

СРЕДНЕПЕРМСКИЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ЮГО-ЗАПАДНОЕ ПРИМОРЬЕ): ЛИТОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

© 2026 А.И. Малиновский

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690022;
e-mail: malinovskiy@fegi.ru*

Поступила в редакцию 17.02.2026; после доработки 19.03.2026; принята в печать 27.03.2026

Приведены результаты изучения и палеогеодинамической интерпретации вещественного состава песчаных пород из среднепермской барабашской свиты Лаоелин-Гродековского террейна, расположенного в юго-западной части Приморья. Изученные песчаники относятся к грауваккам и, частично, лититовым ареникам. Песчаники являются петрогенными («first cycle») породами, прошедшими один цикл переотложения. Формирование отложений происходило в результате разрушения умеренно выветрелых пород областей денудации. Анализ и палеогеодинамическая интерпретация полученных минералого-геохимических данных свидетельствуют, что отложения накапливались в бассейне на активной континентальной окраине, вероятнее всего, осложненной сдвиговыми перемещениями по трансформным разломам. Главным поставщиком обломочного вещества была континентальная суша — кратоны и поднятые на поверхность блоки основания, сложенные гранитно-метаморфическими и, частично, осадочными породами, содержащими древние обломочные компоненты. Второстепенным источником были фрагменты древней, глубоко расчлененной окраинно-континентальной магматической дуги, сложенной основными и ультраосновными породами.

Ключевые слова: пермь, барабашская свита, вещественный состав, палеогеодинамические обстановки, Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая статья завершает серию публикаций автора, посвященных изучению особенностей вещественного состава, определению источников питания и выяснению обстановок формирования пермских отложений Лаоелин-Гродековского террейна, расположенного в юго-западной части Приморского края: прежде был детально изучен, описан и палеогеодинамически интерпретирован минералого-геохимический состав терригенных отложений раннепермской казачкинской (Малиновский, 2025) и ранне-среднепермской решетниковской (Малиновский, 2024) свит террейна. В данной работе рассмотрен состав и обстановки формирования терригенных пород среднепермской барабашской свиты.

Пермские вулканогенные и осадочные образования довольно широко развиты в юго-западной части Приморского края где они в структур-

ном отношении входят в состав палеозойско-раннемезозойского Лаоелин-Гродековского террейна, являющегося фрагментом восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса (Геодинамика..., 2006; Парфенов и др., 2003; The Central..., 2015) (рис. 1а). Детально тектоническая позиция террейна описана в наших публикациях (Малиновский, Голозубов, 2021; Малиновский, 2024; Малиновский, 2025). Участвующие в строении террейна пермские образования расчленены на казачкинскую (P_1), решетниковскую ($P_{1,2}$) и барабашскую (P_2) свиты общей мощностью до 4500 м. Свиты существенно различаются по строению и вещественному составу что, соответственно, свидетельствует об их формировании в различных палеогеодинамических обстановках.

Среднепермские вулканогенно-осадочные образования наиболее полно обнажены и изучены геолого-съёмочными и тематическими работами на юге террейна, в бассейне реки

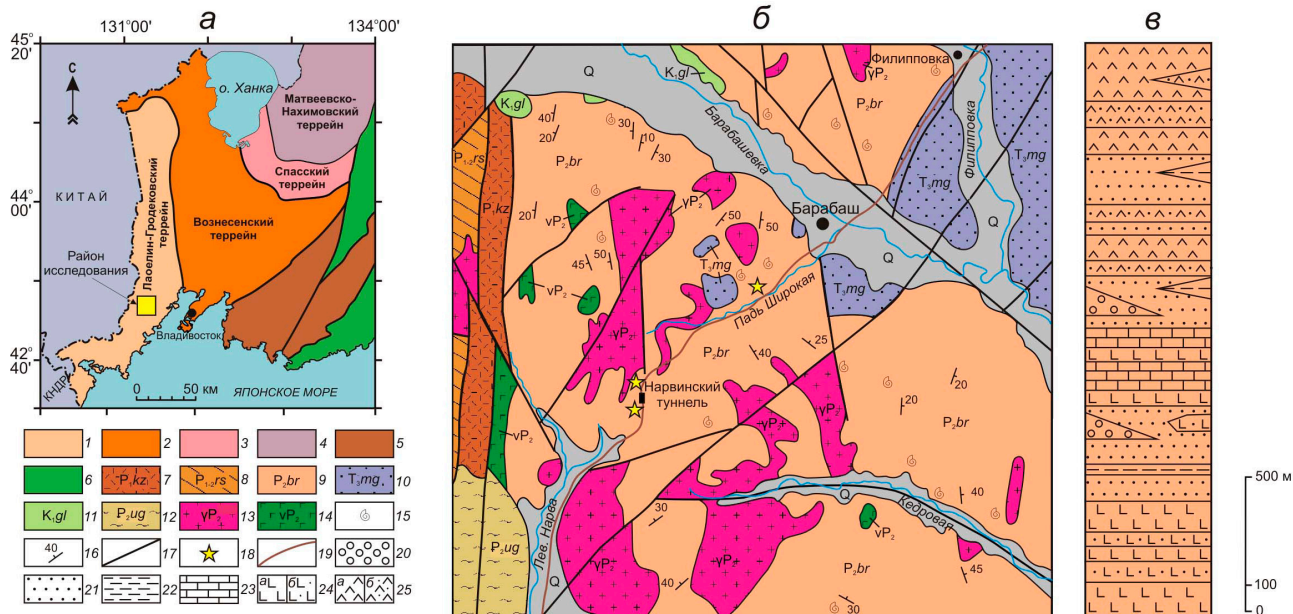


Рис. 1. Схема расположения Лаоелин-Гродековского террейна в геологической структуре Юго-Западного Приморья (а), геологическая карта района исследований (б) и стратиграфическая колонка среднепермских отложений барабашской свиты (в) (Государственная..., 2004). 1–6 – террейны: 1 – Лаоелин-Гродековский; 2–4 – раннепалеозойского Бурей-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна): 2 – Вознесенский, 3 – Спасский, 4 – Матвеевско-Нахимовский; 5 – раннепалеозойской активной окраины; 6 – мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса; 7–12 – свиты: 7 – казачкинская (P_{1kz}), 8 – решетниковская (P_{1-2rs}), 9 – барабашская (P_{2br}), 10 – монгугайская (T_{3mg}), 11 – галенковская (K_{1gl}), 12 – угловская (P_{2ug}); 13 – граниты и гранодиориты (γP₂); 14 – габбро-долериты (vP₂); 15 – места находок ископаемой фауны; 16 – элементы залегания; 17 – разломы; 18 – расположение изученных разрезов; 19 – автомобильная дорога; 20 – конгломераты и гравелиты; 21 – песчаники; 22 – алевролиты и аргиллиты; 23 – известняки; 24 – базальты (а), их туфы и туффиты (б); 25 – дациты и риолиты (а), их туфы и туффиты (б).

Fig. 1. A map showing the location of the Laoling-Grodekovo terrane in the geological structure of southwestern Primorye (a), a geological map of the studied area (b), and a stratigraphic column of the Middle Permian deposits of the Barabash Formation (c) (Gosudarstvennaya..., 2004). 1–6 – terranes: 1 – Laoling-Grodekovo; 2–4 – of the Early Paleozoic Bureya-Jiamusi-Khanka orogenic belt (superterrane): 2 – Voznesenka, 3 – Spassk, 4 – Matveevka-Nahimovka; 5 – of the Early Paleozoic active margin, 6 – of the Mesozoic Sikhote-Alin orogenic belt; 7–12 – formations: 7 – Kazachka (P_{1kz}), 8 – Reshetnikovka (P_{1-2rs}), 9 – Barabash (P_{2br}), 10 – Mongugai (T_{3mg}), 11 – Galenki (K_{1gl}), 12 – Uglovka (P_{2ug}); 13 – granites and granodiorites (γP₂); 14 – gabbro-dolerites (vP₂); 15 – locations of fossil fauna; 16 – bedding elements; 17 – faults; 18 – location of the studied sections; 19 – road; 20 – conglomerates and gravelstones; 21 – sandstones; 22 – siltstones and mudstones; 23 – limestone; 24 – basalts (a) and their tuffs (b); 25 – dacites and riolites (a) and their tuffs (b).

Барабашевки и ее правых притоков (рис. 1б) (Анохин и др., 2011; Бураго. 1990; Геология..., 1995; Котляр и др., 1989, 2003). В 1960 г. они здесь были выделены Б.И. Васильевым в качестве самостоятельной барабашской свиты (Геология..., 1969). В настоящее время, несмотря на все проведенные исследования, изученность свиты, из-за плохой обнаженности и сложного строения, остается низкой. Проведенное в последние годы петрохимическое изучение вулканитов свиты не позволило авторам сделать однозначных выводов о тектонической природе ее образований (Голозубов и др., 2017). Систематических литологических исследований строения и вещественного состава терригенных пород свиты, которые позволили бы выяснить геодинамические обстановки формирования отложений и источники питания, до настоящего момента практически не проводилось.

Барабашская свита с несогласием и размытием залегает на терригенных породах нижне-среднепермской решетниковской свиты, а сверху, также резко несогласно, перекрывается верхнетриасовыми осадочными, часто угленосными, отложениями монгугайской свиты. Характерной особенностью изученных отложений является пестрота литологического состава, а также частая смена вулканогенных образований терригенными и наоборот, что обуславливает значительное колебание ее суммарной мощности — от 920 до 2100 м. Нижняя часть свиты (рис. 1в) сложена базальтами, андезитами, их туфами и туффитами. Средняя часть образована чередованием осадочных и вулканогенно-осадочных пород: песчаников, алевролитов, гравелитов, плитчатых известняков, туфов и туффитов. Верхняя часть разреза характеризуется преобладанием

лав и пирокластических пород средне-кислого состава, наряду с которыми также встречаются пачки разнотермических песчаников, горизонты и линзы алевролитов, гравелитов и конгломератов. Среднепермский возраст свиты устанавливается, главным образом, на основании находок в известняках остатков фораминифер, мшанок, брахиопод, кораллов, двустворок, конодонтов, а также ископаемой флоры (Анохин и др., 2011; Бурого. 1990; Котляр и др., 1989, 2003).

