### Научные статьи

УДК [552.513:552.143:551.242.22] (571.63)

DOI: 10.31431/1816-5524-2024-1-61-5-18

Памяти исследователя геологии Дальнего Востока В.В. Голозубова посвящается

## РЕШЕТНИКОВСКАЯ СВИТА ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ — ФРАГМЕНТ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКОЙ ПАССИВНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ОКРАИНЫ

### © 2024 А.И. Малиновский

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

Поступила в редакцию 02.10.2023 г.; после доработки 05.01.2024 г.; принята в печать 25.03.2024 г.

Рассмотрены результаты минералого-геохимических исследований терригенных пород ранне-средне-пермской решетниковской свиты юго-западной части Приморского края. На основании полученных данных сделаны выводы о геодинамической природе отложений, а также определены основные источники обломочного вещества. Установлено, что по своим параметрам песчаники свиты соответствуют аркозам и являются петрогенными породами, формирование которых происходило за счет размыва геохимически «зрелых», в значительной степени выветрелых материнских пород источников питания. Судя по минералого-геохимическим особенностям песчаных пород, а также положению точек их состава на дискриминантных диаграммах, в ранне- среднепермское время седиментация происходила в бассейнах, связанных с пассивной континентальной окраиной. Этими бассейнами были внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены. На осадконакопление основное влияние оказывали континентальные источники питания — кратоны и поднятые блоки основания, представлявшие собой выступы кристаллического фундамента в обрамлении рифтовых зон. Размывались кислые изверженные породы при незначительном участии древних осадочных образований.

Ключевые слова: решетниковская свита, пермь, источники питания, обстановки формирования, Приморье.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Среди палеозойских-раннемезозойских террейнов Бурея-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна), образующих в современной тектонической структуре западное обрамление позднемезозойского Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса, особо выделяется Лаоелин-Гродековский террейн (рис. 1), являющийся фрагментом восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса (Геодинамика..., 2006; Парфенов и др., 2003; The Central..., 2015). По существующим представлениям он считается фрагментом позднепалеозойской-раннемезозойской активной

континентальной окраины (Геодинамика..., 2006; Голозубов, Хванчук, 2021). Вместе с тем, полученные нами данные по вещественному составу слагающих террейн терригенных отложений (Малиновский, 2021), свидетельствуют, что среди них резко выделяются породы раннесреднепермской решетниковской свиты, формирование которой, вероятно, происходило в бассейне, связанном с обстановками пассивной континентальной окраины.

К пассивным континентальным окраинам относятся области, образующиеся в результате рифтогенеза, вызывающего раскол крупных континентов на несколько более мелких с последующим их расхождением и возникновением

океанического бассейна (Конюхов, 1987). Эти окраины имеют внутриплитное положение, занимая переходную область между континентом и океаном. Они характеризуются низкой сейсмической и вулканической активностью и отсутствием глубинных сейсмофокальных зон. Главным геодинамическим процессом на пассивных континентальных окраинах является осадконакопление, выражающееся в поступление в морской бассейн огромного количества континентальной терригенной кластики, представленной в основном зрелым материалом, с высоким содержанием кварца и устойчивых к выветриванию компонентов — обломков пород и минералов тяжелой фракции (Тучкова, 2011).

Цель настоящей публикации — показать особенности вещественного состава терригенных пород решетниковской свиты и, на основании его интерпретации, установить геодинамическую природу ее отложений, а также определить основные источники обломочного вещества.

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ

Лаоелин-Гродековский террейн находится в юго-западной части Приморского края и представляет собой узкий (шириной до 80 км) блок, вытянутый на 300 км вдоль границы с Китаем и частично переходящий на его территорию, где он выделен в ранге складчатой зоны Яньбянь (Голозубов, Ханчук, 2021; Ханчук и др., 2022) (рис. 1a). Террейн представляет собой сложную структуру, образованную нижнесилурийскими и пермскими терригенными и вулканогенными образованиями, пронизанными позднепермскими и раннетриасовыми гранитоидами. Сложнодислоцированные палеозойские толщи с угловым несогласием перекрыты позднетриасовыми терригенными, часто угленосными, отложениями.

Ранне-среднепермская решетниковская свита впервые была выделена и описана в 1959 г. Н.М. Органовой и Н.М. Криволуцким в северной части террейна в районе с. Решетниково (Геология..., 1969). В этой части террейна, где отложения свиты наиболее широко распространены, нами она была изучена в бассейнах рек Решетинки и Комиссаровки (рис. 16). В южной части террейна свита выделена в бассейне р. Барабашевки (Бураго, 1990), где была нами изучена вдоль ее правого притока руч. Артиллерийского (рис. 16). Свита согласно залегает на вулканитах раннепермской казачкинской свиты, а сверху, с несогласием и размывом, перекрывается вулканогенно-осадочными образованиями среднепермской барабашской свиты. Нижняя часть свиты (рис. 1г) сложена преимущественно разнозернистыми песчаниками, содержащими прослои алевролитов и аргиллитов, а также отдельные горизонты и линзы конгломератов и гравелитов. Верхняя часть состоит из переслаивающихся алевролитов, аргиллитов, глинистых сланцев, содержащих редкие маломощные прослои мелкозернистых песчаников. Общая мощность отложений составляет 2100 м. Возраст свиты установлен на основании находок брахиопод, двустворок, криноидей, спикул губок и флористических комплексов (Бураго, 1990; Зимина, 1977, Котляр и др., 2003).

