низы ильдиканской свиты не известны, и взаимоотношения с нижележащими породами не установлены. Свита представлена известковистыми доломитами, известняками, мергелями, кремнистыми породами и аргиллитами общей мощностью 850–1000 м [State Geological Map..., 2010]. Возраст свиты принят пражско-эйфельским на основании определения органических остатков криноидей, брахиопод, трилобитов и кораллов [Kurilenko, 2001].

Отложения яковлевской свиты прослеживаются в бассейне р. Газимур по ее притокам Мистурная, Ильдикан, Котиха, Большая и Средняя Кулинда, а также по рекам Донинская Борзя и Онон. Общая мощность яковлевской свиты достигает 1700 м [State Geological Map..., 2010; Kurilenko, 2000]. В составе свиты наблюдаются кремнистые аргиллиты, алевролиты, реже – аркозовые, полимиктовые и известковистые песчаники, гравелиты, известняки. Породы яковлевской свиты согласно залегают на ильдиканской свите и перекры-

ваются газимурозаводской свитой. Стратон охарактеризован тремя разновозрастными комплексами фауны – живетским, раннефранским и позднефаменским [Kurilenko, 2000].

Газимурозаводская свита выделена в небольших разрозненных выходах в бассейне среднего течения р. Газимур, по р. Котиха, а также на левобережье р. Онон, в бассейне р. Унда и в районе Ононского хребта. Непосредственно на контакте с песчаниками нижележащей яковлевской свиты согласно залегают известняки газимурозаводской свиты. Далее вверх по разрезу закартирован слой гравелитов, который сменяется песчаниками с горизонтом туффитов и пачкой переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов с прослоями известняков [State Geological Map..., 2001]. Общая мощность разреза составляет 240 м. Возраст свиты принят турне-ранневизейским на основании находок брахиопод, мшанок и криноидей [Kurilenko et al., 2002].

Объектом исследований являлись терригенные отложения ильдиканской и газимурозаводской свит ямкунской серии Аргунского континентального массива. Образцы пород ильдиканской свиты были отобраны из коренного обнажения, расположенного в бассейне

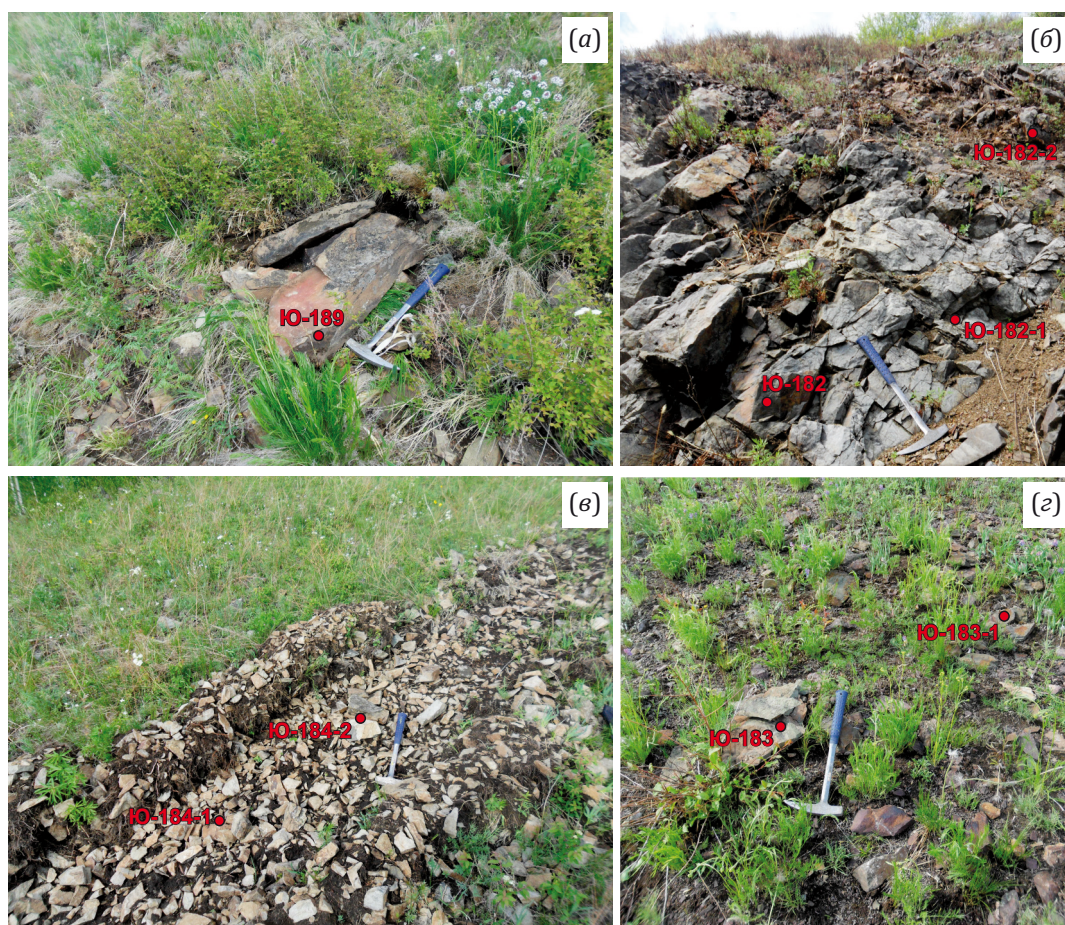


Рис. 3. Фотографии коренных обнажений осадочных пород ильдиканской (а) и газимурозаводской (б–г) свит ямкунской серии Аргунского континентального массива.

Fig. 3. Photographs of sedimentary outcrops of the Ildikan (а) and Gazimursky Zavod (б–г) formations of the Yamkun series of the Argun continental massif.

р. Донинская Борзя (обр. Ю-189...Ю-189-4: 50°57'40.5" с.ш., 118°41'57.3" в.д. (рис. 3, а). Песчаники и алевролиты газимурозаводской свиты отобраны в междуречье Ильдикан – Кулинда (обр. Ю-182...Ю-182-4: 51°30'54.9" с.ш., 118°20'27.7" в.д. (рис. 3, б); обр. Ю-184–Ю-184-3:

51°30'27.4" с.ш., 118°20'11.5" в.д. (рис. 3, в); обр. Ю-183...Ю-183-4: 51°30'56.1" с.ш., 118°21'42.0" в.д. (рис. 3, г).

Петрографическое описание образцов с указанием координат мест их отбора приведено в Прил. 1, табл. 1.1. Фотографии шлифов представлены на рис. 4.

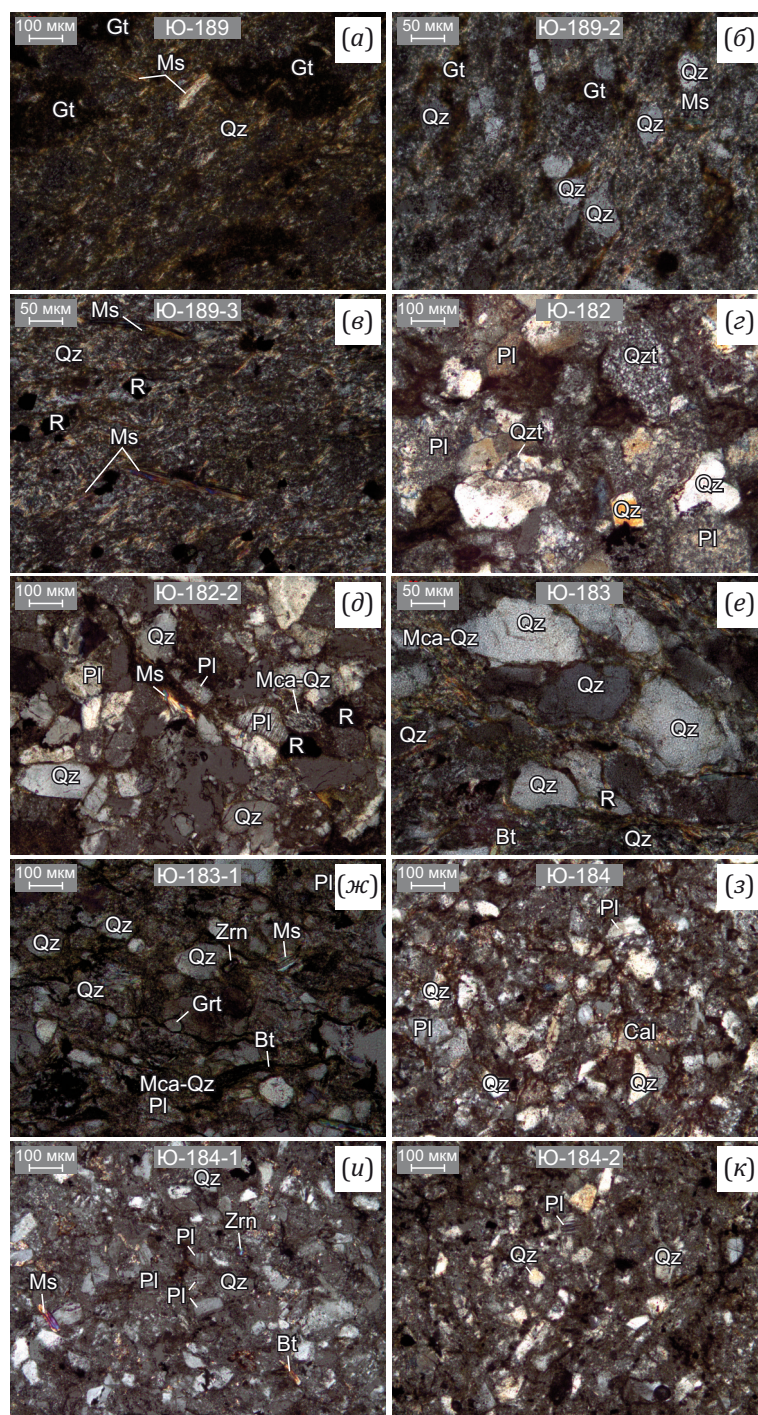


Рис. 4. Микрофотографии осадочных пород ильдиканской (а–е) и газимурозаводской (з–к) свит ямкунской серии Аргунского континентального массива. Нумерация образцов соответствует таковой в тексте и в таблицах. Qz – кварц, Qzt – кварцит, Pl – плагиоклазы, Ms – мусковит, Bt – биотит, Mca-Qz – слюдисто-кварцевые сланцы, Cal – кальцит, Gt – гётит, R – рудные минералы, Zrn – циркон, Grt – гранат.

Fig. 4. Micrographs of sedimentary rocks from the Ildikan (a–e) and Gazimurzy Zavod (z–k) formations of the Yamkun series of the Argun continental massif. The sample numbers correspond to those in the text and in the tables. Qz – quartz, Qzt – quartzite, Pl – plagioclase, Ms – muscovite, Bt – biotite, Mca-Qz – mica-quartz schists, Cal – calcite, Gth – goethite, R – ore minerals, Zrn – zircon, Grt – garnet.

3. МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Минералого-петрографические исследования пород были выполнены с помощью поляризационного микроскопа Axio Scope A1, оснащенного цифровой камерой Axio CAM 1 CC3.

Содержания породообразующих компонентов в породах определены в 19 образцах рентгенофлуоресцентным методом в ЦКП «Амурский центр минералого-геохимических исследований» ИГиП ДВО РАН (г. Благовещенск) на рентгеновском спектрометре Lab Center XRF-180. Подробно методика проведения рентгенофлуоресцентного анализа приведена в статье [Segrenev, Prots, 2024].