Таким образом, настоящая работа направлена на комплексное, с использованием широкого спектра современных высокоточных аналитических методов, изучение вещественного состава терригенных пород свиты, целью которого было восстановление палеогеодинамических обстановок их формирования, а также идентификации тектонических типов и состава основных источников питания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование основано на оригинальной коллекции образцов и проб, отобранных в 2020–2021 гг. из песчаных пород среднепермской барабашской свиты южной части Лаоелин-Гродековского террейна Приморья. Песчаники были выбраны в качестве объекта исследования, поскольку их вещественный состав позволяет получить наиболее полную и объективную информацию о геодинамических обстановках формирования бассейнов седиментации и источниках поступления обломочного материала.

Были изучены разрезы, расположенные в береговых обнажениях реки Падь Широкая, а также в искусственных выемках у южного и северного порталов Нарвинского автодорожного туннеля. Изучение петрографического состава пород, определение и подсчет количественного соотношения породообразующих компонентов песчаников, а затем и минералов их тяжелой фракции, производилось с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 и AxioPlan 2 imaging. Используемая методика минералого-петрографических исследований хорошо известна и неоднократно применялась в научных исследованиях (Малиновский, 2010; 2018; Малиновский и др., 2006 и др.). Химический состав тяжелых минералов определялся на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-8100. Для геохимических исследований были выбраны 18 образцов песчаных пород. Содержания петрогенных элементов определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) устанавливались на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно

связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500с. Детальнее методики исследований описаны в работе (Блохин и др., 2022). Все аналитические исследования выполнены в ЦКП Дальневосточного геологического института ДВО РАН г. Владивостока (аналитики М.Г. Блохин, П.Д. Гасанова, Г.А. Горбач, Н.И. Екимова, Е.В. Еловский, Н.В. Зарубина, Д.С. Остапенко, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения главной задачи исследования — реконструкции палеогеодинамических обстановок формирования отложений барабашской свиты Лаоелин-Гродековского террейна, а также определения типа и состава пород источников питания, был детально изучен и проанализирован вещественный состав песчаных пород, включающий содержания и соотношения породообразующих компонентов, тяжелых обломочных минералов, микрохимический состав некоторых из них минералов, а также геохимические особенности пород.

Изученные песчаники преимущественно средне- и крупнозернистые, реже мелкозернистые, в основном со средней либо слабой степенью сортированности обломочного материала. Зерна угловато-окатанные и угловатые, редко окатанные. Тип цемента порово-пленочный, по составу глинисто-серицитовый, иногда глинисто-железистый и глинисто-карбонатный. По составу породообразующих компонентов породы однотипны и относятся к полимиктовым. Обломочная их часть представлена кварцем, полевыми шпатами, фрагментами тонкозернистых терригенных пород, кремней, вулканических и интрузивных пород среднего и кислого состава, кварцитов и сланцев. Кварца в породах от 28 до 35 % всех обломков. Встречаются как чистые монокристаллические угловатые либо слабо окатанные зерна эффузивного кварца, так и поликристаллические с лапчатыми контурами зерна, характерные для гранитоидов. Полевых шпатов в песчаниках 34–44 %. Преобладают вытянутые, таблитчатые, реже изометричные зерна альбита и олигоклаза (62–83 %). Калиевых полевых шпатов (ортоклаз и, редко, микроклин) заметно меньше — не более 25 %. Основные и средние плагиоклазы малочисленны. Обломки пород, доля которых колеблется от 25 до 33 % всех зерен, представлены в основном средними и кислыми вулканическими и интрузивными породами, заметно реже терригенными, кремнистыми и метаморфическими породами. На классификационной диаграмме (Шутов, 1967) (рис. 2а) песчаники свиты компактно группируются в верхней части поля кварцево-полевошпатовых

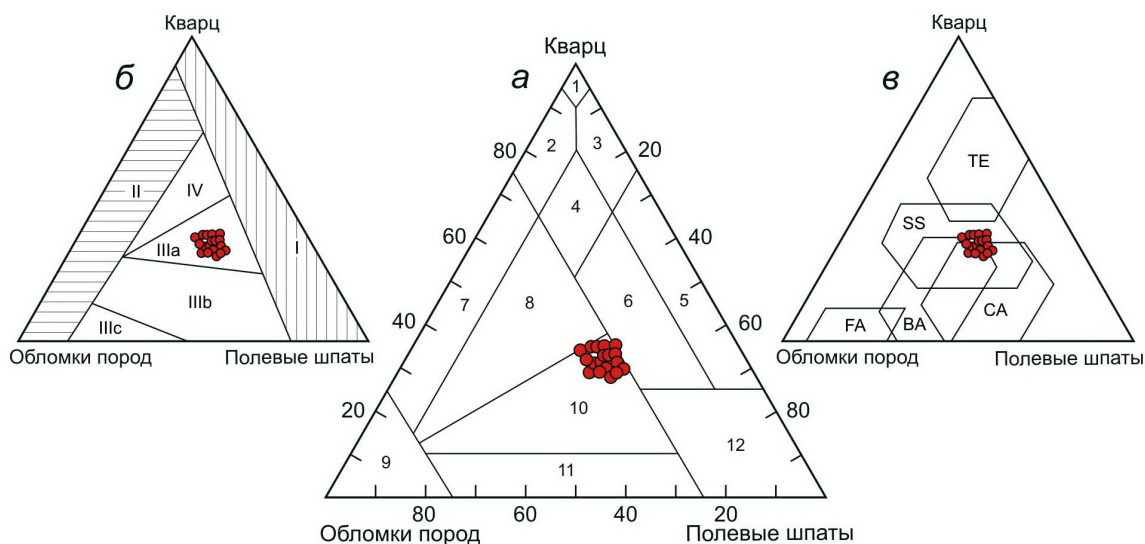


Рис. 2. Породообразующие компоненты песчаников из отложений барабашской свиты и их палеогеодинамическая интерпретация. *a* — классификационная диаграмма типов пород (Шутов, 1967). Поля типов песчаников: 1–4 — кварцевые песчаники: 1 — мономиктовые кварцевые, 2 — кремнекlastито-кварцевые, 3 — полевошпатово-кварцевые, 4 — мезомиктовые кварцевые; 5 — чистые или собственно аркозы; 6 — граувакковые аркозы; 7 — кварцевые граувакки; 8 — полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 — собственно граувакки; 10 — кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 — полевошпатовые граувакки; 12 — кристаллотуфы; *б* — типы источников питания (Dickinson, Suczek, 1979): I — устойчивые кратоны и поднятые блоки основания, II — ремобилизованные орогены, III — магматические дуги (IIIa — расчлененные, глубоко эродированные, IIIb — переходные, IIIc — нерасчлененные, слабо эродированные), IV — смешанные источники питания; *в* — типы бассейновых обстановок (Maynard et al., 1982). Бассейны пассивных (TE — интерконтинентальные рифты и авлакогены) и активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); бассейны, сопряженные с окраинно-континентальной магматической (CA) и с океанической вулканическими дугами (FA — преддуговые и BA — задуговые бассейны). Здесь и на рис. 3а, 4, 5, 6, 8 и 9 красные кружки соответствуют составу конкретных изученных образцов барабашской свиты.

Fig. 2. Rock-forming components of sandstones from the Barabash Formation deposits and their paleogeodynamic interpretation. *a* — classification diagram for the sandy rock types (Шутов, 1967). Fields of sandstone types: 1–4 — quartz sandstones: 1 — monomictic quartz, 2 — silicoclastic quartz, 3 — feldspar–quartz, 4 — mesomictic quartz, 5 — pure or proper arkose, 6 — graywacke arkoses, 7 — quartz graywackes, 8 — feldspar–quartz graywackes, 9 — graywackes proper, 10 — quartz–feldspar graywackes, 11 — feldspar graywackes; 12 — crystal tuffs; *б* — types of source areas (Dickinson, Suczek, 1979): I — stable cratons and uplifted basement blocks, II — remobilized orogens, III — magmatic arcs (IIIa — dissected, deeply eroded, IIIb — transitional, IIIc — undissected, weakly eroded), IV — mixed sources; *в* — types of basin environment (Maynard et al., 1982). Basins: of passive continental margins (TE — intercontinental rifts and aulacogens), active continental margins, complicated by shear dislocations along transform faults (SS), associated with: a continental margin magmatic arc (CA), and an oceanic volcanic arc (basins: FA — fore-arc and BA — back-arc). Here and in Figs. 3a, 4, 5, 6, 8, and 9, the red circles correspond to the composition of specific studied samples from the Barabash Formation.

граувакк, гранича с полями полевошпатовых аркозов и полевошпатово-кварцевых граувакк.

Данные, полученные при изучении петрографического состава песчаных пород барабашской свиты дают возможность реконструировать как тектонические типы и состав источников питания, так и геодинамическую обстановку накопления ее отложений. Содержание среди породообразующих компонентов песчаников достаточно большого количества кварца и полевых шпатов, в том числе калиевых, а также присутствие обломков кислых магматических, метаморфических и осадочных пород, свидетельствует, что обломочный материал поступал преимущественно за счет разрушения континентальных источников —

выступов кристаллического фундамента и древних осадочных комплексов. Вместе с тем, на диаграмме В. Диккинсона и К. Сучека (Dickinson, Suczek, 1979) (рис. 2б), предназначенной для реконструкции тектонических типов источников питания, фигуративные точки песчаников группируются в поле глубоко эродированных окраинно-континентальных магматических дуг. Такое их расположение позволяет предполагать, что помимо основного, континентального источника, существовали и дополнительный — фрагмент древней энциалической дуги, поставивший в бассейн седиментации как продукты разрушения интрузий гранитоидов ее корневых частей, так и вулканических образований их «бронирующих».