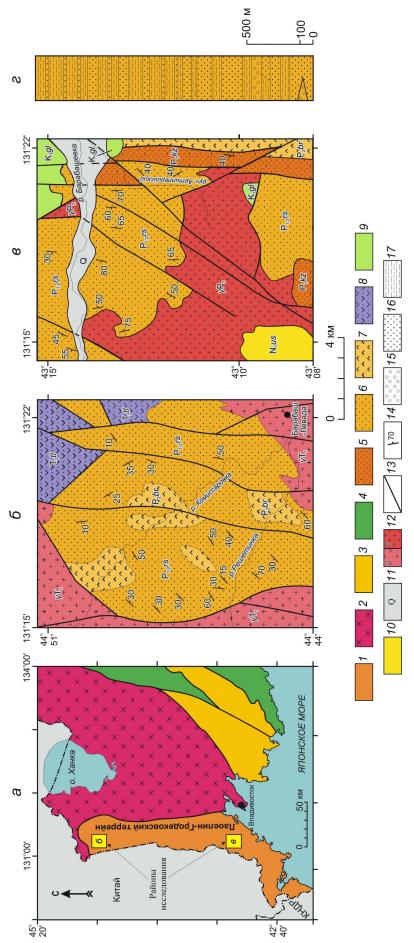
### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным объектом исследования были песчаные породы, поскольку они несут наиболее объективную информацию о типе и составе материнских пород областей питания, а также позволяют более полно судить о геодинамических обстановках формирования бассейнов седиментации (Летникова и др., 2011; Маслов и др., 2013; Bhatia, 1983; Roser, Korsch, 1986 и др.)

Исследования выполнены на основе оригинальной коллекции образцов, отобранных в 2019 и 2020 гг. из естественных береговых обнажений рек Решетинки, Комиссаровки, Барабашевки, ручьев Артиллерийского и Монахового, а также в карьерах и выемках вдоль автомобильных дорог. Было изучено и различными методами проанализировано 68 образцов и проб терригенных пород. Из них в 38 образцах подсчитаны содержания породообразующих компонентов, в 30—содержания и соотношения тяжелых обломочных минералов, а в 42 пробах установлены концентрации петрогенных, редких и редкоземельных элементов.

Изучение петрографического состава пород, определение и подсчет породообразующих компонентов песчаников, а затем и минерального состава их тяжелой фракции, производилось с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 (ЛОМО, Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия). Содержания петрогенных элементов определялись методом атомноэмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометрах іСАР 6500 Duo (Thermo Electron Corporation, США). Концентрации редких и редкоземельных элементов устанавливались методом плазменной спектрометрии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500c (Agilent Techn., США). Аналитические исследования выполнены в Центре коллективного пользования (ЦКП) Дальневосточного геологического института ДВО РАН г. Владивостока (аналитики П.Д. Гасанова, Г.А. Горбач, Е.В. Еловский, Н.В. Зарубина, Д.С. Остапенко, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало).

### РЕШЕТНИКОВСКАЯ СВИТА ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ



**Рис. 1.** Схема расположения Лаоелин-Гродековского террейна в геологической структуре Юго-Западного Приморья (*a*), геологические карты исследованных I—4— геррейны: I— Лаоелин-Гродековский, 2— раннепалеозойского Бурея-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна), 3— раннепалеозойской активной окраины, 4— мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса; 5—II—свиты: 5— казачкинская ( $P_1kz$ ), 6— решетниковская ( $P_{1-2}rs$ ), 7—барабашская  $(P_2br)$ , 8- тальминская  $(T_4tl)$ , 9- галенковская  $(K_1gl)$ , 10- усть-суйфунская  $(N_1us)$ ; 11- четвертичные отложения (Q); 12- граниты и гранодиориты: a- среднепермские ( $\gamma P_2$ ),  $\delta-$  раннетриасовые ( $\gamma T_1$ ); 13- разломы; 14- элементы залегания; 15- конгломераты и гравелиты; 16- песчаники; 17- алевролиты районов: (б) — северная, (в) — южная части террейна, сводная стратиграфическая колонка ранне-среднепермских отложений решетниковской свиты (г). и аргиллиты.

Grodekovo, 2 - of the Early Paleozoic Bureya-Jiamusi-Khanka orogenic belt (superterrane), 3 — of the Early Paleozoic active margin, 4 — of the Mesozoic Sikhote-Alin II- Quaternary deposits (Q); I2- granites and granodiorites: a- Middle Permian ( $\gamma P_{2}$ ), b- Early Triassic ( $\gamma T_{1}$ ); I3- faults; I4- bedding elements; I5- conglomerates Fig. 1. Location scheme of the Laoeling-Grodekovo terrane in the geological structure of South-West Primorye (a); geological maps of the studied areas: (6) — northern, (e) — southern parts of the terrane; is a composite stratigraphic column of the Early-Middle Permian deposits of the Reshetnikovka formation (e). I-4- terranes: I- Laoeorogenic belt; 5-11- formations: 5- Kazachka ( $P_1kz$ ), 6- Reshetnikovka ( $P_{1-2}rs$ ), 7- Barabash ( $P_2br$ ), 8- Talmi ( $T_3t$ ), 9- Galenki ( $K_1gt$ ), 10- Ust'-Suifun ( $N_1us$ ), and gravelstones; 16—sandstones; 17—siltstones and mudstones.

# ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД И ЕГО ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Для выяснения палеогеодинамических обстановок формирования отложений решетниковской свиты, а также установления тектонических типов и состава материнских породисточников питания, был изучен состав породообразующих компонентов, тяжелых обломочных минералов, а также геохимические особенности песчаных пород свиты.