Концентрации микроэлементов в терригенных отложениях определены в 14 образцах в ЦКП Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток) методом ICP-MS. В рамках исследований для разложения образцов и перевода их в раствор был применен метод, основанный на сплавлении исследуемой пробы с метаборатом лития [Nikolaeva et al., 2008, 2012; Thompson, Walsh, 1988; Jain et al., 2001]. Для оценки точности результатов исследований с каждой партии образцов анализировался состав стандартных образцов G-2, GM (граниты) Геологической службы США и ГСО № 3333-85 (СГ-3), Россия.

Для переведения анализируемого образца в раствор измельченную до 200 меш пробу массой 50 мг смешивали с метаборатом лития в соотношении 1:3 в платиновом тигле, помещали в холодную муфельную печь и нагревали до 1050 °С. Сплавление при этой температуре вели в течение 15 мин. Полученные сплавы растворяли в пятипроцентной HNO_3 . Растворы упаривали с добавлением плавиковой кислоты для удаления избытка кремния и бора до влажных солей. Осадки обрабатывали 20%-ной HNO_3 с добавлением следов HF для предотвращения возможного гидролиза и полимеризации высокозарядных ионов элементов Zr, Nb, Hf, Ta, а также Mo и W. После этого растворы переносили в мерные полипропиленовые колбы вместимостью 50 см³ и доводили их до метки деионизированной водой.

Для измерения проводили дополнительное разбавление растворов образцов в пять раз четырехпроцентной HNO_3 в полипропиленовых пробирках для снижения солевого фона. Во все растворы предварительно перед анализом добавляли внутренний стандарт In при конечной концентрации в растворе 10 мкг/дм³. Фактор разбавления составил 5000, поскольку при использовании методов плазменной спектрометрии следует избегать анализа высокоминерализованных растворов. Анализ полученных растворов на широкий спектр элементов был выполнен на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500с (Япония). Настройку прибора проводили по специальному раствору, содержащему 10 мкг/дм³ лития, кобальта, иттрия, церия и таллия (Agilent Technologies, США), таким образом, чтобы достичь макси-

мальной чувствительности при минимальном значении уровня образования ионов оксидов и двузарядных ионов. Использовали Multi-element Calibration Standard 1 (№ 8500-6944): Ce, Dy, Er, Eu, Gd, Ho, La, Lu, Nd, Pr, Sc, Sm, Tb, Th, Tm, Y, Yb; Multi-element Calibration Standard 2A (№ 8500-6940): Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Li, Ni, Pb, Rb, Sr, U, V, Zn; Multi-element Calibration Standard 3 (№ 8500-6948): Hf и Multi-element Calibration Standard 4 (№ 8500-6942): Mo, Nb, Ta, W, Zr (Agilent Technologies, США). Относительная погрешность определения содержаний петрогенных и малых элементов составила 3–10 %.

4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД

Вариации породообразующих компонентов в терригенных отложениях ямкунской серии приведены на рис. 5 и в Прил. 1, табл. 1.2. В алевролитах ильди́канской свиты отмечаются следующие петрогенные компоненты: SiO_2 (59.59–70.29 мас. %), Al_2O_3 (15.20–19.49 мас. %), Fe_2O_3^* (3.92–8.63 мас. %), TiO_2 (0.82–1.06 мас. %), MgO (0.84–1.23 мас. %), CaO (0.11–0.25 мас. %), K_2O (3.50–5.03 мас. %) и Na_2O (0.19–0.34 мас. %). Для всех образцов характерно преобладание K_2O над Na_2O ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 10.79–19.35$).

В песчаниках и алевролитах газимурозаводской свиты отмечаются более значительные изменения содержаний SiO_2 (64.99–79.71 мас. %), Fe_2O_3^* (1.83–6.65 мас. %), MgO (0.26–1.81 мас. %), CaO (0.20–2.48 мас. %) и Na_2O (0.14–4.89 мас. %), при этом уменьшаются концентрации TiO_2 (0.32–0.75 мас. %), Al_2O_3 (10.16–17.37 мас. %), и K_2O (1.75–3.83 мас. %). Отмечается отличие терригенных отложений газимурозаводской свиты от алевролитов ильди́канской свиты – присутствие среди них образцов, в которых преобладает Na_2O над K_2O , а соотношение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ изменяется в более широких пределах (0.55–15.00). Такие вариации значений величины $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ позволяют предполагать, что в области сноса присутствовали различные по кремнекислотности породы.

На классификационной диаграмме L – Q – F [Kossovskaya, Tuchkova, 1988] точки состава алевролитов ильди́канской свиты расположены в полях олигомиктовых и полимиктовых отложений, тогда как песчаники и алевролиты газимурозаводской свиты локализируются в полях олигомиктовых и кварцевых пород (рис. 6, а).

По соотношениям породообразующих компонентов, лежащих в основе диаграммы $\text{Na}_2\text{O} - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{K}_2\text{O}$ [Blatt et al., 1972], алевролиты ильди́канской свиты соответствуют отложениям аркозового состава и лититам, а песчаники и алевролиты газимурозаводской свиты соответствуют лититам, грауваккам и аркозам (рис. 6, б).

Особенности распределения редкоземельных элементов в терригенных отложениях ямкунской серии существенно не различаются (Прил. 1, табл. 1.3; рис. 7). Содержание лантаноидов в алевролитах ильди́канской свиты изменяется от 123 до 331 г/т, в песчаниках и алевролитах газимурозаводской свиты варьируется

в более узких пределах: от 166 до 239 г/т. Для них типичен пологий характер распределения редкоземельных элементов ($[La/Yb]n=4.90-13.15$). Значения параметра Gdn/Ybn в алевролитах ильдиканской свиты ($Gdn/Ybn=1.04-2.33$) сопоставимы с таковыми в терригенных отложениях газимурозаводской свиты ($Gdn/Ybn=1.40-2.75$). Рассматриваемые отложения характеризуются отчетливо проявленной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^*=0.48-0.77$).

По содержанию редкоземельных элементов большинство изученных образцов терригенных пород иль-

диканской и газимурозаводской свит характеризуются незначительным обогащением лантаноидами по сравнению с таковыми в верхней континентальной коре, при этом спектры распределения редкоземельных элементов в них близки.

На спектрах распределения элементов-примесей отметим, что в алевролитах ильдиканской свиты содержание от 100 до 1000 г/т характерно для Zr, Rb, Ba, Cr, V (рис. 8, а). В трех образцах из пяти концентрации Sr выше 100 г/т. В диапазоне значений от 10 до 100 г/т находятся содержания Nb, Pb, Th, La, Sc и Ce. Концентрации

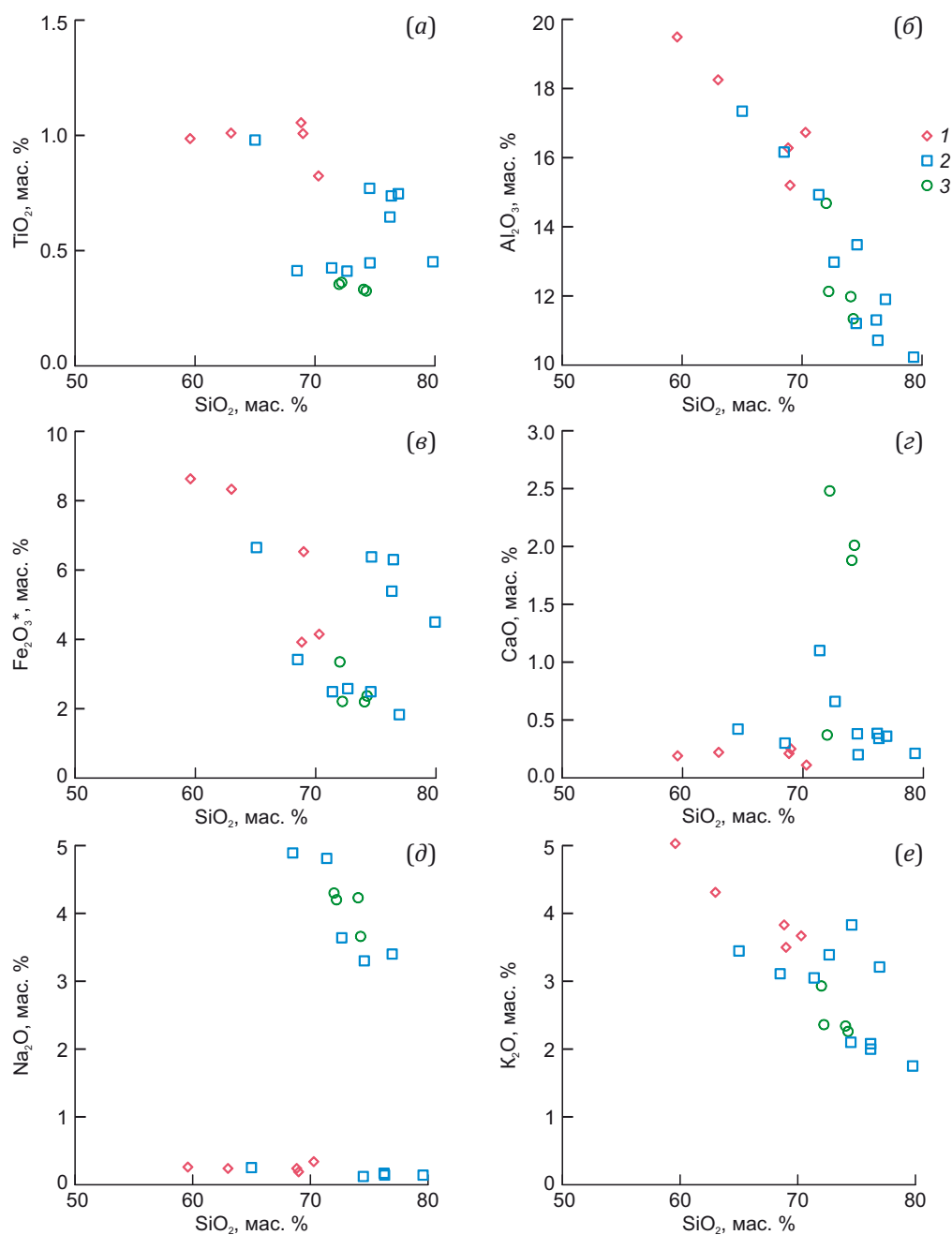


Рис. 5. Диаграммы SiO_2 – порообразующие оксиды для терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива. 1 – алевролиты ильдиканской свиты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты газимурозаводской свиты.

Fig. 5. Diagrams SiO_2 – major oxides for terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif. 1 – siltstones of the Ildikan formation, 2 – sandstones, 3 – siltstones Gazimursky Zavod formation.

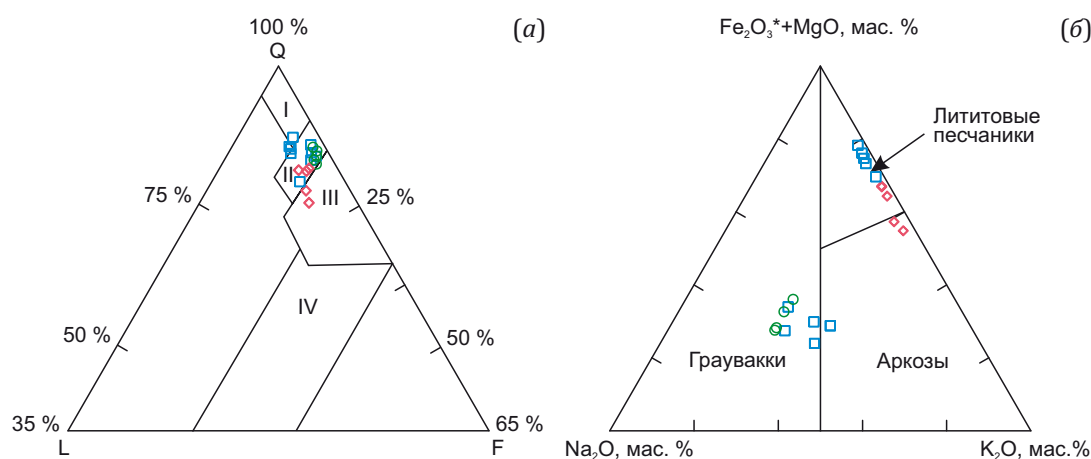


Рис. 6. Диаграммы L – Q – F [Kossovskaya, Tuchkova, 1988] (a), $\text{Na}_2\text{O} - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{K}_2\text{O}$ [Blatt et al., 1972] (б) для терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива. Условные обозначения на рис. 5. Поля песчаников (a): I – кварцевых, II – олигомиктовых, III – полимиктовых, IV – вулканокластических.