Очевидно, что определенным тектоническим типам питающих провинций должны соответствовать и определенные геодинамические обстановки формирования связанных с ними осадочных бассейнов. Реконструкция этих обстановок для отложений барабашской свиты не всегда однозначна. Она осуществлялась при помощи диаграммы Ж. Мейнарда и его соавторов (Maupard et al., 1982) (рис. 2б), на которой фигуративные точки изученных пород ложатся в область перекрытия нескольких полей, наиболее соответствия обстановкам бассейнов, связанных с активными континентальными окраинами, осложненными сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам типа Калифорнийского залива и, частично, бассейнов, связанных с окраинно-континентальными либо океаническими островными дугами.

Важным аспектом исследования является выяснение состава, содержания и соотношений в песчаных породах тяжелых обломочных минералов, поскольку они служат достаточно объективными индикаторами тектонических типов областей питания и состава слагающих их материнских пород (Малиновский и др., 2006; Тучкова и др., 2003; Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, Isphording, 1993 и др.).

На рис. 3а показано соотношение между средними содержаниями отдельных тяжелых

минералов. Установлено, что все минералы разделяются на две ассоциации. Резко преобладает, составляя в среднем 93 % общего количества минералов, циркон–гранат–сфен–турмалин–апатит–рутиловая (сиалическая) ассоциация, образующаяся в результате разрушения кислых магматических и метаморфических пород. К этой ассоциации также отнесены ильменит и лейкоксен, которые, в свою очередь, могут встречаться и в основных–средних вулканитах. Среди минералов ассоциации преобладает циркон: в среднем 74 %, а в некоторых пробах до 86–93 %. Остальные минералы встречаются заметно реже: апатита в отдельных пробах до 14 %, граната до 13 %, турмалина до 4 %, а сфена и рутила не более 1 %. Вторая, хромит–клинопироксен–амфиболовая (фемическая) ассоциация, связана с основными и ультраосновными породами, присутствуя лишь в небольших количествах: в среднем около 7 %. Здесь преобладает хромит — в некоторых пробах его до 15 %. Содержания же амфибола и клинопироксена редко превышают 1 %.

Существенное преобладание в тяжелой фракции песчаников циркон–гранат–сфен–турмалин–апатит–рутиловой ассоциации, равно как и анализ соотношения различных их ассоциаций на диаграмме А–&–POS (Garzanti, Ando, 2007) (рис. 3б) указывает на главный, континентальный источник обломочного материала,

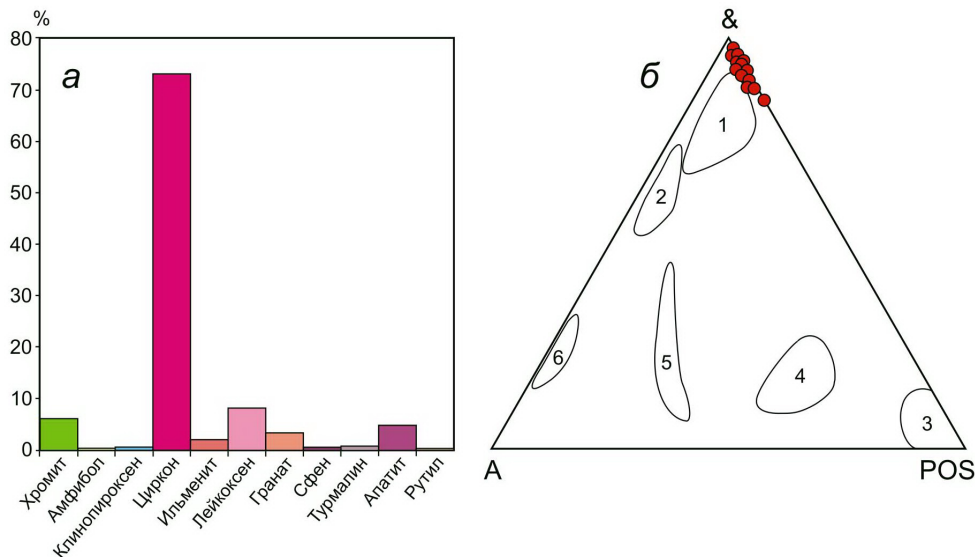


Рис. 3. Тяжелые обломочные минералы из песчаных пород барабашской свиты. *а* — средние содержания и характер распределения; *б* — возможные типы областей питания (Garzanti, Ando, 2007). А — амфиболы и эпидоты; POS — клинопироксены, ортопироксены, оливины и хромиты; & — другие прозрачные минералы. Типы питающих провинций: 1 — континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); 2 — коллизийные орогены; 3–6 — магматические дуги: 3 — незэродированные, 4 — переходные слабоэродированные, 5 — переходные эродированные, 6 — сильноэродированные.

Fig. 3. Heavy clastic minerals from sandy rocks of the Barabash Formation. *a* — average contents and distribution patterns; *б* — possible types of source areas (Garzanti, Ando, 2007). А — amphiboles and epidotes; POS — clinopyroxenes, orthopyroxenes, olivines and chromites; & — other transparent minerals. Types of source provinces: 1 — continental blocks (cratons and rift margins); 2 — collision orogens; 3–6 — magmatic arcs: 3 — uneroded, 4 — transitional weakly eroded, 5 — transitional eroded, 6 — strongly eroded.

представлявший собой кратоны и выступы кристаллического фундамента, располагавшиеся в обрамлении рифтовых зон. Преобладание в песчаниках сиалической ассоциации минералов, а также химические особенности обломочных гранатов, демонстрирующиеся на диаграмме Н.В. Соболева (1964) (рис. 4а), свидетельствуют, что эти источники были сложены кислыми изверженными и, в меньшей мере, метаморфическими породами различных фаций метаморфизма. Вместе с тем, присутствие в тяжелой фракции песчаников некоторого количества хромитов, клинопироксенов и амфиболов указывает на участие в составе области питания основных и ультраосновных магматических пород, вероятно имевших островодужную природу. Подтверждением этому служит химический состав аксессуарных хромитов и амфиболов. Хромиты по составу достаточно однородны и практически все относятся к низкотитанистому типу (содержание TiO_2 менее 1.5 %). На диаграмме $Al_2O_3-Cr_2O_3-10TiO_2$ (Щека, Вржосек, 1983) (рис. 4б) они соответствуют, главным образом, хромитам из магматических пород офиолитов, вероятно входивших в состав фундамента островной дуги. Положение точек состава обломочных амфиболов на диаграмме $Fe-Al-10Ti$ (Nechaev, 1991) (рис. 4в), дает основание предполагать, что их источником были вулканические породы островной дуги, а также метаморфические и ультраосновные интрузивные породы ее основания. Известные в настоящее время выходы вулканических и осадочных островодужных образований установлены непосредственно в самом Лаоелин-Гродековском террейне в

виде раннесилурийской кордонкинской свиты (Малиновский, Голозубов, 2021).

Химический состав песчаников барабашской свиты достаточно однороден что демонстрируется в приведенной таблице. Содержание кремнекислоты в породах варьирует в пределах от 68.06 до 74.34 % при медианном значении 71.50 %, TiO_2 (0.33–0.49 % и 0.39 % соответственно), Al_2O_3 (12.52–15.06 % и 13.83 %), $FeO+Fe_2O_3$ (2.66–3.82 % и 3.27 %), MgO (0.50–1.19 % и 0.85 %) и CaO (0.28–2.11 % и 0.88 %). На классификационной диаграмме $\log(Na_2O/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$ (Pettijohn et al., 1972) (рис. 5а) фигуративные точки составов песчаников локализируются преимущественно в поле граувакки, лишь частично, лититовых аренитов, характеризуюсь относительно невысоким соотношением SiO_2 и Al_2O_3 . Вместе с тем, для изученных песчаников свойственно преобладание K_2O над Na_2O (3.31–5.05 % и 1.78–2.83 % соответственно), что в известной мере сближает их с аркозами. Промежуточное положение песчаников между граувакками и аркозами демонстрируется и довольно низкими (0.05–0.07) значениями одного из показательных литохимических модулей — фемического $FM=(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$ (Юдович, Кетрис, 2000), величина которого зависит от содержания в породах кремнезема и продуктов гидролиза и, как следствие, позволяет достаточно уверенно отличать граувакки от аркозов.

Использование ряда литохимических модулей и модульных диаграмм дает возможность получить дополнительную информацию, позволяющую судить о литогенной либо петрогенной природе осадков, степени их «зрелости», составе

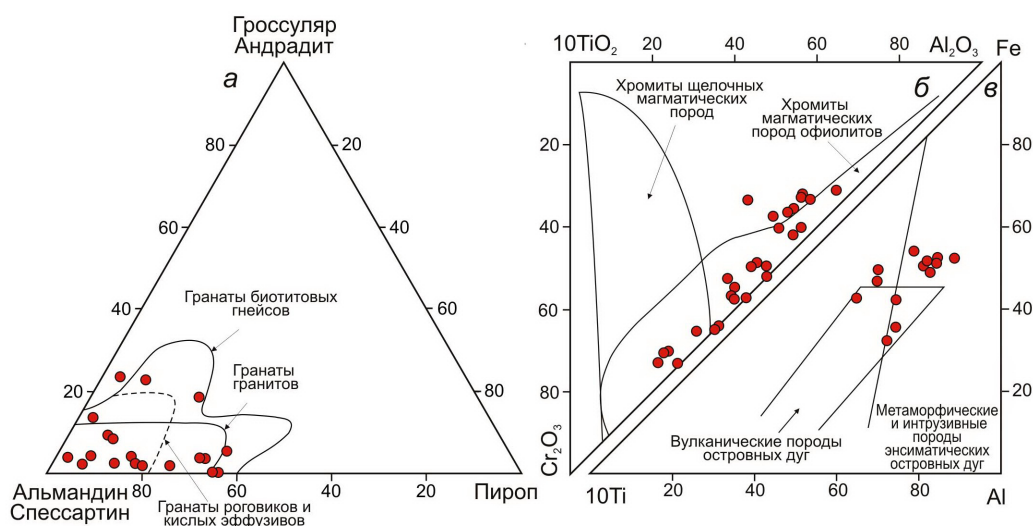


Рис. 4. Состав тяжелых обломочных минералов из песчаных пород барабашской свиты и их вероятные магматические источники. а — гранаты (Соболев, 1964); б — хромиты (Щека, Вржосек, 1983); в — амфиболы (Nechaev, 1991).