Песчаники свиты, как правило, от средне- до крупнозернистых, значительно реже встречаются мелкозернистые разности. Сортировка средняя, но в крупнозернистых разностях она ухудшается. Песчаные зерна обычно угловатоокатанные и полуокатанные, реже угловатые и окатанные, изометричные и слабо удлиненные. По содержанию и соотношению породообразующих компонентов все песчаники однотипны и относятся к полимиктовым. Содержание кварца в них изменяется от 40 до 48%. Как правило, это монокристаллические разности, изометричные или слабо удлиненные, с волнистым погасанием, происходящие из кислых эффузивов, либо поликристаллические с изрезанными лапчатыми контурами зерна, свойственные для гранитоидов. Среди полевых шпатов, содержание которых колеблется в пределах 25-37%, преобладают (65-80% всех полевых шпатов) удлиненные, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов — альбита и олигоклаза. Содержание калиевых полевых шпатов, представленных изометричными зернами пелитизированного ортоклаза и, реже, решетчатого микроклина, составляет от 12 до 30%. Основные и средние плагиоклазы крайне редки. Обломки пород, количество которых в сумме от 25 до 45% всех зерен, представлены в основном кислыми эффузивными и интрузивными породами, содержание которых в отдельных пробах достигает 45%. Значительно более редки обломки кремнистых, терригенных и метаморфических пород. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) (рис. 2*a*) песчаники образуют единое поле, локализуясь в области полевошпатовых аркозов и, в значительно меньшей мере, полевошпатовокварцевых граувакк. Таким образом, состав и соотношение породообразующих компонентов песчаников, среди которых доминирующая роль принадлежит кварцу, кислым плагиоклазам и калиевым полевым шпатам, позволяют предполагать, что исходными породами главной питающей провинции в период накопления отложений решетниковской свиты, были кислые вулканические и интрузивные породы.

Можно также предполагать, что кремнистые, терригенные и метаморфические породы, иногда составляющие заметную долю среди обломков песчаников, являются продуктом размыва фрагментов аккреционной призмы Солонкерского палеоокеана (Геодинамика..., 2006).

Палеогеологическая интерпретация результатов изучения состава и соотношения породообразующих компонентов песчаников на диаграмме Q-F-L В. Диккинсона и К. Сучека (Dickinson, Suczek, 1979), (рис. 26), предназначенной для выявления тектонических типов источников питания, показывает, что обломочный материал для отложений свиты поступал из континентальных источников — устойчивых кратонов и поднятых блоков основания, представляющих собой выступы кристаллического фундамента в обрамлении рифтовых зон или вдоль трансформных разломов. При этом, формально, фигуративные точки состава пород попадают в поля расчлененных магматических дуг и источников смешанного происхождения, объединяющего две эти области питания.

Очевидно, что определенным тектоническим типам питающих провинций соответствуют и определенные геодинамические обстановки формирования связанных с ними седиментационных бассейнов. Реконструкция палеогеодинамических обстановок накопления отложений решетниковской свиты по породообразующим компонентам песчаников осуществлялось при помощи диаграммы Q-F-L (Maynard et al., 1982) (рис. 2e), на которой фигуративные точки изученных пород наиболее полно соответствуют обстановкам бассейнов пассивных континентальных окраин, к которым относятся внутрии межконтинентальные рифты и авлакогены, и, частично, бассейнов активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам.

Проведенные в последние десятилетия исследования древних терригенных пород и современных осадков океанов и окраинных морей позволили установить, что определенный состав, содержание и соотношение между отдельными тяжелыми обломочными минералами и их ассоциациями могут служить достаточно надежными индикаторами тектонического типа, состава и относительной роли различных источников питания, поставлявших обломочный материал в бассейны осадконакопления (Малиновский, 2019; Малиновский и др., 2006; Нечаев и др., 1996; Тучкова и др., 2003; Heavy..., 2007 и др.).

Все установленные в песчаниках свиты тяжелые минералы (рис. 3*a*), с известной долей условности, разделяются на две ассоциации. В наиболее распространенную сиалическую ассоциацию, происходящую из кислых изверженных

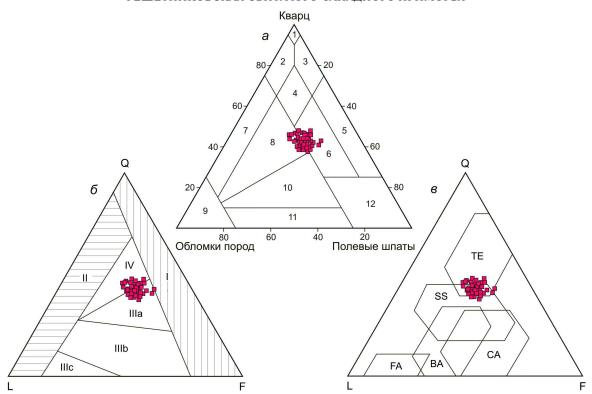
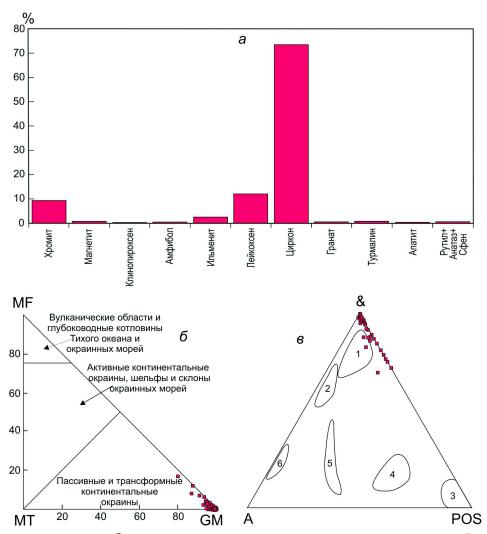