Fig. 6. Diagrams L – Q – F [Kossovskaya, Tuchkova, 1988] (a), $\text{Na}_2\text{O} - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{K}_2\text{O}$ [Blatt et al., 1972] (б) for terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif. See Fig. 5 for legend. Sandstone fields (a): I – quartz, II – oligomictic, III – polymictic, IV – volcanoclastic.

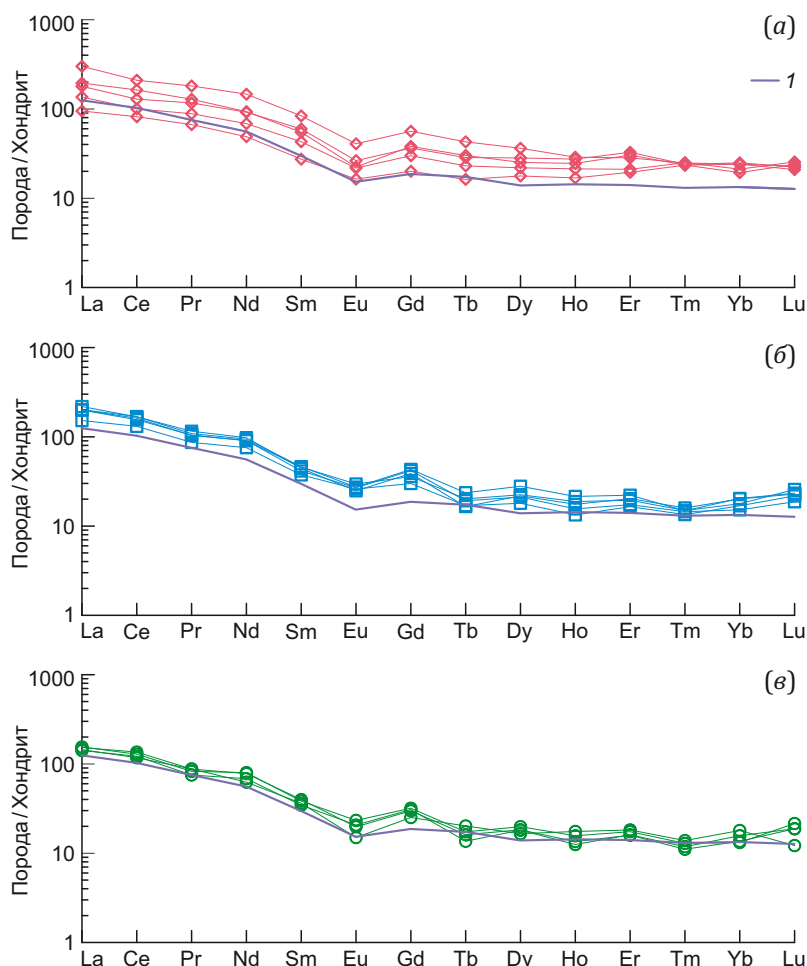


Рис. 7. Вариации редкоземельных элементов в алевролитах ильди́канской свиты (a), песчаниках (б) и алевролитах (в) газимурзаводской свиты ямкунской серии Аргунского континентального массива. Состав хондрита по [McDonough, Sun, 1995]. 1 – состав верхней континентальной коры по [Taylor, McLennan, 1985].

Fig. 7. The REE distribution pattern for siltstones of the Ildikan formation (a), sandstones (б) and siltstones (в) of the Gazimursky Zavod formation of the Yamkun series of the Argun continental massif. Chondrite composition after [McDonough, Sun, 1995]. 1 – upper continental crust composition after [Taylor, McLennan, 1985].

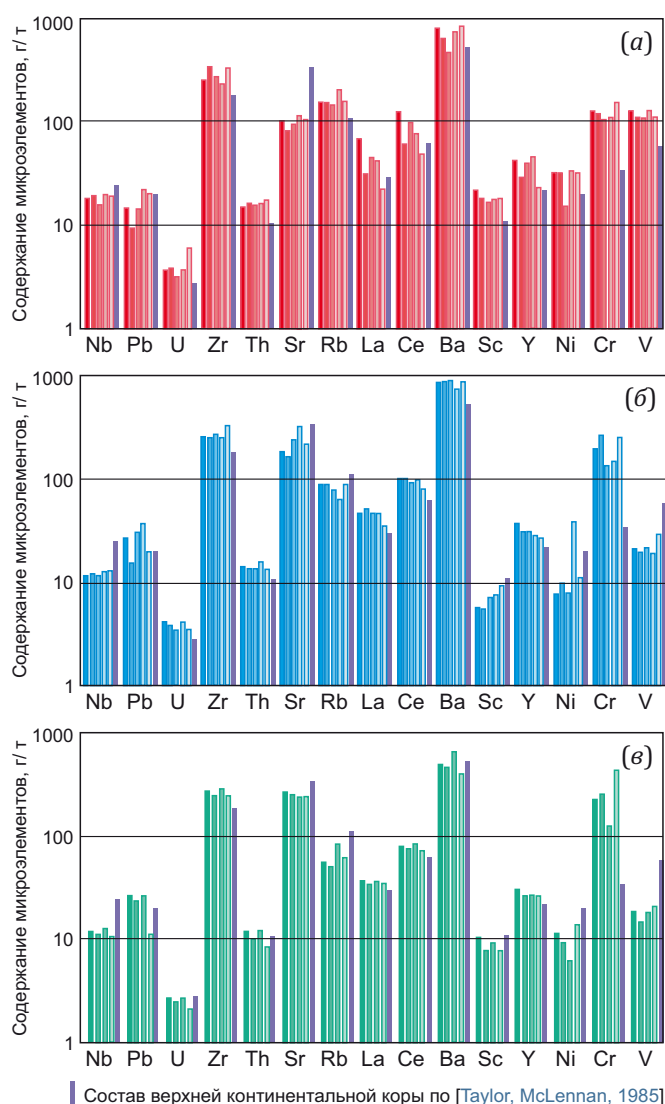


Рис. 8. Спектры содержаний элементов-примесей (г/т) в алевролитах ильди́канской свиты (а), песчаниках (б) и алевролитах (в) газимурозаводской свиты ямкунской серии Аргунского континентального массива.

Fig. 8. Spectra of trace element contents (ppm) in siltstones of the Ildikan formation (a), sandstones (б) and siltstones (в) Gazimurozavodskaya formation of the Yamkun series of the Argun continental massif.

Се лишь в одном образце выше 100 г/т. Содержание менее 10 г/т характерно только для U.

Спектры содержаний микроэлементов в песчаниках и алевролитах газимурозаводской свиты сопоставимы (рис. 8, б, в). Концентрации Zr, Sr, Ba, Cr во всех образцах превышают 100 г/т. В проанализированных образцах содержание Nb, Pb, Rb, La, Y, V изменяется в пределах от 10 до 100 г/т. Концентрации Ce в нескольких образцах выше, а в ряде – ниже 100 г/т. Содержания Th, Sc, Ni характеризуются вариативностью, и для них типичны как несколько выше, так и несколько ниже 10 г/т. Лишь содержание U во всех изученных терригенных породах газимурозаводской свиты ниже 10 г/т. В отложениях газимурозаводской

свиты происходит уменьшение содержаний Nb, Rb, Sc, Ni, V при незначительном увеличении концентраций Sr и Cr.

В терригенных породах ильди́канской и газимурозаводской свит отмечаются близкоровые содержания для большинства элементов-примесей за исключением незначительного дефицита Nb, Sr и обогащения в отношении Cr и V (рис. 8).

5. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДЫ И СОСТАВА ПОРОД ОБЛАСТЕЙ СНОСА

Геохимический состав терригенных пород несет в себе важную информацию о природе и составе исходного материала питающих провинций. Для этой цели разработана серия диаграмм, в основе которых лежит анализ концентраций и соотношений породообразующих компонентов и микроэлементов.

По значениям Zr/Sc и Th/Sc алевролиты ильди́канской и газимурозаводской свит соответствуют породам первого цикла, тогда как песчаники газимурозаводской свиты расположены вблизи тренда рециклинга (рис. 9, а).

На диаграмме Hf – La/Th [Floyd, Leveridge, 1987] фигуративные точки состава изученных отложений тяготеют к полю пород, источниками которых послужили кислые вулканические породы (рис. 9, б). Аналогичный вывод следует из анализа диаграммы Th – La – Sc [Bhatia, Crook, 1986] (рис. 9, в).

При определении состава источников сноса материала с помощью диаграммы F3 – F4 [Bhatia, 1983] выявлено, что породы ильди́канской и газимурозаводской свит образовались за счет материала из разных источников кислого и среднего состава (рис. 9, г).

На диаграмме Cr/Th – Th/Sc [Bracciali et al., 2007; Totten et al., 2000] точки состава алевролитов ильди́канской свиты расположены в области составов с содержанием основного компонента не более 30 % (рис. 9, д). При этом образцы алевролитов и песчаников характеризуются значительными вариациями соотношения Cr/Th и повышенными значениями Th/Sc, что свидетельствует о формировании их при размыве преимущественно кислых и средних образований.

Сравнение микроэлементного состава, а именно значений величин Eu/Eu*, [La/Yb]_n, [Gd/Yb]_n, Th/Cr, Cr/Zr, V/Ni, в породах ильди́канской и газимурозаводской свит с геохимическими «эталоном» (фанерозойскими гранитами, палеозойскими андезитами, базальтами и коматиитами, предложенными в работе [Condie, 1993]) свидетельствует о присутствии в области сноса различных по кремнекислотности образований (рис. 10).