Fig. 4. Composition of heavy clastic minerals from sandy rocks of the Barabash Formation and their probable magmatic sources. а — garnets (Соболев, 1964); б — chromites (Щека, Вржосек, 1983); в — amphiboles (Nechaev, 1991).

СРЕДНЕПЕРМСКИЕ ТЕРРИГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Содержание петрогенных (масс. %), редких и РЗЭ (г/т) в песчаных породах барабашской свиты Лаоелин-Гродековского террейна
 Contents of petrogenic (wt %), rare and REE (ppm) in sandy rocks of the south of the Barabash Formation of the Laoling-Grodekovo terrane

Компонент	Номер пробы																	
	P19	P19/1	P20	P21	P21/1	P22	P23/1	P24	P25	P26	P27	P27/1	P28	P34	P35	P36	P36/1	P37
SiO ₂	70.13	70.96	69.63	71.94	72.80	69.07	72.06	72.40	73.11	74.34	74.06	72.47	68.06	71.12	71.05	71.57	71.55	71.83
TiO ₂	0.40	0.38	0.43	0.43	0.39	0.49	0.44	0.42	0.35	0.34	0.34	0.40	0.49	0.33	0.35	0.35	0.39	0.39
Al ₂ O ₃	13.85	12.55	14.75	13.76	13.36	14.87	13.08	13.16	13.80	12.52	12.55	13.39	15.06	14.72	14.87	14.65	13.81	13.83
Fe ₂ O ₃	1.75	0.74	1.27	0.73	0.77	0.79	0.60	1.76	0.58	0.59	1.25	0.88	1.63	1.86	2.53	2.24	2.06	1.26
FeO	1.41	2.39	2.30	2.39	2.26	2.68	2.51	1.42	2.08	2.62	1.73	2.37	2.20	1.84	1.04	1.20	1.73	2.01
MnO	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
MgO	0.86	0.72	1.02	0.90	0.77	0.98	0.72	0.92	0.65	0.53	0.50	0.75	1.19	1.04	1.04	1.00	0.85	0.85
CaO	1.98	2.11	0.77	0.46	0.69	1.13	0.97	0.89	0.61	0.95	0.95	0.83	0.84	0.29	0.29	0.28	0.88	0.72
Na ₂ O	2.48	2.64	2.62	2.57	2.60	2.67	2.83	2.16	2.40	2.64	2.60	2.65	2.57	1.78	1.90	1.92	2.16	2.43
K ₂ O	3.99	3.89	4.11	5.05	4.16	4.50	4.04	4.40	3.97	3.47	3.45	4.11	4.33	3.40	3.38	3.31	3.70	3.97
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
H ₂ O ⁻	0.28	0.46	0.53	0.28	0.48	0.32	0.38	0.29	0.27	0.26	0.35	0.33	0.52	0.76	0.74	0.71	0.43	0.44
п.л.п.	2.27	2.80	2.01	1.17	1.45	2.17	2.07	1.74	1.65	1.55	1.97	1.73	2.61	2.33	2.55	2.26	2.30	2.03
ГМ	0.25	0.23	0.27	0.24	0.23	0.27	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21	0.23	0.29	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25
ТМ	0.029	0.030	0.029	0.031	0.029	0.033	0.033	0.032	0.025	0.027	0.027	0.030	0.033	0.022	0.024	0.024	0.027	0.029
ЖМ	0.23	0.25	0.24	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.19	0.25	0.23	0.23	0.25	0.25	0.24	0.23	0.23	0.23
ФМ	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06
НКМ	0.47	0.52	0.46	0.55	0.51	0.48	0.52	0.50	0.46	0.49	0.48	0.51	0.46	0.35	0.36	0.36	0.43	0.46
СlA	54.00	50.00	59.00	57.00	57.00	57.00	55.00	57.00	60.00	56.00	56.00	56.00	59.00	67.00	67.00	67.00	60.00	58.00
WIP	62.00	63.00	61.00	68.00	61.00	66.00	63.00	60.00	57.00	56.00	56.00	62.00	63.00	46.00	47.00	47.00	56.00	58.00
Sc	5.82	5.97	6.74	6.73	6.38	7.27	6.97	6.25	5.19	6.15	6.38	6.41	6.61	6.73	7.1	7.2	6.49	6.56
Cr	63.83	104.1	124.7	319.0	346.4	375.5	441.6	101.7	157.5	201.0	209.4	269.0	104.1	42.4	30.5	35.5	182.9	201.2

Таблица. Окончание
Table. Continued

Компонент	Номер пробы																	
	P19	P19/1	P20	P21	P21/1	P22	P23/1	P24	P25	P26	P27	P27/1	P28	P34	P35	P36	P36/1	P37
Co	2.86	4.94	3.39	6.05	4.74	5.59	5.87	2.99	2.35	3.77	3.62	4.37	5.40	4.35	4.82	4.93	4.38	4.52
Zr	216.3	209.5	224.2	233.8	197.6	273.4	219.8	241.2	227.6	198.3	203.9	224.5	282.4	182.3	182.5	202.6	220.0	220.7
Nb	9.16	9.70	12.46	10.87	9.54	10.35	9.65	9.94	9.87	9.36	8.80	9.80	11.08	7.53	8.49	8.95	9.72	9.57
La	42.89	40.50	38.38	36.38	35.38	35.35	34.44	39.76	26.09	30.17	28.58	33.27	35.87	27.97	28.28	30.15	33.97	32.55
Ce	78.62	81.99	71.96	73.44	67.99	69.09	70.54	74.93	49.41	60.29	58.09	65.47	70.40	52.20	56.20	59.10	66.23	63.81
Pr	8.89	8.43	8.62	8.01	8.24	8.26	8.23	8.62	5.77	6.87	6.66	7.58	7.87	5.75	6.07	6.48	7.52	7.28
Nd	32.33	30.65	26.97	30.98	28.05	28.19	29.73	30.96	22.24	24.59	24.78	27.44	27.39	20.00	22.26	22.57	26.82	26.14
Sm	6.64	6.45	6.88	5.98	5.69	4.33	5.29	5.88	4.89	5.25	4.67	5.25	5.00	4.11	5.26	4.91	5.40	5.14
Eu	1.16	1.48	1.01	1.03	0.97	0.98	0.96	0.96	0.75	0.92	0.93	0.94	1.18	1.01	1.09	1.06	1.03	0.99
Gd	4.82	7.27	4.63	4.82	4.32	4.72	4.60	4.33	3.52	4.39	4.57	4.41	4.51	3.49	3.40	3.87	4.48	4.24
Tb	0.90	0.82	1.00	0.77	0.70	0.80	0.76	0.79	0.65	0.69	0.73	0.74	0.55	0.55	0.72	0.69	0.74	0.71
Dy	5.14	4.63	4.89	4.24	4.06	3.98	4.16	4.44	4.13	4.23	3.76	4.12	3.94	3.48	3.52	3.67	4.15	3.99
Ho	0.98	0.91	0.99	0.81	0.92	0.84	0.86	0.79	0.81	0.86	0.97	0.86	0.78	0.80	0.79	0.80	0.86	0.84
Er	2.57	2.32	3.29	2.80	2.38	2.77	2.66	2.68	2.72	2.65	2.61	2.66	2.43	2.07	2.68	2.76	2.63	2.61
Tm	0.45	0.42	0.55	0.41	0.49	0.42	0.35	0.42	0.53	0.34	0.47	0.43	0.30	0.40	0.46	0.41	0.43	0.42
Yb	2.79	2.33	3.03	2.72	2.24	2.41	2.46	2.49	2.79	2.79	2.38	2.53	2.41	2.36	2.34	2.11	2.51	2.47
Lu	0.37	0.38	0.47	0.50	0.53	0.50	0.49	0.42	0.45	0.45	0.43	0.47	0.39	0.35	0.36	0.42	0.44	0.44
Hf	6.95	5.52	7.81	6.45	5.35	6.58	5.77	7.44	7.18	5.61	5.71	6.26	6.40	3.74	4.11	4.56	5.96	5.79
[La/Yb]n	10.19	11.54	8.40	8.88	10.49	9.74	9.30	10.58	6.20	7.18	7.98	8.87	9.90	7.87	8.03	9.49	9.08	8.97
Eu/Eu*	0.59	0.65	0.51	0.56	0.57	0.65	0.57	0.55	0.52	0.56	0.60	0.58	0.74	0.78	0.73	0.71	0.63	0.61

Примечание. Расшировку значений коэффициентов и индексов см. в тексте.
Note: See the text for an explanation of the coefficients and indices.