Рис. 2. Породообразующие компоненты песчаников из отложений решетниковской свиты и их палеогеодинамическая интерпретация. a — классификационная диаграмма типов песчаных пород по (Шутов, 1967). Поля типов песчаников: I — кварцевые песчаники: I — мономиктовые кварцевые, 2 — кремнекластитокварцевые, 3 — полевошпатово-кварцевые, 4 — мезомиктовые кварцевые; 5 — аркозовые песчаники: 5 — чистые или собственно аркозы; 6 — граувакковые аркозы; 7 — граувакковые песчаники: 7 — кварцевые граувакки; 8 — полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 — собственно граувакки; 10 — кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 — полевошпатовые граувакки; 12 — кристаллотуфы; 6 — типы областей питания по (Dickinson, Suczek, 1979): 1 — устойчивые кратоны и поднятые блоки основания, 11 — ремобилизованные орогены, 111 — магматические дуги (1111 — расчлененные, глубоко эродированные, 1111 — переходные, 1111 — нерасчлененные, слабо эродированные), 111 — смешанные источники питания; 1110 — типы бассейновых обстановок по (Маупагd et al., 1982). Бассейны: пассивных континентальных окраин (1111), активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (1112), сопряженные: с окраинно-континентальной магматической дугой (1113), с океанической вулканической дугой (1113), с океанической вулканической дугой (1113), 1113, 111

Fig. 2. Rock-forming components of sandstones from the Reshetnikovka formation deposits and their paleogeodynamic interpretation. a — classification diagram for the sandy rocks types (Shutov, 1967). Fields of sandstone types: I-4 — quartz sandstones: I — monomictic quartz, 2 — silicoclastic quartz, 3 — feldspar—quartz, 4 — mesomictic quartz; 5-6 — arkosic sandstones: 5 — pure or proper arcose, 6 — graywacke arkoses; 7-11 — graywacke sandstones: 7 — quartz graywackes, 8 — feldspar—quartz graywackes, 9 —graywackes proper, 10 — quartz—feldspar graywackes, 11 — feldspar graywackes; 12 — crystal tuffs; 6 — types of source provinces (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; 6 — types of basin environment (Maynard et al., 1982). Basins: passive continental margins (TE), active continental margins, complicated by strike-slip dislocations along transform faults (SS); conjugate: with the continental marginal magmatic arc (CA), with the oceanic volcanic arc (FA — fore-arc and BA — back-arc basins). L — rock fragments, Q — quartz, F — feldspars.

и метаморфических пород, входят циркон, гранат, турмалин, сфен, рутил, апатит, анатаз, а также ильменит и лейкоксен, которые, в свою очередь, могут встречаться и в основных вулканитах. В среднем сумма содержаний этих минералов составляет 75%, а в отдельных пробах достигает и 100%. Основной минерал ассоциации — циркон, содержание которого в среднем составляет 66%, а в некоторых пробах достигает 90—97%. Остальные минералы ассоциации

встречаются заметно реже: содержание турмалина, ильменита и лейкоксена лишь в отдельных пробах превышает 10%, а граната, сфена, анатаза, апатита и рутила обычно не более 3%. В фемическую ассоциацию, находящуюся в подчиненном количестве (в среднем 25%), входят минералы, происходящие из основных и ультраосновных магматических пород: хромит, магнетит, пироксен, амфибол, эпидот. Больше всего среди них хромита (в отдельных пробах до 40%), амфибола



**Рис 3.** Распределение тяжелых обломочных минералов в песчаных породах решетниковской свиты (средние содержания) (a) и их сравнение с современными осадками из различных геодинамических обстановок на диаграммах:  $\delta$  — MF-MT-GM по (Nechaev, Isphording, 1993) и  $\epsilon$  — &-A-POS по (Garzanti, Ando, 2007). Суммы содержаний (%), для (a): МF — оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; МТ — эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; GM — циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита, андалузита; для ( $\delta$ ): А — амфибола, эпидота; POS — пироксенов, оливина, хромита; & — других прозрачных минералов. Типы питающих провинций: 1 — континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); 2 — коллизионные орогены; 3 — магматические дуги: 3 — неэродированные, 4 — переходные слабоэродированные, 5 — переходные эродированные, 6 — сильноэродированные.

**Fig. 3.** Distribution of heavy clastic minerals in the sandy rocks of the Reshetnikovka formation (average content) (a) and their comparison with modern sediments from various geodynamic settings on the diagrams (%):  $\delta$  — MF-MT-GM (Nechaev, Isphording, 1993) and  $\epsilon$  — &-A-POS (Garzanti, Ando, 2007). Sum of contents for (a): MF — olivine, pyroxenes, green hornblende; MT — epidote, garnet, blue-green amphiboles; GM — zircon, tourmaline, stavrolite, distene, sillimanite and andalusite; for ( $\delta$ ): A — amphibole, epidote; POS — pyroxenes, olivine, chromite; & — other transparent minerals. Types of source provinces: l — continental blocks (cratons and marginal parts of rifts); l — collision orogens; l — magmatic arcs: l — uneroded, l — transitional weakly eroded, l — transitional eroded, l — strongly eroded.

(до 5%) и магнетита (до 4%). Остальные минералы составляют первые проценты либо находятся в знаковых количествах.