Исходя из накопленных геологических данных [State Geological Map..., 2010, 2015] основными поставщиками кластического материала для терригенных отложений ямкунской серии, по-видимому, являлись палеозойские и неопротерозойские кислые и средние магматические породы, а также метаморфические образования Аргунского континентального массива [Feng

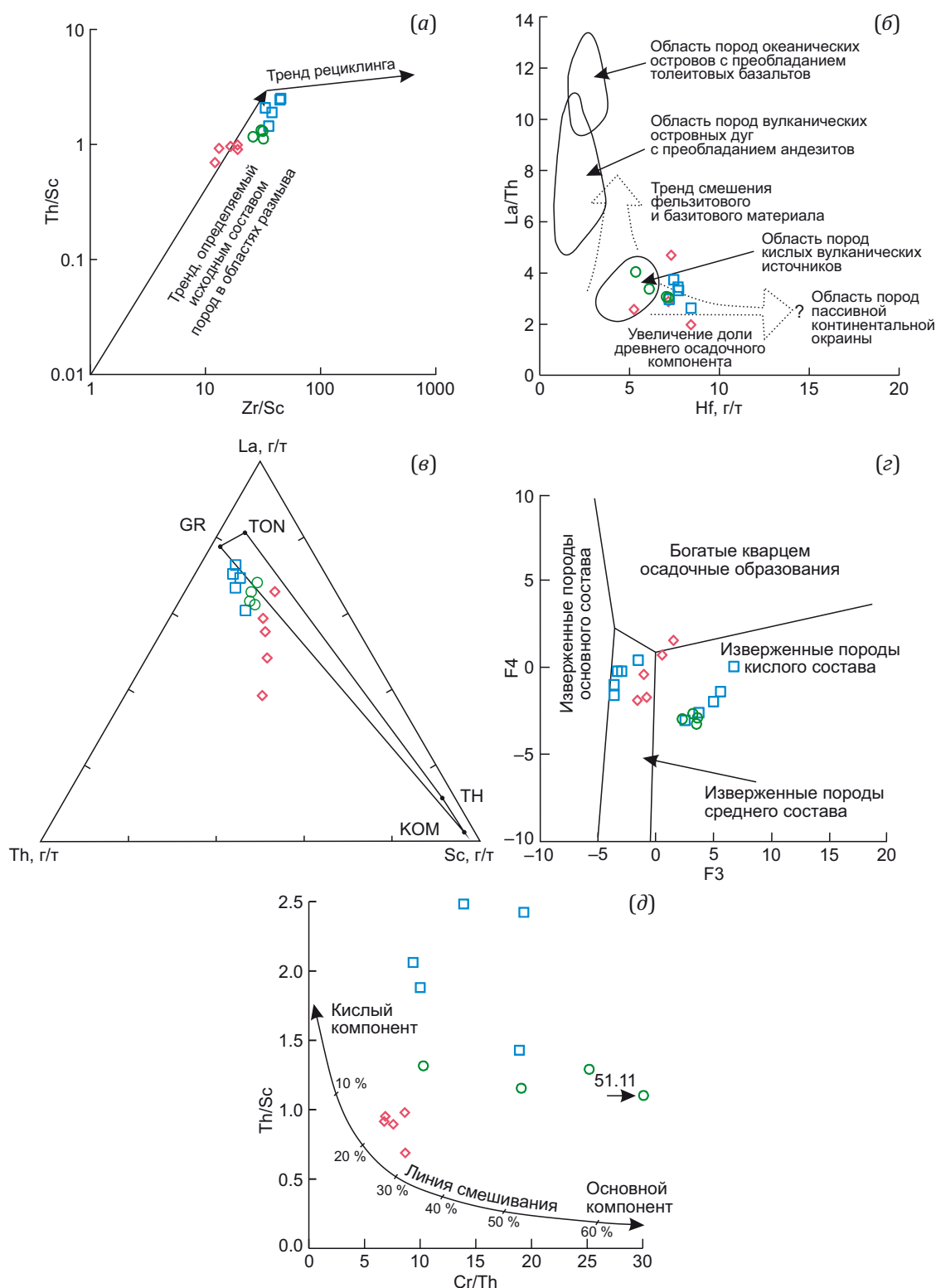


Рис. 9. Диаграммы $Zr/Sc - Th/Sc$ [McLennan et al., 1993] (а), $Hf - La/Th$ [Floyd, Leveridge, 1987] (б), $Th - La - Sc$ [Wronkiewicz, Condie, 1987] (в), $F3 - F4$ [Roser, Korsch, 1988] (г), $Cr/Th - Th/Sc$ [Bracciali et al., 2007; Totten et al., 2000] (д) для терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива. Условные обозначения на рис. 5. Сокращения (в): GR – граниты, TON – тоналиты, TH – толеиты, KOM – коматииты.

Fig. 9. Diagrams $Zr/Sc - Th/Sc$ [McLennan et al., 1993] (а), $Hf - La/Th$ [Floyd, Leveridge, 1987] (б), $Th - La - Sc$ [Wronkiewicz, Condie, 1987] (в), $F3 - F4$ [Roser, Korsch, 1988] (г), $Cr/Th - Th/Sc$ [Bracciali et al., 2007; Totten et al., 2000] (д) for terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif. See Fig. 5 for legend. Abbreviations (в): GR – granites; TON – tonalites; TH – tholeiites; KOM – komatiites.

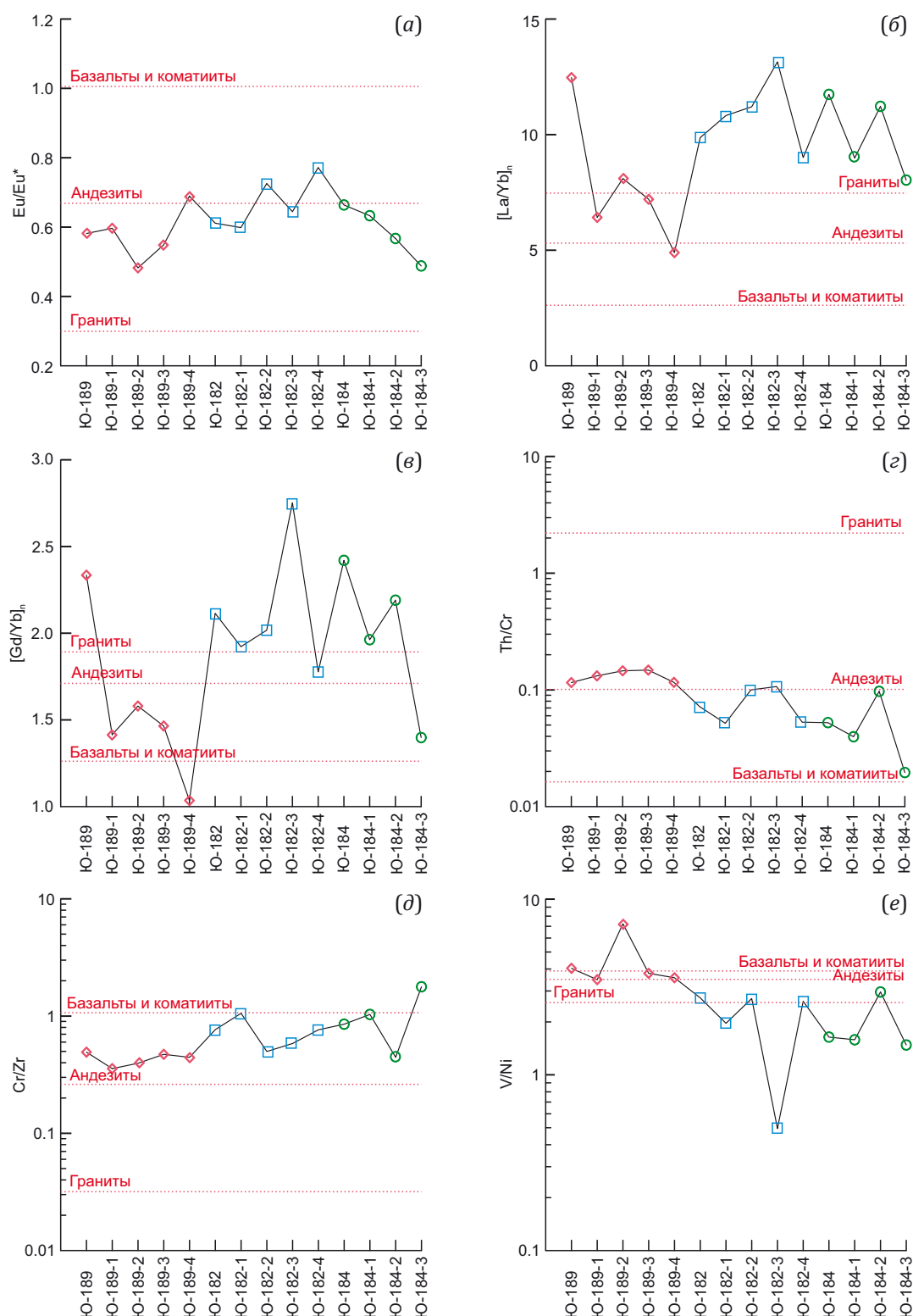


Рис. 10. Диаграммы вариаций отношений микроэлементов Eu/Eu^* (a), $[La/Yb]_n$ (б), $[Gd/Yb]_n$ (в), Th/Cr (г), Cr/Zr (д), V/Ni (е) в алевролитах ильди́канской свиты, песчаниках и алевролитах газимурзаводской свиты ямкунской серии Аргунского континентального массива и геохимических «эталонах» (фанерозойских гранитах, палеозойских базальтах, коматиитах и андезитах по данным [Condie, 1993]). Условные обозначения на рис. 5.

Fig. 10. Variation diagrams of trace-element ratios Eu/Eu^* (a), $[La/Yb]_n$ (б), $[Gd/Yb]_n$ (в), Th/Cr (г), Cr/Zr (д), V/Ni (е) in siltstones of the Ildikan formation, sandstones and siltstones of the Gazimursky Zavod formation of the Yamkun series of the Argun continental massif and in the geochemical "reference" samples (Phanerozoic granites, Paleozoic basalts, komatiites and andesites after [Condie, 1993]). See Fig. 5 for legend.

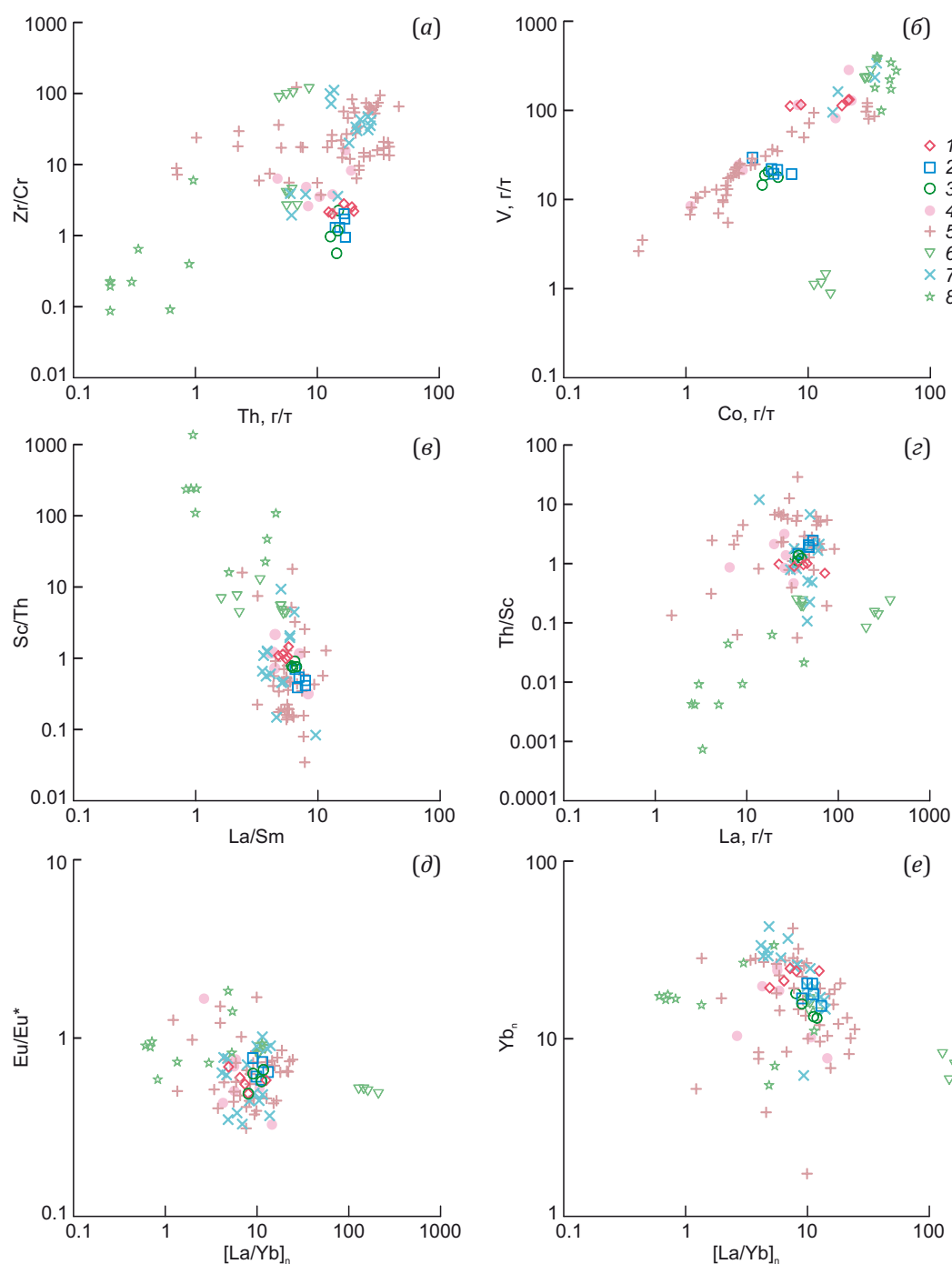


Рис. 11. Диаграммы Th – Zr/Cr (a), Co – V (б), La/Sm – Sc/Th (в), La – Th/Sc (г), $[La/Yb]_n$ – Eu/Eu* (д), $[La/Yb]_n$ – Yb_n (е) для терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива.