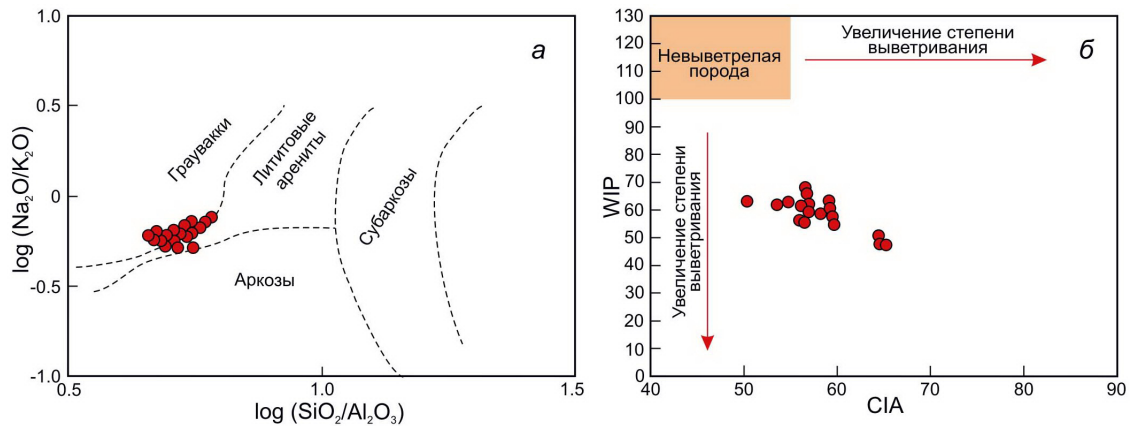


Рис. 5. Химический состав песчаных пород барабашской свиты. *а* — классификационная диаграмма $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ – $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ типов пород (Pettijohn et al., 1972); *б* — диаграмма степени химического выветривания CIA–WIP (Bahlburg, Dobrzinski, 2011). Расшифровку значений индексов см. в тексте.

Fig. 5. Chemical composition of sandy rocks of the Barabash Formation. *a* — $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ – $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ classification diagram of rock types (Pettijohn et al., 1972); *б* — CIA–WIP chemical weathering degree diagram (Bahlburg, Dobrzinski, 2011). See the text for an explanation of the indices.

материнских пород источников питания, а также условиях и обстановках осадконакопления (Летникова и др., 2011; Малиновский, 2018; Маслов и др., 2013; Юдович, Кетрис, 2000 и др.).

Особенности геохимического состава терригенных пород определяются как петрографическим составом обломочной части, так и уровнем их химической «зрелости», т.е. степенью химического выветривания материнских пород источников питания. Судить об этом уровне позволяет величина гидролизатного модуля $\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2$ (Юдович, Кетрис, 2000). Песчаники барабашской свиты характеризуются относительно низкими его значениями (0.21–0.29, в среднем 0.25), что свидетельствует об умеренной степени выветривания исходных пород. Присущие песчаникам также относительно невысокие (50–67, в среднем 58) значения индекса химического изменения $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ (Nesbitt, Young, 1982) и повышенные (46–68, в среднем 58) индекса выветривания $\text{WIP} = 100 \times (2 \times \text{Na}_2\text{O} / 0.35 + \text{MgO} / 0.9 + 2 \times \text{K}_2\text{O} / 0.25 + \text{CaO} / 0.7)$ (Parker, 1970) дополняют картину, подтверждая полученный вывод (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) (рис. 5б).

Величина титанового $\text{ТМ} = \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ и железного $\text{ЖМ} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ модулей позволяет судить о составе исходных пород областей денудации (Юдович, Кетрис, 2000). В изученных песчаниках их значения относительно невелики (0.022–0.033 и 0.19–0.25 соответственно), что связано с доминированием в области размыва кислых магматических пород, характеризующихся такими же низкими значениями ТМ и ЖМ. Кроме того, породы обладают повышенными значениями модуля нормированной щелочности $\text{НКМ} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3$

(0.35–0.55) что также сближает их с типичными аркозами и обусловлено присутствием в обломочной части большого количества продуктов разрушения кислых магматических пород — слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых (Юдович, Кетрис, 2000). Величины литохимических модулей в песчаниках свиты, соотношения между ними, а также положение их фигуративных точек на модульных диаграммах (положительная корреляция между парами модулей ФМ–ТМ, ЖМ–ТМ и ФМ–ЖМ и отрицательная либо ее отсутствие между другими парами) (Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 6), свидетельствует о принадлежности изученных отложений к петрогенным или «first cycle» породам, прошедшим один цикл перетотложения.

Песчаники свиты демонстрируют близость в содержании и характере распределения редких и РЗЭ (таблица). Суммарные концентрации редких земель в породах относительно невелики и варьируют в пределах от 125 до 189 г/т, в среднем 157 г/т, что немногим выше среднего значения (146.4 г/т) для верхней континентальной коры (Taylor, McLennan, 2009). Спектры распределения РЗЭ, нормированные к составу хондрита (Boynnton, 1984) (рис. 7) во всех изученных пробах, имеют однотипные тренды с относительно невысоким обогащением легкими лантаноидами относительно тяжелых ($[\text{La}/\text{Yb}]_n = 6.20$ – 11.54 , в среднем 9.04) и достаточно выраженной отрицательной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.51$ – 0.78 , в среднем 0.62). Песчаники свиты, по сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (PAAS) (Taylor, McLennan, 2009) находятся, как правило, в равных либо незначительно более низких концентрациях.

Поскольку в терригенных породах содержания и характер распределения петрогенных,

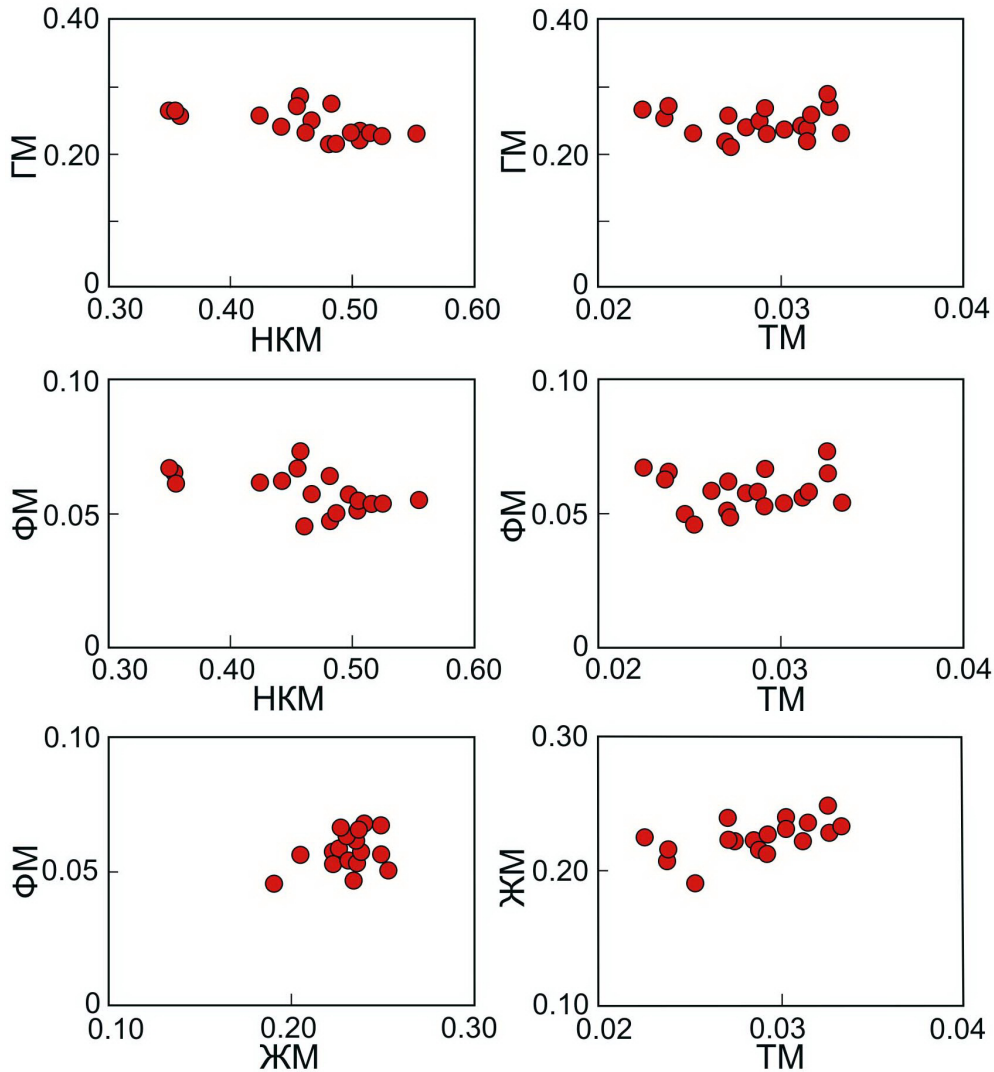


Рис. 6. Модульные диаграммы для песчаных пород барабашской свиты (Юдович, Кетрис, 2000). Расшифровку значений петрохимических модулей см. в тексте.

Fig. 6. Module diagrams for sandy rocks of the Barabash Formation (Юдович, Кетрис, 2000). See the text for an explanation of the petrochemical module values.

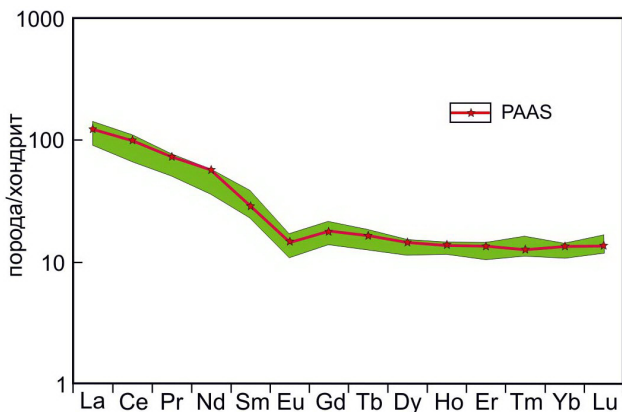


Рис. 7. Спектры распределение РЗЭ, нормированных по хондриту (Boynnton, 1984), и их сопоставление с PAAS (Taylor, McLennan, 2009).

Fig. 7. Chondrite-normalized REE distribution spectra (Boynnton, 1984) and their comparison with PAAS (Taylor, McLennan, 2009).