Анализ ассоциаций тяжелых минералов из песчаных пород решетниковской свиты на диаграммах MF-MT-GM и A-&-POS (Garzanti, Ando, 2007; Nechaev, Isphording, 1993) (рис. 36, 3в) свидетельствует, что основанным поставщиком обломочного материала были размывавшиеся

континентальные источники питания, представлявшие собой устойчивые кратоны и выступы кристаллического фундамента в обрамлении рифтовых зон. Судя по преобладающему содержанию в составе тяжелой фракции песчаников сиалической ассоциации минералов, эти источники были сложены преимущественно кислыми изверженными породами. Вместе с тем, присутствие среди минералов тяжелой фракции песчаников

свиты небольшого количества хромита, магнетита и амфибола, может свидетельствовать об участии в составе области питания и древних, вероятно метаморфизованных, пород основного и ультраосновного состава.

Для характеристики геохимических особенностей песчаных пород решетниковской свиты, а также дальнейшей их палеогеодинамической интерпретации, использовались частные анализы по отдельным пробам, которые сведены в таблицы 1 и 2 в виде пределов колебаний и средних содержаний петрогенных и редкоземельных элементов.

По химическому составу (табл. 1) песчаные породы свиты однородны, при этом их характерной особенностью является высокие концентрации кремнекислоты, колеблющиеся в пределах от 75.22% до 86.89%, при среднем содержании 81.58%. Вместе с тем, песчаники обладают низкими концентрациями TiO<sub>2</sub> (0.15-0.68%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6.93–13.01%), FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.29–2.60%), MgO (0.14-0.45%) и CaO (0.02-0.53%). Кроме того, для них свойственно характерное для аркозов преобладание К<sub>2</sub>О над Na<sub>2</sub>O (соответственно 1.86-4.00% и 0.68-1.61%). По классификации Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (Pettijohn et al., 1972) рис. 4а), породы наиболее полно соответствуют аркозам и, частично, субаркозам и лититовым аренитам. Об аркозовой природе песчаников свиты свидетельствуют и низкие (0.01-0.04) значения фемического модуля  $\Phi$ M=(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MnO+MgO)/SiO<sub>2</sub>, используемого для разделения граувакк и аркозов (Юдович, Кетрис, 2000), что хорошо согласуется с высоким содержанием в них кварца, а также обломков гранитоидов, кремней и других кремнесодержащих пород.

Абсолютные содержания петрогенных элементов в терригенных породах определяются как составом их обломочной части, так и уровнем их «зрелости», т.е. степенью химического выветривания материнских пород областей питания. «Зрелость» пород определяется величиной гидролизатного модуля ГМ=(Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+TiO<sub>2</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MnO)/SiO<sub>2</sub> (Юдович, Кетрис, 2000). В песчаниках свиты значения модуля невелики (0.08-0.21), что свидетельствуют о значительной степени зрелости пород свиты и, соответственно, о высокой роли химического выветривания в областях размыва. О значительной степени выветрелости исходных пород свидетельствуют и достаточно высокие (61-71) значения индекса химического изменения  $CIA=[Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)]\times 100$ (Nesbitt, Young, 1982), а также низкие (23-48) величины индекса выветривания WIP=  $=100\times(2\times Na_{2}O/0.35+MgO/0.9+2\times K_{2}O/0.25+CaO/0.7)$ (Parker, 1970). Все это, в целом, свидетельствует о преобладании в составе палеоводосборов геохимически «зрелых», в значительной степени выветрелых материнских пород (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) (рис.  $4\delta$ ).

По содержанию и характеру распределения редких и редкоземельных элементов песчаники решетниковской свиты близки между собой (табл. 2). Суммарные содержания РЗЭ в них относительно

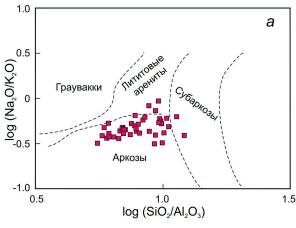
**Таблица 1.** Содержание петрогенных элементов в песчаных породах решетниковской свиты Лаоелин-Гродековского террейна (вес. %)

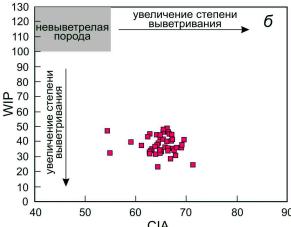
**Table 1.** Content of petrogenic elements in sandy rocks of the Reshetnikovka formation of the Laoeling-Grodekovo terrane (wt %).

n	42
	75.22-86.89
SiO <sub>2</sub>	81.58
_	0.15-0.68
TiO <sub>2</sub>	$\frac{0.15 - 0.08}{0.35}$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.93-13.01
	10.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05-1.61
	0.60
FeO	0.30-0.96
	0.56
MnO	0.02-0.06
	0.01
MgO	0.14 - 0.45
	0.28
CaO	0.02 - 0.53
	0.14
Na <sub>2</sub> O	0.68-1.61
	1.33
K <sub>2</sub> O	1.86-4.00
	2.85
$P_2O_5$	0.02-0.05
	0.05
H <sub>2</sub> O п.п.п. ГМ	0.15-0.56
	0.29
	0.48-2.27
	1.47 0.08-0.21
	$\frac{0.08-0.21}{0.15}$
ФМ	0.01-0.04
	$\frac{0.01 - 0.04}{0.02}$
TM	0.019-0.045
	$\frac{0.019 - 0.045}{0.033}$
ЖМ	0.04-0.21
	0.11
НКМ	0.32-0.62
	0.41
CIA	61–71
	65
WIP	23-48
	38
	·

Примечание. n — количество анализов. В числителе — минимальное и максимальное значение, в знаменателе — среднее.

Note. n is the number of analyzes. The numerator is the minimum and maximum values, the denominator is the average.