1 – алевриты ильди́канской свиты; 2 – песчаники; 3 – алевриты газимурзаводской свиты; 4 – палеопротерозойские ортогнейсы Аргунского массива [Hou et al., 2019]; 5 – неопротерозойские кислые и средние магматические породы Аргунского массива [Golubev et al., 2010; Gou et al., 2013; Feng et al., 2022; Liu et al., 2020; Tang et al., 2013]; 6 – неопротерозойские основные магматические породы Аргунского массива [Tang et al., 2013; Feng et al., 2022]; 7 – палеозойские кислые и средние магматические породы Аргунского массива [Feng et al., 2018; Li et al., 2018; Sorokin et al., 2004; Wu et al., 2012]; 8 – палеозойские основные магматические породы Аргунского массива [Feng et al., 2018].

Fig. 11. Diagrams Th – Zr/Cr (a), Co – V (б), La/Sm – Sc/Th (в), La – Th/Sc (г), $[La/Yb]_n$ – Eu/Eu* (д), $[La/Yb]_n$ – Yb_n (е) for terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif.

1 – siltstones of the Ildikan formation; 2 – sandstones; 3 – siltstones of the Gazimursky Zavod formation; 4 – Paleoproterozoic orthogneisses from the Argun massif [Hou et al., 2019]; 5 – Neoproterozoic felsic and intermediate magmatic rocks from the Argun massif [Golubev et al., 2010; Gou et al., 2013; Feng et al., 2022; Liu et al., 2020; Tang et al., 2013]; 6 – Neoproterozoic basic magmatic rocks from the Argun massif [Tang et al., 2013; Feng et al., 2022]; 7 – Paleozoic felsic and intermediate magmatic rocks from the Argun massif [Feng et al., 2018; Li et al., 2018; Sorokin et al., 2004; Wu et al., 2012]; 8 – Paleozoic basic magmatic rocks from the Argun massif [Feng et al., 2018].

et al., 2018, 2022; Ge et al., 2015; Golubev et al., 2010; Gou et al., 2013, 2020; Li et al., 2018; Liu et al., 2017; Liu et al., 2020; Sorokin et al., 2002, 2004, 2009; State Geological Map..., 2010; Tang et al., 2013; Wu et al., 2011; Wu et al., 2012; Yang et al., 2017] при участии раннедокембрийских гнейсов, выявленных на территории Китая в пределах Аргунского массива [Hou et al., 2019; Feng et al., 2022; Shao et al., 2015]. Данный вывод согласуется с положением фигуративных точек состава терригенных отложений ильди́канской и газимурозаводской свит вблизи точек состава неопротерозойских и палеозойских массивов гранитов, гранодиоритов, диоритов и кислых вулканических пород [Golubev et al., 2010; Gou et al., 2013; Feng et al., 2018, 2022; Li et al., 2018; Liu et al., 2020; Sorokin et al., 2004; Tang et al., 2013; Wu et al., 2012], а также палеопротерозойских орто-

гнейсов массива Синхуадукоу (Xinhuadukou) [Hou et al., 2019] (рис. 11).

6. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД ЯМКУНСКОЙ СЕРИИ

Для реконструкции палеогеодинамических обстановок накопления терригенных отложений ямкунской серии применялись широко известные диаграммы.

На диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, предложенной в работе [Roser, Korsch, 1986], фигуративные точки состава алевролитов ильди́канской свиты локализируются в поле пород пассивной континентальной окраины, в то время как точки состава терригенных отложений газимурозаводской свиты сосредоточены в полях активной и пассивной континентальной окраины (рис. 12, а).

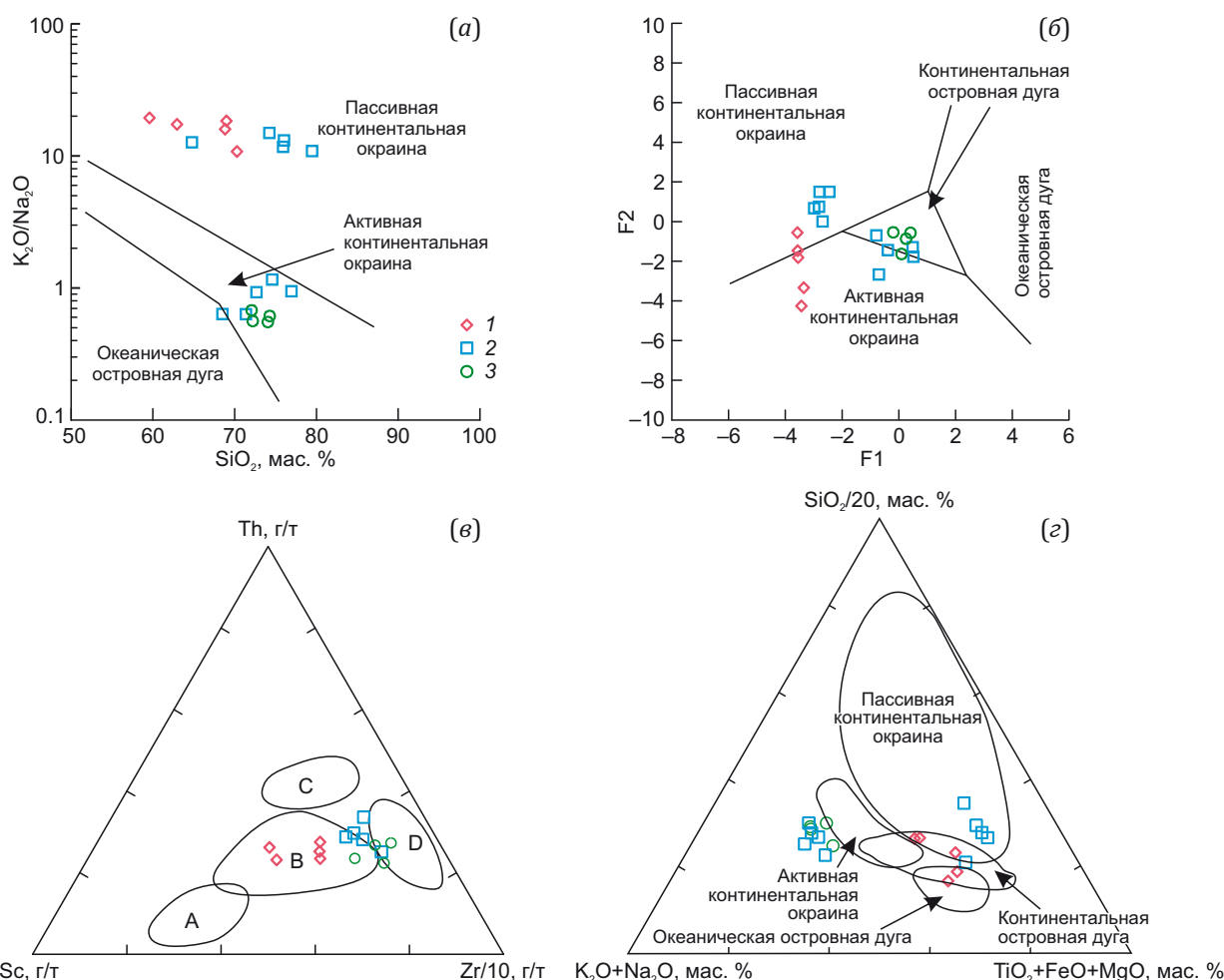


Рис. 12. Диаграммы $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [Roser, Korsch, 1986] (а), F1 – F2 [Bhatia, 1983] (б), Sc – Th – Zr/10 [Bhatia, Crook, 1986] (в), $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{SiO}_2/20 - (\text{TiO}_2 + \text{FeO} + \text{MgO})$ [Kroonenberg, 1994] (г) для терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива. 1 – алевролиты ильди́канской свиты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты газимурозаводской свиты. Поля, характеризующие терригенные отложения из тектонических обстановок (в): А – океанические островные дуги, В – континентальные островные дуги, С – активные континентальные окраины, D – пассивные континентальные окраины.

Fig. 12. Diagrams $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [Roser, Korsch, 1986] (а), F1 – F2 [Bhatia, 1983] (б), Sc – Th – Zr/10 [Bhatia, Crook, 1986] (в), $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{SiO}_2/20 - (\text{TiO}_2 + \text{FeO} + \text{MgO})$ [Kroonenberg, 1994] (г) for terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif. 1 – siltstones of the Ildikan formation, 2 – sandstones, 3 – siltstones of the Gazimursky Zavod formation. Fields characterizing terrigenous rocks from tectonic settings (в): А – oceanic island arcs, В – continental island arcs, С – active continental margins, D – passive continental margins.

Значительные вариации K_2O/Na_2O в осадочных породах газимурозаводской свиты, вероятно, связаны с наибольшим содержанием слюдистого материала и калиевых полевых шпатов среди обломочного материала в ряде песчаников (обр. Ю-183...Ю-183-4), что ранее было отмечено в Прил. 1, табл. 1.1 и в Разделе 4.

Такая же тенденция отмечается на факторной диаграмме F1 – F2 (рис. 12, б), где большинство точек состава терригенных отложений газимурозаводской свиты расположено в поле состава пород континентальной островной дуги. При этом часть образцов песчаников газимурозаводской свиты локализуются в поле песчаников пассивной континентальной окраины. В свою очередь, фигуративные точки состава алевролитов ильди́канской свиты на рассматриваемой диаграмме расположены вдоль линии, разделяющей породы, накопление которых происходило в обстановках пассивной и активной континентальных окраин (рис. 12, б).

На диаграмме Sc – Th – Zr/10 (рис. 12, в) фигуративные точки состава алевролитов ильди́канской свиты локализуются компактно в поле континентальной островной дуги, тогда как точки состава песчаников и алевролитов газимурозаводской свиты расположены на границе полей пород, накопление которых связано с обстановками, сопряженными с пассивной континентальной окраиной и континентальной островной дугой.

На диаграмме $(K_2O+Na_2O) - SiO_2/20 - (TiO_2+FeO+MgO)$ [Kroonenberg, 1994] составы терригенных пород газимурозаводской свиты из-за значительных вариаций величин (K_2O+Na_2O) и $(TiO_2+FeO+MgO)$ близки осадкам пассивной и активной континентальных окраин. В то же время образцы ильди́канской свиты по своему геохимическому составу отвечают отложениям пассивной континентальной окраины и островных дуг (рис. 12, г).

Приведенные выше данные, основанные на анализе геохимических особенностей пород ильди́канской свиты ямкунской серии, в совокупности с результатами U-Pb датирования зерен циркона из образца алевролита (неопубликованные данные авторов), согласно которым самая молодая группа циркона характеризуется раннеордовикским возрастом (473 ± 8 млн лет) и при этом отсутствуют девонские и силурийские зерна циркона, позволяют нам сделать предварительные выводы о том, что их накопление происходило в обстановке пассивной континентальной окраины.