редких и редкоземельных элементов во многом контролируются составом источников питания, их генетическая интерпретация с использованием ряда индикаторных элементов и их соотношений позволяет достаточно уверенно восстановить тектонический тип и породный состав этих источников. Свойственные песчаным породам барабашской свиты геохимические особенности: относительно высокие содержания SiO_2 , заметное преобладание K_2O над Na_2O , низкие значения литохимических модулей ГМ, ФМ, ТМ, ЖМ, но повышенные НКМ, относительно невысокие концентрации РЗЭ при умеренной обогащенности легкими РЗЭ по сравнению с тяжелыми, а также хорошо выраженная отрицательная Eu аномалия позволяют предполагать доминирование в составе области питания кислых изверженных пород. Положение фигуративных точек геохимического

состава пород на парных интерпретационных диаграммах F1–F2, Hf–La/Th, La/Sc–Th/Co и Zr/Sc–Th/Sc (Cullers, 2002; Floyd, Leveridge 1987; McLennan et al., 1993; Roser, Korsch, 1988) (рис. 8) также свидетельствует, что основную массу обломочного вещества в бассейн поставляли кислые источники, объединявшие гранитно-метаморфические комплексы континентальной суши и, в значительно меньшей мере, основания глубоко эродированной энсиалической дуги. Континентальные источники вероятно были представлены гранитоидами широкого возрастного диапазона. Ими могли быть кристаллические комплексы Северо-Китайского кратона, раннепалеозойские коллизионные граниты Бурей-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, а также широко распро-

страненных в регионе палеозойских массивов и террейнов (Артемовского, Надеждинского, Цзямусы, Сунляо). Второстепенными источниками были батолиты гранитоидов, участвовавших в строении основания глубоко эродированной энсиалической дуги и бронирующие их средние и основные вулканиты, а также осадочные породы, «обогащенные древними обломочными компонентами», вероятно являющимися продуктами размыва пород кристаллического фундамента.

Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаников свиты осуществлена при помощи дискриминантных диаграмм. На диаграммах М. Бхатия и А. Крука (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986) (рис. 9а–е), позволяющих разделять седиментационные бассейны,

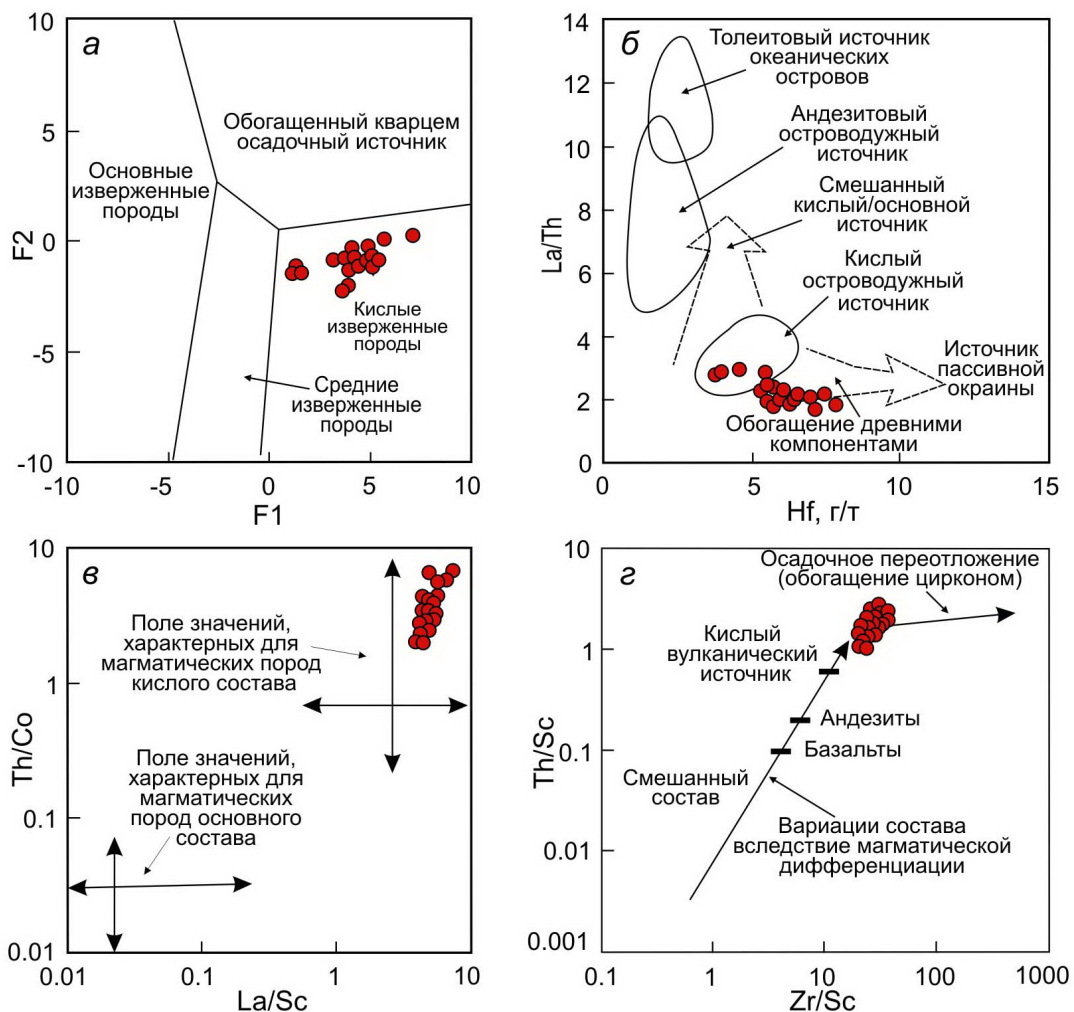


Рис. 8. Вероятные типы источников питания для песчаных пород барабашской свиты по геохимическим данным на диаграммах: *a* — F1–F2 (Roser, Korsch, 1988). $F1 = 30.638 \times TiO_2/Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 7.329 \times MgO/Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O/Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $F2 = 56.5 \times TiO_2/Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 30.875 \times MgO/Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O/Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O/Al_2O_3 - 3.89$; *б* — Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987); *в* — La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002); *з* — Zr/Sc–Th/Sc (McLennan et al., 1993).

Fig. 8. Probable types of source areas for sandy rocks of the Barabash Formation based on geochemical data in the diagrams: *a* — F1–F2 (Roser, Korsch, 1988). $F1 = 30.638 \times TiO_2/Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 7.329 \times MgO/Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O/Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $F2 = 56.5 \times TiO_2/Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 30.875 \times MgO/Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O/Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O/Al_2O_3 - 3.89$; *б* — Hf–La/Th (Floyd, Leveridge, 1987); *в* — La/Sc–Th/Co (Cullers, 2002); *з* — Zr/Sc–Th/Sc (McLennan et al., 1993).