**Рис. 4.** Классификационная диаграмма  $\log(\mathrm{Na_2O/K_2O}) - \log(\mathrm{SiO_2/Al_2O_3})$  по (Pettijohn et al., 1972) (*a*) и диаграмма степени химического выветривания CIA—WIP по (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) (*б*) для песчаных пород решетниковской свиты. Объяснение размерности коэффициентов см. в тексте.

**Fig. 4.**  $\log(\mathrm{Na_2O/K_2O}) - \log(\mathrm{SiO_2/Al_2O_3})$  classification diagram (Pettijohn et al., 1972) (a) and CIA-WIP chemical weathering degree diagram (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) ( $\delta$ ) for sandy rocks of the Reshetnikovka formation. See the text for an explanation of the dimensionality of the coefficients.

невелики и варьируют от 90 до 179 г/т. Спектры их распределения, нормализованные к составу хондрита (Boynton, 1984) (рис. 5), во всех изученных пробах однотипны и характеризуются нормальными трендами распределения с умеренной степенью фракционирования и сравнительно невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ( $\text{La}_{N}/\text{Yb}_{N}$ =4.61-13.66). Помимо этого, спектры характеризуются хорошо выраженной отрицательной европиевой аномалией (Eu/Eu\* от 0.48 до 0.79). По сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (РААЅ), принятым за средний состав верхней континентальной коры (Taylor, McLennan, 2009), породы незначительно обеднены всеми элементами (до 2.4 раза) и лишь в отдельных пробах Sm, Eu, Gd, Tm и Lu находятся

**Таблица 2.** Содержание редкоземельных элементов в песчаных породах решетниковской свиты Лаоелин-Гродековского террейна (г/т)

**Table 2.** Contents of rare earth elements in sandy rocks of the Reshetnikovka formation of the Laoeling-Grodekovo terrane (ppm)

	Ĭ
n	42
La	16.92-44.56
	25.72
Ce	38.30-86.47
	63.56
Pr	3.84-9.00
	5.92
Nd	14.34-33.76
	21.58
Sm	2.94-6.58
	4.37
Eu	0.60-1.33
	0.91
Gd	1.51-6.07
Ga	2.95
Th	0.29-0.93
Tb	0.48
Dy	1.80-4.44
	2.73
Но	0.36-1.02
	0.57
Er	0.93-2.65
	1.67
Tm	0.16-0.48
	0.28
Yb	1.00-3.00
	1.87
Lu	0.13-0.52
	0.30
[La/Yb]n	4.81-13.66
	8.81
Eu/Eu*	0.48 - 0.79
	0.69

Примечание. n — количество анализов. В числителе — минимальное и максимальное значение, в знаменателе — среднее.

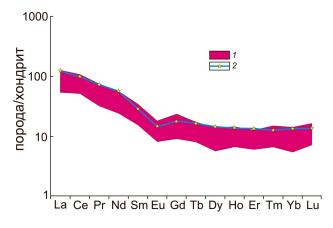
Note. n is the number of analyzes. The numerator is the minimum and maximum values, the denominator is the average.

в равных либо незначительно более высоких концентрациях.

Палеогеодинамическая интерпретация полученных данных по геохимическому составу песчаных пород решетниковской свиты осуществлена при помощи ряда широко известных дискриминантных диаграмм, позволяющих выявить различные типы областей питания и геодинамических обстановок формирования отложений (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Cullers, 2002; Floyd, Leveridge, 1987; Maynard et al., 1982; Roser, Korsch, 1986, 1988 и др.).

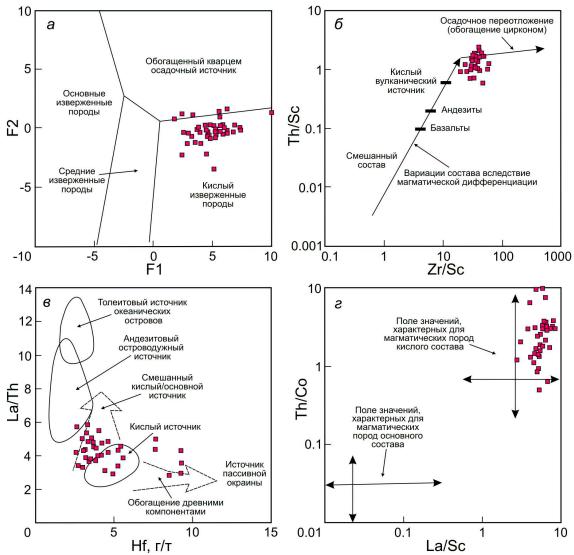
Положение фигуративных точек химического состава песчаных пород решетниковской свиты на диаграмме F1-F2 (Roser, Korsch, 1988) (рис. 6*a*),

### РЕШЕТНИКОВСКАЯ СВИТА ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ



**Рис. 5.** Спектры распределения РЗЭ, нормированные к хондриту, по (Boynton, 1985), в песчаных породах решетниковской свиты и сопоставление их с PAAS (Taylor, McLennan, 2009). 1 — песчаники; 2— PAAS.

**Fig. 5.** REE distribution spectra normalized to chondrite (Boynton, 1984) in sandy rocks of the Reshetnikovka formation and their comparison with PAAS (Taylor, McLennan, 2009). *1*—sandstones; *2*—PAAS.



**Рис. 6.** Вероятные источники питания для песчаных пород решетниковской свиты по геохимическим данным на диаграммах: a — F1–F2 по (Roser, Korsch, 1988). F1 =  $30.638 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $12.541 \times \text{Fe}_2\text{O}_3*/\text{Al}_2\text{O}_3$  + + 7.329×MgO/Al $_2\text{O}_3$  +  $12.031 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $35.402 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6.382; F2 =  $56.5 \times \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $10.879 \times \text{Fe}_2\text{O}_3*/\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $30.875 \times \text{MgO/Al}_2\text{O}_3$  –  $5.404 \times \text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $11.112 \times \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3.89;  $\delta$  — Th/Sc–Zr/Sc по (McLennan et al., 1993);  $\delta$  — Hf–La/Th по (Floyd, Leveridge, 1987);  $\delta$  — La/Sc–Th/Co по (Cullers, 2002).