Примерно на границу среднего и позднего девона приходится смена геодинамической обстановки накопления осадочных пород Аргунского массива, что отмечается формированием позднедевонских массивов гранитоидов в его структуре [Sorokin et al., 2004]. Эти данные, а также присутствие среди терригенных отложений газимурозаводской свиты горизонтов туффитов и положение большинства фигуративных точек состава песчаников и алевролитов рассматриваемой свиты в полях островных дуг и активной континен-

тальной окраины свидетельствуют о формировании их в обстановке, связанной с субдукционными процессами.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Терригенные отложения ямкунской серии по содержанию пороодообразующих компонентов соответствуют аркозам, литоидным аренитам и грауваккам. Присутствие среди отложений ильди́канской и газимурозаводской свит пород различных литотипов свидетельствует об участии в осадконакоплении образований, различных по кремнекислотности.

Изученные породы по геохимическому составу являются незрелыми, т.е. соответствуют отложениям первого цикла седиментации. Данный вывод согласуется с присутствием в составе образцов среди обломков плагиоклазов и фемических минералов.

Особенности распределения пороодообразующих оксидов и редких элементов в терригенных породах ильди́канской и газимурозаводской свит позволяют предполагать, что их накопление происходило в результате размыва магматических образований преимущественно кислого и среднего состава при возможном вкладе основного компонента. Основными поставщиками кластического материала, согласно накопленным геологическим, геохимическим и геохронологическим (U-Pb) данным, можно рассматривать палеозойские и неопротерозойские кислые и средние магматические породы, а также палеопротерозойские метаморфические образования Аргунского континентального массива.

Анализ геохимического состава терригенных пород ямкунской серии в совокупности с накопленными геологическими данными свидетельствует о том, что формирование осадочных пород Аргунского массива происходило в обстановке пассивной континентальной окраины до эйфельского века девонского периода. Смена геодинамической обстановки накопления отложений рассматриваемого массива приходится, вероятно, на живет-франские века, и накопление терригенных отложений газимурозаводской свиты происходило в обстановке активной континентальной окраины или островной дуги.

8. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят сотрудников ЦКП «Амурский центр минералого-геохимических исследований» Института геологии и природопользования ДВО РАН, (г. Благовещенск), А.С. Сегренёва, Е.В. Ушакову и лаборатории аналитической химии ЦКП Дальневосточного геологического института ДВО РАН (г. Владивосток), Н.В. Зарубину, Д.С. Остапенко.

9. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Both authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

10. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

11. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Bhatia M.R., 1983. Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones. *Journal of Geology* 91 (6), 611–627. <https://doi.org/10.1086/628815>.

Bhatia M.R., Crook K.A.W., 1986. Trace Element Characteristics of Greywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92, 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>.

Blatt H., Middleton G., Murray R., 1972. *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice Hall, New Jersey, 634 p.

Bracciali L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S., 2007. Geochemistry and Petrography of Western Tethys Cretaceous Sedimentary Covers (Corsica and Northern Apennines): From Source Areas to Configuration of Margins. In: J. Arribas, M.J. Johnsson, S. Critelli (Eds), *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*. Geological Society of America Special Paper 420, 73–93. [https://doi.org/10.1130/2006.2420\(06\)](https://doi.org/10.1130/2006.2420(06)).

Condie K.C., 1993. Chemical Composition and Evolution of the Upper Continental Crust: Contrasting Results from Surface Samples and Shales. *Chemical Geology* 104 (1–4), 1–37. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E).

Feng Z., Liu Y., Wu P., Jin W., Li W., Wen Q., Zhao Y., Zhou J., 2018. Silurian Magmatism on the Eastern Margin of the Erguna Block, NE China: Evolution of the Northern Great Xing'an Range. *Gondwana Research* 61, 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.04.011>.

Feng Z., Zhang Q., Liu Y., Li L., Jiang L., Zhou J., Li W., Ma Y., 2022. Reconstruction of Rodinia Supercontinent: Evidence from the Erguna Block (NE China) and Adjacent Units in the Eastern Central Asian Orogenic Belt. *Precambrian Research* 368, 106467. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106467>.

Floyd P.A., Leveridge B.E., 1987. Tectonic Environment of the Devonian Gramscatho Basin, South Cornwall: Framework Mode and Geochemical Evidence from Turbiditic Sandstones. *Journal of the Geological Society* 144 (4), 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>.

Ge W.-Ch., Chen J.-Sh., Yang H., Zhao G.-Ch., Zhang Y.-L., Tian D.-X., 2015. Tectonic Implications of New Zircon U-Pb Ages for the Xinghuadukou Complex, Erguna Massif, Northern Great Xing'an Range, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences* 106, 169–185. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.03.011>.

Golubev V.N., Chernyshev I.V., Kotov A.B., Sal'nikova E.B., Gol'tsman Yu.V., Bairova E.D., Yakovleva S.Z., 2010. The Strel'tsovka Uranium District: Isotopic Geochronological (U-Pb, Rb-Sr, Sm-Nd) Characterization of Granitoids and

Their Place in the Formation History of Uranium Deposits. *Geology of Ore Deposits* 52 (6), 496–513. <https://doi.org/10.1134/S107570151006005X>.

Gou J., Sun D., Deng Ch., Feng Zh., Tang Z., 2020. Petrogenesis of the Neoproterozoic Xinlin Ophiolite, Northern Great Xing'an Range, Northeastern China: Implications for the Evolution of the Northeastern Branch of the Paleo-Asian Ocean. *Precambrian Research* 350, 105925. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105925>.

Gou J., Sun D.-Y., Ren Y.-Sh., Liu Y.-J., Zhang Sh.-Y., Fu Ch.-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. *Journal of Asian Earth Sciences* 67–68, 114–137. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.02.016>.

Hou W., Zhao G., Han Y., Eizenhoefer P.R., Zhang X., Liu Q., 2019. A ~2.5 Ga Magmatic Arc in NE China: New Geochronological and Geochemical Evidence from the Xinghuadukou Complex. *Geological Journal* 55 (4), 2550–2571. <https://doi.org/10.1002/gj.3513>.

Jain J.C., Neal C.R., Hanchar J.M., 2001. Problems Associated with the Determination of Rare Earth Elements of a "Gem" Quality Zircon by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geoanalytical Research* 25 (2–3), 229–237. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2001.tb00598.x>.

Kossovskaya A.G., Tuchkova M.I., 1988. On the Problem of Mineralogical and Petrochemical Classification and Genesis of Sand Rocks. *Lithology and Mineral Resources* 2, 8–24 (in Russian) [Коссовская А.Г., Тучкова М.И. К проблеме минералогического-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 2. С. 8–24].

Kroonenberg S.B., 1994. Effect of Provenance, Sorting and Weathering on the Geochemistry of Fluvial Sands from Different Tectonic and Climatic Environments. In: *Proceedings of the 29th International Geological Congress (August 24 – September 3, 1992, Kyoto, Japan)*. Part A. VSP, Utrecht, Netherlands, p. 69–81.

Kurilenko A.V., 2000. On the Age of the Yakovlev Formation of Eastern Transbaikalia. In: *Geology and Mineral Resources of the Chita Region*. Chitageolsyomka, Chita, p. 112–125 (in Russian) [Куриленко А.В. О возрасте яковлевской свиты Восточного Забайкалья // Геология и полезные ископаемые Читинской области. Чита: Читагеолсъемка, 2000. С. 112–125].

Kurilenko A.V., 2001. Age and Crinoids of the Ildikan Formation (Lower – Middle Devonian) of Eastern Transbaikalia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Section* 76 (6), 43–47 (in Russian) [Куриленко А.В. Возраст и криноидеи ильдикинской свиты (нижний – средний девон) Восточного Забайкалья // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2001. Т. 76. Вып. 6. С. 43–47].

Kurilenko A.V., Bretshtein Yu.S., Butin K.S., 1999. New Biostratigraphic and Paleomagnetic Data on the Devonian in the Western Mongol-Okhotsk Fold Belt. *Russian Journal of Pacific Geology* 18 (6), 93–103 (in Russian) [Куриленко А.В.,

Бретштейн Ю.С., Бутин К.С. Новые биостратиграфические и палеомагнитные данные по девону западной части Монголо-Охотского складчатого пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 6. С. 93–103].

Kurilenko A.V., Kotlyar G.V., Kulkov N.P., Raitina N.I., Yadrishchenskaya N.G., Starukhina L.P., Markovich E.M., Okuneva T.M. et al., 2002. Atlas of Fauna and Flora of the Paleozoic – Mesozoic of Transbaikalia. Nauka, Novosibirsk, 714 p. (in Russian) [Куриленко А.В., Котляр Г.В., Кульков Н.П., Раитина Н.И., Ядрищенская Н.Г., Старухина Л.П., Маркович Е.М., Окунева Т.М. и др. Атлас фауны и флоры палеозоя – мезозоя Забайкалья. Новосибирск: Наука, 2002. 714 с.].

Li Zh.-Zh., Qin K.-Zh., Li G.-M., Jin L.-Y., Song G.-X., 2018. Neoproterozoic and Early Paleozoic Magmatic Records from the Chalukou Ore District, Northern Great Xing'an Range, NE China: Implications for Tectonic Evolution and Mesozoic Mo Mineralization. *Journal of Asian Earth Sciences* 165, 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2018.06.020>.

Liu H., Li Y., Wan Zh., 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 Research* 88, 185–200. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.07.005>.

Liu Y., Li W., Feng Z., Wen Q., Neubauer F., Liang C., 2017. A Review of the Paleozoic Tectonics in the Eastern Part of Central Asian Orogenic Belt. *Gondwana Research* 43, 123–148. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.03.013>.

McDonough W.F., Sun S.-S., 1995. The Composition of the Earth. *Chemical Geology* 120 (3–4), 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4).

McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N., 1993. Geochemical Approaches to Sedimentation, Provenance, and Tectonics. In: M.J. Johnsson, A. Basu (Eds), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*. Geological Society of America Special Paper 248, 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>.

Nikolaeva I.V., Palesskii S.V., Koz'menko O.A., Anoshin G.N., 2008. Analysis of Geologic Reference Materials for REE and HFSE by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). *Geochemistry International* 46 (10), 1016–1022. <https://doi.org/10.1134/S0016702908100066>.

Nikolaeva I.V., Palessky S.V., Chirko O.S., Chernonozhkin S.M., 2012. Determination of Major and Trace Elements by Inductively Coupled Mass-Spectrometry in Silicate Rocks After Fusion with LiBO₂. *Analytics and Control* 16 (2), 134–142 (in Russian) [Николаева И.В., Палесский С.В., Чирко О.С., Черноножкин С.М. Определение основных и примесных элементов в силикатных породах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой после сплавления с LiBO₂ // Аналитика и контроль. 2012. Т. 16. № 2. С. 134–142].

Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L. et al., 2003. A Model for the Formation of Orogenic Belts in Central and Northeast Asia. *Russian Journal of Pacific Geology* 22 (6), 7–41 (in Russian) [Парфенов Л.М., Берзин Н.А.,

Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41].

Roser B.P., Korsch R.J., 1986. Determination of Tectonic Setting of Sandstone-Mudstone Suites Using SiO₂ Content and K₂O/Na₂O Ratio. *The Journal of Geology* 94 (5), 635–650. <https://doi.org/10.1086/629071>.

Roser B.P., Korsch R.J., 1988. Provenance Signatures of Sandstone – Mudstone Suites Determined Using Discriminant Function Analysis of Major-Element Data. *Chemical Geology* 67 (1–2), 119–139. [https://doi.org/10.1016/009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/009-2541(88)90010-1).