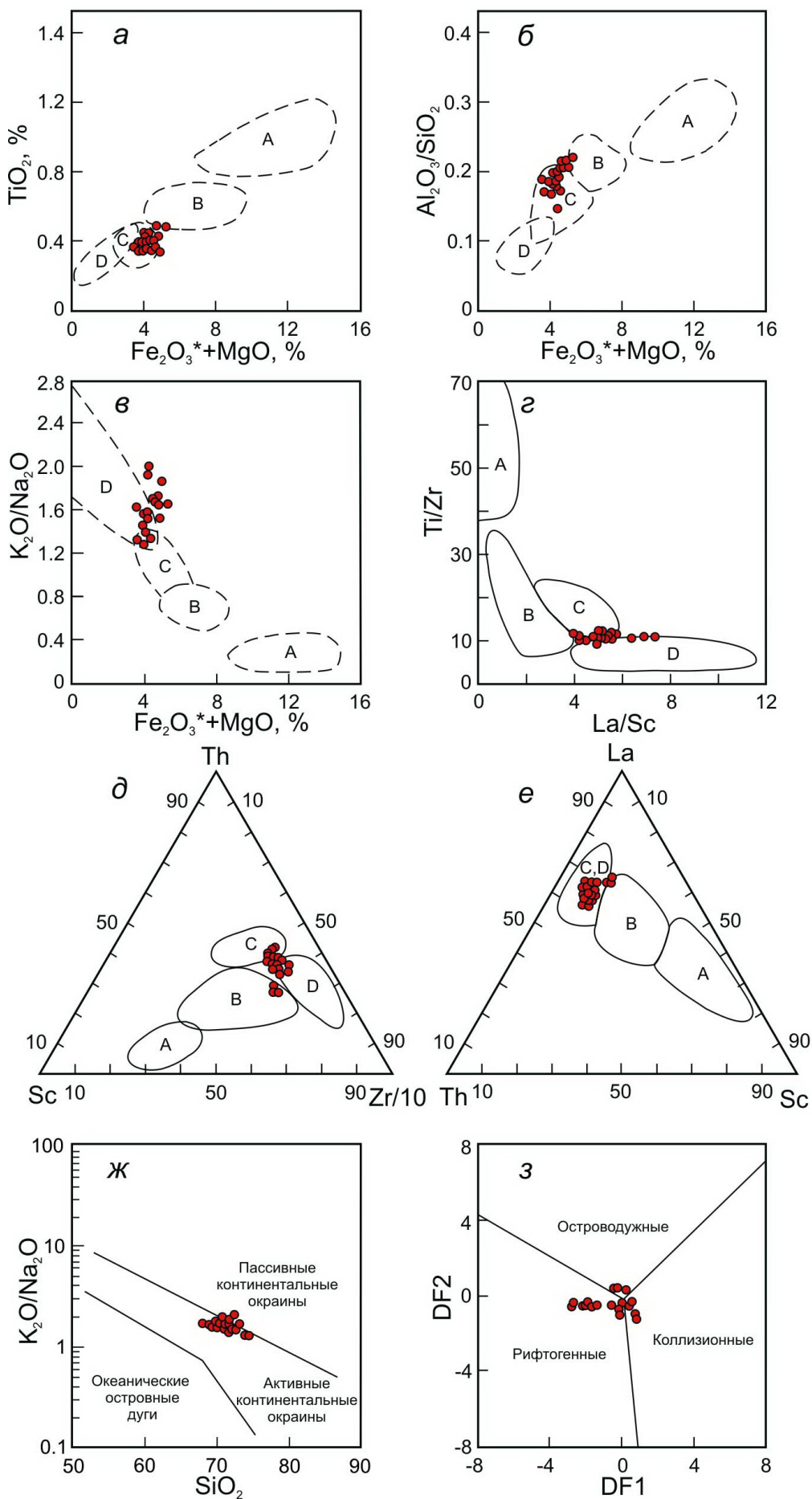


Рис. 9. Возможные палеогеодинамические обстановки формирования отложений барабашской свиты по геохимическому составу песчаников на диаграммах: *a–e* — типов седиментационных бассейнов (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Поля бассейнов, сопряженных: А — с океаническими, В — с континентальными островными дугами, С — с активными, D — с пассивными континентальными окраинами. $Fe_2O_3^*$ — общее железо; \mathcal{M} — бассейновых обстановок (Roser, Korsch 1986); \mathcal{Z} — возможных типов геодинамических обстановок для высококремнистых пород DF1–DF2 (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). $DF1 = -0.263 \times \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + 0.604 \times \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 1.725 \times \ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.66 \times \ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 2.191 \times \ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.144 \times \ln(CaO/SiO_2)_{adj} - 1.304 \times \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} + 0.054 \times \ln(K_2O/SiO_2)_{adj} - 0.33 \times \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} + 1.588$; $DF2 = -1.196 \times \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + 1.064 \times \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 0.303 \times \ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.436 \times \ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 0.838 \times \ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.407 \times \ln(CaO/SiO_2)_{adj} + 1.021 \times \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} - 1.706 \times \ln(K_2O/SiO_2)_{adj} - 0.126 \times \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} - 1.068$. adj — содержания, пересчитанные на безводную основу.

Fig. 9. Possible paleogeodynamic settings for the formation of the Barabash Formation deposits based on the geochemical composition of sandstones in the diagrams: *a–e* — types of sedimentation basins (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Fields of basins associated with: A — oceanic, B — continental island arcs, C — active, D — passive continental margins. $Fe_2O_3^*$ — total iron; \mathcal{M} — basin settings (Roser, Korsch 1986); \mathcal{Z} — possible types of geodynamic settings for high-siliceous rocks DF1–DF2 (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). $DF1 = -0.263 \times \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + 0.604 \times \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 1.725 \times \ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.66 \times \ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 2.191 \times \ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.144 \times \ln(CaO/SiO_2)_{adj} - 1.304 \times \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} + 0.054 \times \ln(K_2O/SiO_2)_{adj} - 0.33 \times \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} + 1.588$; $DF2 = -1.196 \times \ln(TiO_2/SiO_2)_{adj} + 1.064 \times \ln(Al_2O_3/SiO_2)_{adj} + 0.303 \times \ln(Fe_2O_3_{общ}/SiO_2)_{adj} + 0.436 \times \ln(MnO/SiO_2)_{adj} + 0.838 \times \ln(MgO/SiO_2)_{adj} + 0.407 \times \ln(CaO/SiO_2)_{adj} + 1.021 \times \ln(Na_2O/SiO_2)_{adj} - 1.706 \times \ln(K_2O/SiO_2)_{adj} - 0.126 \times \ln(P_2O_5/SiO_2)_{adj} - 1.068$. adj — contents recalculated on an anhydrous basis.

образованные в различных тектонических обстановках, фигуративные точки песчаников свиты попадают (либо приближаются) преимущественно в поле бассейнов активных континентальных окраин, включающих в себя, в понимании ряда авторов (Bhatia, Crook, 1986; Maunard et al., 1982; Roser, Korsch 1986 и др.), и окраины, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Гораздо реже точки попадают в поля бассейнов сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами, а также бассейнов пассивных континентальных окраин. На диаграмме K_2O/Na_2O-SiO_2 , (Roser, Korsch 1986) (рис. 9ж) геохимический состав пород интерпретируется более определенно. Изученные песчаники на ней практически полностью локализируются в поле бассейнов, формировавшихся в обстановках, связанных с активными континентальными окраинами и лишь отдельные из них смещены в область бассейнов пассивных окраин. На дискриминантной диаграмме DF1–DF2, в ее варианте для пород с высоким содержанием SiO_2 (более 63 %) (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) (рис. 9з), большинство точек барабашских песчаников ложится в поле бассейнов, связанных с рифтогенными обстановками, которые, в свою очередь, включают и обстановки связанные с трансформными границами плит (Маслов и др., 2019; Sengör, Natal'in, 2001).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения и палеогеологической интерпретации вещественного состава песчаных пород среднепермской барабашской свиты Юго-Западного Приморья позволили рекон-

струировать палеогеодинамическую обстановку формирования ее отложений, а также определить тектонический тип и состав исходных пород вероятных источников питания.

Проведенными исследованиями установлено, что по своим минералого-геохимическим особенностям песчаники свиты являются петрогенными или «first cycle» породами, прошедшими один цикл переотложения, относятся к грауваккам и, частично, лититовым ареникам, формирование которых происходило за счет разрушения умеренно выветрелых пород источников сноса.

Анализ и палеогеодинамическая интерпретация всей совокупности полученных при изучении вещественного состава песчаных пород свиты данных свидетельствуют, что накопление отложений происходило в бассейне, связанном с обстановкой активной континентальной окраины осложненной, вероятно, сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам типа Калифорнийского залива.

Судя по довольно высоким содержаниям в песчаниках кварца и SiO_2 , доминированию сиалической ассоциации тяжелых обломочных минералов, заметному преобладанию K_2O над Na_2O , умеренной обогащенности легкими РЗЭ по сравнению с тяжелыми, отчетливо выраженной отрицательной Eu аномалии, а также положению точек состава пород на дискриминационных диаграммах, главным источником кластического материала была континентальная суша — кратоны и выступы кристаллического фундамента, располагавшиеся в обрамлении рифтовых зон или вдоль трансформных разломов. Размывались, главным образом, гранитно-метаморфические комплексы и, частично, осадочные породы, обогащенные древними обломочными

компонентами. Вместе с тем, присутствие в песчаниках небольшого количества фемических тяжелых минералов позволяет предполагать участие в строении области питания основных и ультраосновных пород древней, глубоко эродированной энсиалической островной дуги.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

Список литературы [References]

- Анохин В.М., Рыбалко В.И., Аленичева А.А. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К-(52), 53. Владивосток. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 332 с. [*Anohin V.M., Rybalko V.I., Alenicheva A.A. et al.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Dal'nevostochnaya. List K-(52), 53. Vladivostok. SPb: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2011. 332 p. (in Russian)].
- Блохин М.Г., Зарубина Н.В., Иванова Ю.М. и др.* Постадийное селективное выщелачивание морских железомарганцевых образований для определения их фазового состава: опыт применения методики в ЦКП ДВГИ ДВО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. 0578. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0578> [*Blokhin M.G., Zarubina N.V., Ivanova Yu.M. et al.* Stepwise selective leaching of the marine ferromanganese formations for determining their phase composition: experience of the technique application in the Center for Collective Use of FEGI FEB RAS // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. V. 13. Iss. 2. 0578 (in Russian)].
- Бурого В.И.* Владивостокский горизонт верхней перми Юго-Западного Приморья // Новые данные по биостратиграфии палеозоя и мезозоя юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 81–102 [*Burago V.I.* Vladivostokskij gorizont verkhnej permii Yugo-Zapadnogo Primor'ya // Novy'e danny'e po biostratigrafii paleozoya i mezozoya yuga Dal'nego Vostoka. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1990. P. 81–102 (in Russian)].
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 [Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East. Ed. A.I. Khanchuk, Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. P. 1–572 (in Russian)].
- Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с. [Geologiya i poleznye iskopaemye Primorskogo kraja: ocherk / Pod red. A.I. Hanchuka. Vladivostok: Dal'nauka, 1995. 82 p. (in Russian)].
- Геология СССР. Приморский край / Под ред. И.И. Берсенева. М.: Недра, 1969. Т. XXXII. Ч. 1. 696 с. [Geologiya SSSR. Primorskij kraj / Pod red. I.I. Berseneva. Moscow: Nedra, 1969. T. XXXII. Ch. 1. 696 p. (in Russian)].
- Голозубов В.В., Крук Н.Н., Киселев В.И. и др.* Первые свидетельства среднетриасового вулканизма в Южном Приморье // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 44–57 [*Golozubov V.V., Kruk N.N., Kiselyov V.I. et al.* First evidences of Middle Triassic volcanism in South Primorye // Russian Journal of Pacific Geology. 2017. V. 36. Iss. 2. P. 44–57 (in Russian)].
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1: 200 000. Ханкайская серия. Листы К-52-XII (Владивосток), К-52-XVIII (Зарубино). СПб.: Изд-во СПб картографическая фабрики ВСЕГЕИ, 2004. [Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. 1: 200 000. Hankaikskaya seriya. Listy K-52-XII (Vladivostok), K-52-XVIII (Zarubino). St. Petersburg: Izd-vo SPb kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2004. (in Russian)]
- Котляр Г.В., Захаров Ю.Д., Кропачева Г.С. и др.* Позднепермский этап эволюции органического мира: Мидийский ярус СССР. Л.: Наука, 1989. 184 с. [*Kotlyar G.V., Zaharov YU.D., Kropacheva G.S. et al.* Pozdnepermiskij etap evolyucii organicheskogo mira: Mijiskij yarus SSSR. Leningrad: Nauka, 1989. 184 p. (in Russian)].
- Котляр Г.В., Никитина А.П., Журавлев А.В., Коссовая О.Л.* Мидийские (вордско-кептенские) транзитные фауны Юго-Восточной Азии // Бюллетень МОИП. Отд. геол. 2003. Т. 78. № 1. С. 33–48 [*Kotlyar G.V., Nikitina A.P., Zhuravlev A.V., Kossovaya O.L.* Mijiskie (vordsko-keptenskie) tranzitny'e fauny` Yugo-Vostochnoj Azii // Bulletin of the Imperial Society of Naturalists of Moscow. Otd. geol. 2003. V. 78. № 1. P. 33–48 (in Russian)].
- Летникова Е.Ф., Вещева С.В., Прошенкин А.И. и др.* Неопротерозойские терригенные отложения Тувино-Монгольского массива: геохимическая корреляция, источники сноса, геодинамическая реконструкция // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 12. С. 2110–2121 [*Letnikova E.F., Veshcheva S.V., Proshenkin A.I. et al.* Neoproterozoic terrigenous deposits of the Tuva–Mongolian massif: geochemical correlation, source lands, and geodynamic reconstruction // Russian Geology and Geophysics. 2011. V. 52. Iss. 12. С. 1662–1671. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.11.013>].
- Малиновский А.И.* Вещественный состав островодужных комплексов Дальнего Востока России // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 1. С. 28–44. [*Malinovskiy A.I.* Lithological composition of island-arc complexes in the Russian Far East // Lithology and Mineral Resources. 2010. V. 45. Iss. 1. P. 24–38. <https://doi.org/10.1134/S0024490210010025>].
- Малиновский А.И.* Геохимические особенности и геодинамические обстановки формирования меловых терригенных отложений Западно-Сахалинского террейна // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 2. С. 152–170. <https://doi.org/10.7868/S0024497X18020040> [*Malinovskiy A.I.* Geochemical features and geodynamic settings of the formation of Cretaceous terrigenous rocks of the West Sakhalin terrane // Lithology and Mineral Resources. 2018. V. 53. Iss. 2. P. 152–170. <https://doi.org/10.1134/S0024490218010066>].
- Малиновский А.И.* Решетниковская свита Юго-Западного Приморья – фрагмент отложений позднепалеозойской пассивной континентальной окраины // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2024.