**Fig. 6.** Probable sources of supply for sandy rocks of the Reshetnikovka formation according to geochemical data on the diagrams: a - F1-F2 (Roser, Korsch, 1988). F1 = 30.638×TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 12.541×Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 7.329×MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 12.031×Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 35.402×K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6.382; F2 = 56.5×TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10.879×Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 30.875×MgO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5.404×Na<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 11.112×K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3.89;  $\delta - \text{Th/Sc-Zr/Sc}$  (McLennan et al., 1993);  $\varepsilon - \text{Hf-La/Th}$  (Floyd, Leveridge, 1987);  $\varepsilon - \text{La/Sc-Th/Co}$  (Cullers, 2002).

предназначенной для распознавания состава материнских пород питающих провинций, свидетельствует о преобладании в составе этих провинций кислых изверженных пород, при незначительном участии обогащенных кварцем осадочных образований.

Полученные выводы хорошо согласуются с положением точек состава РЗЭ на диаграммах Hf-La/Th, Zr/Sc-Th/Sc и La/Sc-Th/Co (Cullers, 2002; Floyd, Leveridge, 1987; McLennan et al., 1993) (рис. 66– $\epsilon$ ), где они локализуются в полях, показывающих, что основным источником обломочного вещества были кислые магматические породы, при незначительной доле участия продуктов размыва смешанных источников, в состав которых входили, вероятно, средние вулканиты и обогащенные кварцем и цирконом древние осадочные породы.

О составе материнских пород областей питания можно судить по величине ряда литохимических модулей (Юдович, Кетрис, 2000). В песчаниках решетниковской свиты размеры титанового ТМ=ТіО<sub>2</sub>/АІ<sub>2</sub>О<sub>3</sub> и железного  $\mathbf{W}\mathbf{M} = (\mathbf{Fe_2O_3} + \mathbf{FeO} + \mathbf{MnO})/(\mathbf{TiO_2} + \mathbf{Al_2O_3})$  модулей невелики (0.019-0.045 и 0.04-0.21 соответственно), что объясняется преобладанием в составе областей палеоводосборов кислых изверженных пород, обладающих, в свою очередь, низкими значениями ТМ и ЖМ. Повышенные (0.32-0.62) значения в песчаниках модуля нормированной щелочности НКМ=(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> связано с широким развитием в них слюд, полевых шпатов, в том числе калиевых, а также обломков гранитоидов, которым также свойственны высокие значения НКМ.

Генетическая интерпретация геохимического состава песчаных пород решетниковской свиты осуществлена с использованием серии дискриминантных диаграмм (рис. 7). На диаграммах М. Бхатия и А. Крука (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986) (рис. 7а-е), применяющихся для разграничения песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок, песчаники свиты попадают, либо приближаются к полям осадочных бассейнов пассивных континентальных окраин.

Еще более определенно обстановки пассивных окраин интерпретируются на диаграмме Б. Роузера и К. Корша (Roser, Korsch, 1986) (рис.  $7 \infty$ ), на которой уже все точки состава песчаных пород компактно группируются в поле бассейнов, связанных с этой геодинамической обстановкой. На диаграмме DF1-DF2, предназначенной для интерпретации состава пород с высоким содержанием кремнезема (SiO<sub>2</sub>>63%) (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) (рис. 7 3), точки состава ложатся в поле рифтогенных обстано-

вок, т.е. бассейнов, связанных с рифтовыми (пассивными) континентальными окраинами атлантического типа. В целом же, интерпретация геохимического состава пород свиты свидетельствует об их формировании в обстановках, соответствующих бассейнам пассивных континентальных окраин, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены.

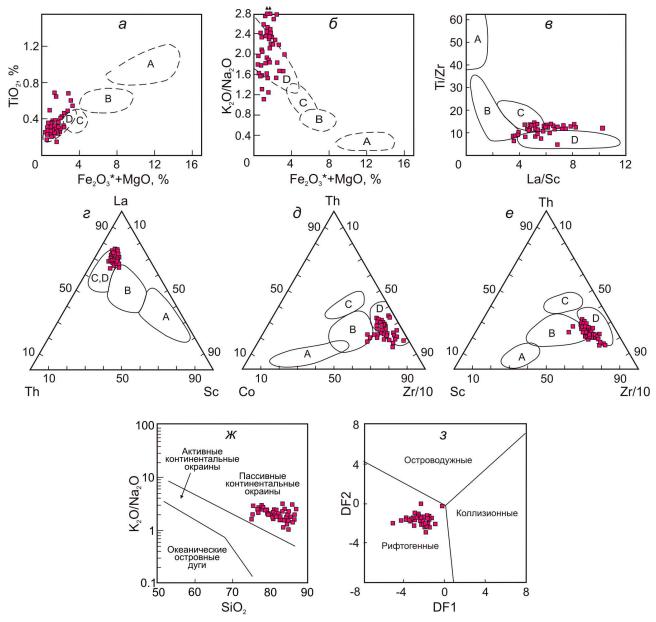
### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и интерпретация данных, полученных при изучении вещественного состава песчаных пород ранне-среднепермской решетниковской свиты юго-западной части Приморского края, позволили воссоздать геодинамическую обстановку формирования отложений свиты, а также определить тектонический тип и породный состав областей их питания.