Segrenev A.S., Prots M.E., 2024. Evaluation of the Use of Polyvinyl Alcohol in Preparation of Pressed Samples for X-Ray Fluorescence Analysis. *Inorganic Materials* 60 (4), 405–412. <https://doi.org/10.1134/S0020168524700638>.

Shao J., Li Y.F., Zhou Y.H., Wang H.B., Zhang J., 2015. Neo-Archaeon Magmatic Event in Erguna Massif of Northeast China: Evidence from the Zircon LA-ICP-MS Dating of the Gneissic Monzogranite from the Drill. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition* 45 (2), 364–373. <https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.201502103>.

Smirnova Yu.N., Dril S.I., 2022. Geochemistry of Vendian (?) Metasedimentary Rocks of the Byrka Series of the Argun Superterrane. *Geochemistry International* 60 (7), 450–467. <https://doi.org/10.1134/S0016702922030089>.

Smirnova Yu.N., Kurilenko A.V., Dril S.I., Khubanov V.B., 2024a. Sources of the Upper Proterozoic Terrigenous Deposits in the Northwestern Part of the Argun Massif, Central Asian Fold Belt: Results of U-Th-Pb Geochronological and Sm-Nd Isotopic-Geochemical Studies. *Stratigraphy and Geological Correlation* 32 (3), 175–200. <https://doi.org/10.1134/S0869593824030079>.

Smirnova Yu.N., Kurilenko A.V., Khubanov V.B., 2023. Composition and Age of Rocks of the Provenance Areas for the Lower – Middle Cambrian (?) Terrigenous Sediments of the Ernichnaya Formation of the Argun Massif, Eastern Part of the Central Asian Fold Belt. *Stratigraphy and Geological Correlation* 31 (5), 443–458. <https://doi.org/10.1134/S0869593823050076>.

Smirnova Yu.N., Kurilenko A.V., Khubanov V.B., Dril S.I., 2024b. Sources of Terrigenous Sediments of the Lower Cambrian Bystraya Formation of the Argun Massif and Paleogeodynamic Settings of Their Accumulation. *Russian Journal of Pacific Geology* 18 (2), 150–168. <https://doi.org/10.1134/S1819714024020076>.

Sorokin A.A., Kotov A.B., Sal'nikova Y.B., Kudryashov N.M., 2009. Early Paleozoic Granitoids of the Argun, Mamyn, Bureya Terranes of the Central Asian Fold Belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73 (13), A1254.

Sorokin A.A., Kudryashov N.M., Jinyi L., Zhuravlev D.Z., Pin Y., Guihua S., Liming G., 2004. Early Paleozoic Granitoids in the Eastern Margin of the Argun' Terrane, Amur Area: First Geochemical and Geochronologic Data. *Petrology* 12 (4), 367–376.

Sorokin A.A., Sorokin A.P., Kudryashov N.M., 2002. Fragments of Paleozoic Active Margins at the Southern Periphery of the Mongolia, Okhotsk Fold Belt: Evidence from the Northeastern Argun Terrane, Amur River Region. *Doklady Earth Sciences* 387 (9), 1038–1042.

State Geological Map of the Russian Federation, 1998. Argun Series. Scale of 1:200000. Sheet M-50-XI (Kalga). VSEGEI, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Приаргунская. Масштаб 1:200000. Лист М-50-XI (Калга). СПб.: ВСЕГЕИ, 1998].

State Geological Map of the Russian Federation, 2001. Argun Series. Scale of 1:200000. Sheet M-50-V (Gazimurskiy Zavod). VSEGEI, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Аргунская. Масштаб 1:200000. Лист М-50-V (Газимуровский Завод). СПб.: ВСЕГЕИ, 2001].

State Geological Map of the Russian Federation, 2010. Aldan-Transbaikalian Series. Scale of 1:1000000. Sheet M-50 (Borzya). VSEGEI, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Алдано-Забайкальская. Масштаб 1:1000000. Лист М-50 (Борзя). СПб.: ВСЕГЕИ, 2010].

State Geological Map of the Russian Federation, 2015. Argun Series. Scale of 1:200000. Sheet M-50-III (Baley). VSEGEI, Saint Petersburg (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Приаргунская. Масштаб 1:200000. Лист М-50-III (Балей). СПб.: ВСЕГЕИ, 2015].

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. *Precambrian Research* 224, 597–611. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.10.019>.

Taylor S.R., McLennan S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.

Thompson M., Walsh J.N., 1988. *A Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry*. Nedra, Moscow, 288 p. (in Russian) [Томпсон М., Уолш Д.Н. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно-связанной плазмой. М.: Недра, 1988. 288 с.].

Totten M.W., Hanan M.A., Weaver B.L., 2000. Beyond Whole-Rock Geochemistry of Shales: The Importance of Assessing Mineralogic Controls for Revealing Tectonic Discriminants of Multiple Sediment Sources for the Ouachita Mountain Flysch Deposits. *GSA Bulletin* 112 (7), 1012–1022. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112%3C1012:BWGOST%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112%3C1012:BWGOST%3E2.0.CO;2).

Wronkiewicz D.J., Condie K.C., 1987. Geochemistry of Archean Shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: Source-Area Weathering and Provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51 (9), 2401–2416. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90293-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90293-6).

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. *Journal of Asian Earth Sciences* 41 (1), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.11.014>.

Wu G., Chen Y., Chen Y., Zeng Q., 2012. Zircon U-Pb Ages of the Metamorphic Supracrustal Rocks of the Xinghuadukou Group and Granitic Complexes in the Argun Massif of the Northern Great Hinggan Range, NE China, and Their Tectonic Implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 49, 214–233. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.11.023>.

Yang H., Liu Y., Zheng J., Liang Z., Wang X., Tang X., Su Y., 2017. Petrogenesis and Geological Significance of Neoproterozoic Amphibolite and Granite in Bowuleshan Area, Erguna Massif, Northeast China. *Geological Bulletin of China* 36 (2–3), 342–356.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 / APPENDIX 1

Таблица 1.1. Координаты мест отбора образцов терригенных пород ямкунской серии Аргунского континентального массива для геохимических исследований и их петрографическое описание**Table 1.1.** Coordinates of localities of terrigenous rocks, sampled from the Yamkun series of the Argun continental massif for geochemical studies, and their petrographic description

№ обр.	Координаты (в.д., с.ш.)	Географическая привязка	Свита	Петрографическое описание
Ю-189... Ю-189-4	50°57'40.5" 118°41'57.3"	Бассейн р. Донинская Борзя	Ильди́канская свита	Буровато-серые и серые алевролиты. Структура грубая алевроитовая. Текстура массивная. Обломочный материал различной степени окатанности. Размер обломков изменяется в пределах 0.05–0.10 мм, реже достигает 0.30 мм (см. рис. 4, а–в): кварц (50–69 %), полевые шпаты (до 20 %), единичны вулканыты кислого состава, биотит и мусковит (11–30 %). Цемент кремнисто-глинистый базального типа. Акцессории: гётит, циркон, гранат, рудные минералы.
Ю-182... Ю-182-4	51°30'54.9" 118°20'27.7"			Серые песчаники. Структура псаммитовая мелко- и среднезернистая. Текстура массивная. Обломки слабоокатанной формы размером от 0.10 до 0.40 мм (см. рис. 4, г, д): кварц (24–38 %), полевые шпаты (8–26 %), слюдистые, слюдисто-кварцевые, углеродистые сланцы, микрокварциты и вулканыты кислого состава (37–62 %); единичные чешуйки мусковита. Цемент кремнисто-глинистый контактово-поровый. Акцессории: циркон, гётит, гранат, рудные минералы.
Ю-183... Ю-183-4	51°30'56.1" 118°21'42.0"	Междуречье Ильдикан – Кулинда	Гази́мурзаводская свита	Серые и буровато-серые песчаники. Структура псаммитовая мелко- и среднезернистая. Текстура массивная. Обломки слабоокатанной формы. Размер обломков изменяется в пределах от 0.10 до 0.38 мм, реже – 0.05 мм (см. рис. 4, е, ж): кварц (43–68 %), полевые шпаты (4–14 %), слюдистые, слюдисто-кварцевые, углеродистые сланцы, микрокварциты и вулканыты кислого состава (11–28 %). Слюдистый материал представлен мусковитом и хлоритизированным биотитом (до 6 %). Цемент контактово-поровый кремнисто-глинистого состава. Акцессорные минералы: циркон, гётит, гранат, рудные минералы.
Ю-184... Ю-184-3	51°30'27.4" 118°20'11.5"			Темно-серые песчаные алевролиты. Структура алевропсаммитовая. Текстура взмучивания. Обломки слабоокатанной формы размером от 0.05 до 0.20 мм (см. рис. 4, з–к): вулканыты кислого состава, карбонаты и микрокварциты (42–60 %), кварц (28–41 %), полевые шпаты (5–17 %). Цемент кремнисто-глинистый контактово-порового типа и карбонатный порового типа. Акцессории: циркон, гётит, рудные минералы.

Таблица 1.2. Содержание породообразующих компонентов (мас. %) в терригенных породах ямкунской серии Аргунского континентального массива

Table 1.2. Concentration of major oxides (wt. %) in terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif

Компо- ненты	Ильдиканская свита					Газимурозаводская свита													
	Алевролиты					Песчаники										Алевролиты			
	Ю-189	Ю-189-1	Ю-189-2	Ю-189-3	Ю-189-4	Ю-182	Ю-182-1	Ю-182-2	Ю-182-3	Ю-182-4	Ю-183	Ю-183-1	Ю-183-2	Ю-183-3	Ю-183-4	Ю-184	Ю-184-1	Ю-184-2	Ю-184-3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	63.00	69.00	70.29	59.59	68.84	72.67	74.58	71.39	68.50	76.95	74.47	64.99	76.15	76.27	79.71	72.22	74.06	72.01	74.27
TiO ₂	1.01	1.01	0.82	0.99	1.06	0.41	0.45	0.42	0.41	0.75	0.77	0.98	0.65	0.74	0.45	0.36	0.33	0.35	0.32
Al ₂ O ₃	18.25	15.20	16.73	19.49	16.28	12.98	13.48	14.93	16.16	11.90	11.21	17.37	11.31	10.72	10.16	12.13	11.98	14.68	11.34
Fe ₂ O ₃ *	8.33	6.53	4.15	8.63	3.92	2.58	2.49	2.49	3.42	1.83	6.38	6.65	5.39	6.30	4.50	2.21	2.20	3.35	2.37
MnO	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.02	0.07	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.07	0.04	0.01	0.04
CaO	0.22	0.25	0.11	0.19	0.21	0.66	0.20	1.10	0.30	0.36	0.38	0.42	0.37	0.35	0.21	2.48	1.88	0.37	2.01
Na ₂ O	0.24	0.19	0.34	0.26	0.24	3.64	3.30	4.81	4.89	3.40	0.14	0.27	0.17	0.16	0.16	4.20	4.23	4.30	3.66
MgO	0.84	0.97	1.23	0.89	1.02	0.42	0.40	0.49	0.70	0.26	1.46	1.81	1.38	1.14	1.02	0.38	0.38	0.69	0.50
K ₂ O	4.31	3.50	3.67	5.03	3.83	3.39	3.83	3.05	3.11	3.21	2.10	3.45	2.00	2.11	1.75	2.36	2.34	2.93	2.26
P ₂ O ₅	0.16	0.13	0.05	0.13	0.09	0.09	0.10	0.09	0.07	0.12	0.21	0.18	0.23	0.22	0.16	0.08	0.07	0.08	0.07
ППП	3.94	3.85	3.00	3.80	3.27	1.42	1.19	1.89	1.45	0.97	3.00	4.35	3.09	2.80	2.80	2.58	1.91	1.56	2.07
Сумма	100.33	100.66	100.44	99.02	98.79	98.32	100.04	100.74	99.04	99.79	100.15	100.49	100.75	100.82	100.93	99.07	99.42	100.35	98.90
K ₂ O/Na ₂ O	17.96	18.42	10.79	19.35	15.96	0.93	1.16	0.63	0.64	0.94	15.00	12.78	11.76	13.19	10.94	0.56	0.55	0.68	0.62
Fe ₂ O ₃ *+MgO	9.17	7.50	5.38	9.52	4.94	3.00	2.89	2.98	4.12	2.09	7.84	8.46	6.77	7.44	5.52	2.59	2.58	4.04	2.87
L	10.18	8.51	6.20	10.51	6.00	3.41	3.34	3.41	4.53	2.84	8.61	9.44	7.42	8.18	5.97	2.95	2.91	4.39	3.20
Q	63.00	69.00	70.29	59.59	68.84	72.67	74.58	71.39	68.50	76.95	74.47	64.99	76.15	76.27	79.71	72.22	74.06	72.01	74.27
F	23.02	19.14	20.85	24.97	20.56	20.67	20.81	23.89	24.46	18.87	13.83	21.51	13.85	13.34	12.28	21.17	20.43	22.28	19.27
F1	-3.35	-3.56	-3.52	-3.40	-3.46	-0.38	-0.69	0.52	0.50	-0.79	-2.77	-2.67	-2.43	-2.79	-2.92	0.39	0.25	0.10	-0.19
F2	-3.30	-1.43	-1.82	-4.28	-0.64	-1.44	-2.67	-1.78	-1.29	-0.70	1.50	0.01	1.50	0.75	0.66	-0.56	-0.84	-1.64	-0.55
F3	-1.55	-0.97	0.57	-0.75	1.55	4.95	5.54	3.75	2.52	6.76	-3.67	-1.47	-3.27	-3.71	-3.55	3.53	3.56	2.43	3.14
F4	-1.75	-0.36	0.79	-1.64	1.62	-1.88	-1.28	-2.55	-2.91	0.11	-0.15	0.48	-0.19	-0.99	-1.26	-2.93	-3.08	-2.92	-2.71