- Вып. 61. № 1. С. 5–18. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2024-1-61-5-18> [Malinovsky A.I. Reshetnikovka Formation of South-West Primorye – fragment of the late Paleozoic passive continental margin deposits // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2024. № 1(61). P. 5–18 (in Russian)].
- Малиновский А.И. Вещественный состав и обстановки формирования нижнепермских отложений Юго-Западного Приморья (Дальний Восток России) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2025. Вып. 65. № 1. С. 69–83. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2025-1-65-69-83> [Malinovsky A.I. Material composition and conditions of formation of Lower Permian sediments in Southwestern Primorye (Russian Far East) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2025. № 1(65). P. 69–83 (in Russian)].
- Малиновский А.И., Голозубов В.В. Нижнесилурийские терригенные отложения Лаоелин-Гродековского террейна (Южное Приморье): вещественный состав и обстановки формирования // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 1. С. 25–44. <https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-1-25-44> [Malinovsky A.I., Golozubov V.V. Lower Silurian terrigenous rocks of the Laeoling–Grodokovo terrane, Southern Primorye: composition and formation settings // Russian Journal of Pacific Geology. 2021. V. 15 Iss. 1. P. 1–19. <https://doi.org/10.1134/S1819714021010036>].
- Малиновский А.И., Маркевич П.В., Тучкова М.И. Тяжелые обломочные минералы терригенных пород как индикаторы геодинамических обстановок в палеобассейнах орогенных областей Востока Азии // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. Вып. 8. № 2. С. 97–111 [Malinovsky A.I., Markevich P.V., Tuchkova M.I. Clastic heavy minerals of terrigenous rocks as indicators of geodynamic environments in paleobasins of the East Asia orogenic belts // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2006. № 2(8). P. 97–111 (in Russian)].
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н. и др. Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 1. С. 70–96. <https://doi.org/10.7868/S0024497X12050047> [Maslov A.V., Mizens G.A., Podkovyrov V.N., et al. Synorogenic psammites: major lithochemical features // Lithology and Mineral Resources. 2013. V. 48. Iss. 1. P. 74–97. <https://doi.org/10.1134/S0024490212050045>].
- Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Ножкин А.Д. Синрифтовые песчаники и глинистые породы: валовый химический состав и положение на ряде дискриминантных палеогеодинамических диаграмм // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 5. С. 439–465. <https://doi.org/10.31857/S0024-497X20195439-465> [Maslov A.V., Podkovyrov V.N., Gareev E.Z., Nozhkin A.D. Synrift sandstones and mudstones: bulk chemical composition and position in some discriminant paleogeodynamic diagrams // Lithology and Mineral Resources. 2019. V. 54. Iss. 2. P. 390–411. <https://doi.org/10.1134/S0024490219050055>].
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41 [Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I. et al. A model for the formation of orogenic belts in Central and Northwest Asia // Tikhookeanskaya Geologia. 2003. V. 22. № 6. P. 7–41 (in Russian)].
- Соболев Н.В. Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 218 с. [Sobolev N.V. Paragenetic types of garnets. Moscow: Nauka, 1964. 218 p. (in Russian)].
- Тучкова М.И., Маркевич П.В., Крылов К.А. и др. Минералого-петрографический состав и геодинамические условия накопления меловых отложений Пенжинской губы // Литология и полезные ископаемые. 2003. Т. 38. № 3. С. 197–208 [Tuchkova M.I., Markevich P.V., Krylov K.A. et al. Cretaceous rocks of the Penzhina bay: mineralogy, petrography, and geodynamic sedimentation conditions // Litologia i Poleznye Iskopaemye. 2003. V. 38. № 3. P. 197–208 (in Russian)].
- Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102 [Shutov V.D. Classification of sandstones // Litologia i Poleznye Iskopaemye. 1967. № 5. P. 86–102 (in Russian)].
- Щека С.А., Вржосек А.А. Ультраосновной вулканизм Тихоокеанского комплекса и вопросы систематики меймечитов и коматиитов // Вулканология и сейсмология. 1983. № 2. С. 3–16 [Sheheka S.A., Vrzhossek A.A. Ultramafic volcanism of the Pacific complex and issues of the systematics of meymechites and comatiites // Volcanology and Seismology. 1983. № 2. P. 3–16 (in Russian)].
- Юдович Я.Э., Керпус М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с. [Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Principles of lithochemistry. St. Petersburg: Nauka, 2000. 479 p. (in Russian)].
- Bahlburg H., Dobrzinski N.A. A review of the chemical index of alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions // Geological Society of London, Memoirs. 2011. V. 36. P. 81–92. <https://doi.org/10.1144/M36.6>
- Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627. <https://doi.org/10.1086/628815>
- Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1986. V. 92. № 2. P. 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>
- Boynnton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare Earth element geochemistry / Edited by P. Henderson. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology. 2002. V. 191. Iss. 4. P. 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Dickinson W.R., Suczek C.A. Plate tectonics and sandstone composition // The American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182. <https://doi.org/10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D>
- Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // Journal of the Geological

- Society. 1987. V. 144. № 4. P. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
- Garzanti E., Ando S.* Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // Heavy minerals in use. Developments in sedimentology. V. 58. / Eds M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764.
- Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S.* Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins. Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, 1982. P. 551–561.
- McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N.* Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geological Society of America. 1993. Special Paper 284. P. 21–40. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>
- Nechaev V.P.* Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Marine Geology. 1991. V. 97. Iss. 1–2. P. 167–190. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(91\)90025-Y](https://doi.org/10.1016/0025-3227(91)90025-Y)
- Nechaev V.P., Isphording W.C.* Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments // Journal of Sedimentary Petrology. 1993. V. 63. Iss. 6. P. 1110–1117. <https://doi.org/10.1306/D4267CB7-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717. <https://doi.org/10.1038/299715a0>
- Parker A.* An index of weathering for silicate rocks // Geological Magazine. 1970. V. 107. Iss. 6. P. 501–504.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.* Sand and Sandstone. Heidelberg: Springer, 1972. 553 p.
- Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // Journal of Geology. 1986. V. 94. Iss. 5. P. 635–650. <https://www.jstor.org/stable/30078330>
- Roser B.P., Korsch R.J.* Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chemical Geology. 1988. V. 67. Iss. 1–2. P. 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Taylor S.R., McLennan S.M.* Planetary crusts: Their composition, origin and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 378 p. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2009.tb00744>
- Sengör A.M.C., Natal'in B.A.* Rifts of the world // Mantle plumes: their Identification through Time / Eds. R.E. Ernst, K.L. Buchan. Geological Society of America. Special Papers. 2001. V. 352. P. 389–482. <https://doi.org/10.1130/0-8137-2352-3.389>
- The Central Asian orogenic belt: geology, evolution, tectonics and models / Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntraeger Science Publisher, 2015. 313 p.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S.* New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chemical Geology. 2013. V. 355. P. 117–133. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.014>

MIDDLE PERMIAN TERRIGENOUS DEPOSITS OF LAOELING-GRODEKOVO TERRANE (SOUTHWEST PRIMORYE): LITHOLOGY AND PALEOGEODYNAMIC NATURE

A.I. Malinovsky

Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru

Received February 17, 2026; revised March 19, 2026; accepted March 27, 2026

The results of the study and paleogeodynamic interpretation of the material composition of sandy rocks of the Middle Permian Barabash Formation of the Laueling-Grodekovo terrane, located in the southwestern part of Primorye, are presented. The sandstones studied belong to greywacke and, in part, to lithic arenite. Sandstones are petrogenic, «first cycle» rocks that have undergone a single cycle of redeposition. The formation of deposits occurred as a result of the destruction of moderately weathered rocks in areas of denudation. Analysis and paleogeodynamic interpretation of the obtained mineral and geochemical data indicate that deposits accumulated in a basin within an active continental margin margin, most likely complicated by strike-slip movements along transform faults. The main source of the clastic material was the continental landmass — cratons and uplifted basement blocks composed of granite-metamorphic and, in part, sedimentary rocks containing ancient clastic components. Secondary sources were fragments of an ancient, deeply dissected marginal-continental magmatic arc composed of basic and ultramafic rocks.

Keywords: Permian, Barabash Formation, material composition, paleogeodynamic settings, Primorye.