Примечание. Оксиды приведены в мас. %. Fe₂O₃* – общее железо в форме Fe₂O₃. Q=SiO₂; F=Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O; L=Fe₂O₃+FeO+MgO+TiO₂; F1=0.303–0.0447SiO₂–0.972TiO₂+0.008Al₂O₃–0.267·0.74Fe₂O₃*+0.208·0.23Fe₂O₃*–3.082MnO+0.14MgO+0.195CaO+0.719Na₂O–0.032K₂O+7.51P₂O₅; F2=43.57–0.421SiO₂+1.988TiO₂–0.526Al₂O₃–0.551·0.74Fe₂O₃*–1.61·0.23Fe₂O₃*+0.72MnO+0.881MgO–0.907CaO–0.177Na₂O–1.84K₂O+7.244P₂O₅; F3=30.638(TiO₂/Al₂O₃)–12.541(Fe₂O₃*/Al₂O₃)+7.329(MgO/Al₂O₃)+12.031(Na₂O/Al₂O₃)+35.402(K₂O/Al₂O₃)–6.382; F4=56.5(TiO₂/Al₂O₃)–10.879(Fe₂O₃*/Al₂O₃)+30.875(MgO/Al₂O₃)–5.404(Na₂O/Al₂O₃)+11.112(K₂O/Al₂O₃)–3.89.

Note. Oxides are in wt. %. Fe₂O₃* – total iron in the form of Fe₂O₃. Q=SiO₂; F=Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O; L=Fe₂O₃+FeO+MgO+TiO₂; F1=0.303–0.0447SiO₂–0.972TiO₂+0.008Al₂O₃–0.267·0.74Fe₂O₃*+0.208·0.23Fe₂O₃*–3.082MnO+0.14MgO+0.195CaO+0.719Na₂O–0.032K₂O+7.51P₂O₅; F2=43.57–0.421SiO₂+1.988TiO₂–0.526Al₂O₃–0.551·0.74Fe₂O₃*–1.61·0.23Fe₂O₃*+0.72MnO+0.881MgO–0.907CaO–0.177Na₂O–1.84K₂O+7.244P₂O₅; F3=30.638(TiO₂/Al₂O₃)–12.541(Fe₂O₃*/Al₂O₃)+7.329(MgO/Al₂O₃)+12.031(Na₂O/Al₂O₃)+35.402(K₂O/Al₂O₃)–6.382; F4=56.5(TiO₂/Al₂O₃)–10.879(Fe₂O₃*/Al₂O₃)+30.875(MgO/Al₂O₃)–5.404(Na₂O/Al₂O₃)+11.112(K₂O/Al₂O₃)–3.89.

Таблица 1.3. Содержание редкоземельных, редких и рассеянных элементов (г/т) в терригенных породах ямкунской серии Аргунского континентального массива

Table 1.3. Content of less-common, rare-earth and trace elements (ppm) in terrigenous rocks of the Yamkun series of the Argun continental massif

Элементы	Ильдиканская свита					Газимурозаводская свита								
	Алевролиты					Песчаники					Алевролиты			
	Ю-189	Ю-189-1	Ю-189-2	Ю-189-3	Ю-189-4	Ю-182	Ю-182-1	Ю-182-2	Ю-182-3	Ю-182-4	Ю-184	Ю-184-1	Ю-184-2	Ю-184-3
Rb	159	158	148	209	161	90	91	79	64	89	55	50	83	61
Sr	103	84	96	117	107	188	165	240	326	219	264	252	235	236
Ba	850	666	482	778	870	865	892	907	754	892	493	460	649	390
La	71.18	32.20	46.19	42.47	22.47	47.66	51.67	47.20	47.28	36.01	36.65	33.46	36.20	34.21
Ce	128.50	61.45	99.95	78.95	50.15	103.20	102.51	95.01	99.01	80.26	78.81	74.76	83.21	71.90
Pr	16.78	8.20	11.91	10.84	6.20	10.08	10.70	9.69	9.61	8.02	7.66	6.97	8.12	8.16
Nd	66.85	31.26	42.62	41.96	22.36	42.97	44.57	41.29	41.55	34.49	36.50	31.22	35.62	28.58
Sm	12.38	6.36	8.12	8.83	4.06	6.85	6.54	6.75	6.13	5.53	5.68	5.11	5.90	5.36
Eu	2.29	1.22	1.26	1.48	0.92	1.54	1.40	1.66	1.51	1.46	1.31	1.16	1.11	0.84
Gd	11.19	5.96	7.56	7.25	3.99	8.58	7.70	7.14	8.31	5.97	6.34	6.14	5.93	5.00
Tb	1.54	0.83	1.09	1.03	0.59	0.85	0.60	0.73	0.69	0.61	0.63	0.49	0.58	0.73
Dy	8.92	5.39	6.20	6.94	4.37	6.86	5.36	5.51	5.20	4.43	4.87	4.46	4.50	4.07
Ho	1.57	1.16	1.34	1.50	0.92	1.17	0.96	1.03	0.85	0.73	0.86	0.68	0.74	0.96
Er	4.53	3.38	4.87	5.23	3.12	3.54	3.24	3.11	2.78	2.64	2.79	2.57	2.54	2.92
Tm	0.61	0.62	0.58	0.59	0.32	0.37	0.39	0.37	0.36	0.33	0.32	0.29	0.27	0.34
Yb	3.88	3.41	3.87	4.01	3.12	3.28	3.24	2.86	2.44	2.72	2.12	2.53	2.19	2.89
Lu	0.56	0.63	0.52	0.55	0.59	0.58	0.56	0.63	0.46	0.54	0.53	0.46	0.46	0.30
Y	43	29	41	46	23	37	31	31	29	27	30	26	27	26
Th	15.20	16.32	15.91	16.52	17.86	14.38	13.83	13.70	15.94	13.72	11.94	9.91	12.03	8.46
U	3.69	3.85	3.19	3.71	6.04	4.26	3.89	3.49	4.28	3.59	2.68	2.46	2.68	2.15
Zr	268	347	276	237	346	261	253	275	256	340	267	242	278	243
Hf	7.38	8.47	7.24	5.32	8.45	7.80	7.50	7.80	7.30	8.48	7.11	6.16	7.21	5.42
Nb	18	20	16	20	19	12	12	12	13	13	12	11	13	11
Ta	1.52	1.39	1.18	1.43	1.64	1.06	1.09	1.06	1.04	1.05	0.96	0.79	0.95	0.64
Zn	84	76	54	73	86	44	28	48	55	43	38	27	36	52
Co	22	19	7	21	9	6	5	5	7	4	4	4	6	5

Таблица 1.3 (продолжение)

Table 1.3 (continued)

Элементы	Ильдиканская свита					Газимурозаводская свита								
	Алевриты					Песчаники					Алевриты			
	Ю-189	Ю-189-1	Ю-189-2	Ю-189-3	Ю-189-4	Ю-182	Ю-182-1	Ю-182-2	Ю-182-3	Ю-182-4	Ю-184	Ю-184-1	Ю-184-2	Ю-184-3
Ni	33	32	15	34	32	8	10	8	39	11	11	9	6	14
Sc	22	18	17	18	18	6	6	7	8	10	10	8	9	8
V	132	113	112	130	116	22	20	22	19	30	19	15	18	20
Cr	132	124	109	112	154	200	267	137	149	260	228	250	124	432
Pb	15	10	14	22	20	27	16	31	38	20	26	24	26	11
ΣREE	331	162	236	212	123	238	239	223	226	184	185	170	187	166
[La/Yb] _n	12.47	6.42	8.10	7.20	4.90	9.87	10.82	11.21	13.15	9.01	11.74	8.99	11.22	8.03
Gd _n /Yb _n	2.33	1.41	1.58	1.46	1.04	2.11	1.92	2.02	2.75	1.78	2.42	1.96	2.19	1.40
Eu/Eu*	0.58	0.60	0.48	0.55	0.69	0.61	0.60	0.73	0.64	0.77	0.66	0.63	0.57	0.49
Zr/Sc	12.10	19.05	16.53	13.13	18.99	45.04	44.32	37.77	33.06	35.39	25.86	31.48	30.42	31.84
Th/Sc	0.69	0.89	0.95	0.91	0.98	2.48	2.42	1.88	2.06	1.43	1.15	1.29	1.32	1.11
La/Th	4.68	1.97	2.90	2.57	1.26	3.31	3.74	3.44	2.97	2.62	3.07	3.38	3.01	4.04
Nb/Y	0.43	0.67	0.38	0.44	0.84	0.32	0.40	0.38	0.44	0.48	0.39	0.42	0.47	0.41
Zr/TiO ₂	0.04	0.06	0.06	0.04	0.05	0.11	0.09	0.11	0.10	0.08	0.12	0.12	0.13	0.12
Cr/Th	8.66	7.58	6.87	6.77	8.62	13.90	19.32	10.01	9.36	18.92	19.08	25.19	10.29	51.11
V/Ni	4.04	3.48	7.24	3.78	3.57	2.74	1.97	2.72	0.49	2.62	1.64	1.58	2.96	1.48
Cr/Zr	0.49	0.36	0.40	0.47	0.44	0.77	1.06	0.50	0.58	0.76	0.85	1.03	0.45	1.78
Th/Cr	0.12	0.13	0.15	0.15	0.12	0.07	0.05	0.10	0.11	0.05	0.05	0.04	0.10	0.02
La/Sm	5.75	5.07	5.69	4.81	5.54	6.96	7.90	6.99	7.72	6.51	6.46	6.55	6.13	6.38

Примечание. Eu/Eu*=Eu_n/((Sm_n+Gd_n)/2).Note. Eu/Eu*=Eu_n/((Sm_n+Gd_n)/2).