Установлено, что по своим параметрам песчаники свиты соответствуют аркозам и являются петрогенными породами, формирование которых происходило за счет размыва геохимически «зрелых», в значительной степени выветрелых материнских пород.

Судя по преобладанию в песчаниках свиты сиалической ассоциации тяжелых минералов, высокому содержанию кварца и кремнекислоты, преобладанию К<sub>2</sub>О над Na<sub>2</sub>O, заметной обогащенности легкими РЗЭ по сравнению с тяжелыми, отчетливо выраженной отрицательной Еи аномалии, а также положению точек состава пород на дискриминационных диаграммах, отложения формировались, главным образом, за счет размывавшихся континентальных источников питания: кратонов и поднятых блоков основания, представлявших собой выступы кристаллического фундамента в обрамлении рифтовых зон. Основным источником поступления вещества были кислые изверженные породы, при незначительном участии средних вулканитов и осадочных пород, обогащенных древними обломочными компонентами. Вместе с тем, присутствие в песчаниках свиты небольшого количества фемических тяжелых минералов указывает на участие в строении областей сноса и пород основного и ультраосновного состава.

В целом, анализ и палеогеодинамическая интерпретация всей совокупности полученных в процессе исследования данных свидетельствуют о том, что в ранне- среднепермское время седиментация происходила в бассейнах, связанных с обстановкой пассивной континентальной окраины, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены.



**Рис. 7.** Палеогеодинамические обстановки формирования отложений решетниковской свиты на основании интерпретации геохимических данных на диаграммах, определяющих: a-e — типы седиментационных бассейнов по (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных с: океаническими (А) и континентальными (В) островными дугами, активными (С) и пассивными (D) континентальными окраинами.  $Fe_2O_3^*$  — общее железо;  $\mathcal{M}$  — бассейновые обстановки по (Roser, Korsch, 1986);  $\mathbf{3}$  — возможные типы геодинамических обстановок для высококремнистых пород по (Verma, Armstrong-Altrin, 2013).  $DF1 = -0.263 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.604 \times \ln(\text{Al}_2O_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.725 \times \ln(\text{Fe}_2O_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.666 \times \ln(\text{MnO/SiO}_2)_{\text{adj}} + 2.191 \times \ln(\text{MgO/SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.144 \times \ln(\text{CaO/SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.304 \times \ln(\text{Na}_2O/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.054 \times \ln(\text{K}_2O/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.33 \times \ln(\text{Fe}_2O_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.588; \ DF2 = -1.196 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.064 \times \ln(\text{Al}_2O_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.303 \times \ln(\text{Fe}_2O_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.436 \times \ln(\text{MnO/SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.838 \times \ln(\text{MgO/SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.407 \times \ln(\text{CaO/SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.021 \times \ln(\text{Na}_2O/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.706 \times \ln(\text{K}_2O/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.126 \times \ln(\text{P}_2O_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.068.$ 

**Fig. 7.** Paleogeodynamic settings of the formation of deposits of the Reshetnikovka formation based on the interpretation of geochemical data on diagrams defining: a-e- types of sedimentary basins (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Fields of values of geochemical parameters of ancient sandstones from basins related to: oceanic (A) and continental (B) island arcs, active (C) and passive (D) continental margins. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* — total iron;  $\infty$  — basins settings (Roser, Korsch, 1986); 3 — possible types of geodynamic settings for rocks with high SiO<sub>2</sub> content (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). DF1= $-0.263 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.604 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.725 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.66 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 2.191 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.144 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.304 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.054 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.33 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.588; \text{ DF2} = -1.196 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.064 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.303 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.436 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.838 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.407 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.021 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.706 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.126 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.068.$ 

### Список литературы [References]

- Бураго 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 permi Yugo-Zapadnogo Primoria // Novye dannye po biostratigrafii paleozoya i mezozoya yuga Dal'nego Vostoka. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1990. P. 81—102 (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)].
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 [Geodinamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East. Ed. A.I. Khanchuk, Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. P. 1–572 (in Russian)].
- Голозубов В.В., Ханчук А.И. Хейлунцзянский комплекс фрагмент юрской аккреционной призмы в тектонических окнах перекрывающей континентальной плиты: модель плоской субдукции // Тихоокеанская геология. 2021. Т. 40. № 4. С. 3—17. https://doi.org/10.30911/0207-4028-2021-40-4-3-17 [Golozubov V.V., Khanchuk A.I. The Heilongjiang complex as a fragment of a Jurassic accretionary wedge in the tectonic windows of the overlying plate: a flat slab subduction model // Russian Journal of Pacific Geology. 2021. V. 15. Iss. № 4. P. 279—292. https://doi.org/10.1134/S1819714021040047].
- Зимина В.Г. Флора ранней и начала поздней перми Южного Приморья. М.: Наука, 1977. 127 с. [Zimina V.G. Flora rannej i nachala pozdnej permi Yuzhnogo Primoria. Moscow: Nauka, 1977. 127 p. (in Russian)].
- Конюхов А.И. Осадочные формации в зонах перехода от континента к океану. М.: Недра, 1987. 222 с. [Konyukhov A.I. Osadochny'e formaczii v zonakh perekhoda ot kontinenta k okeanu. Moscow: Nedra. 1987. 222 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. Midijskie (vordsko-keptenskie) tranzitnye 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 massift geochemical correlation, sourcelands, 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. Источники питания и обстановки формирования кайнозойских отложений Западно-Сахалинского террейна по результатам изучения тяжелых обломочных минералов // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2019. № 3. Вып. 43. С. 5—25. https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-5-25 [Malinovsky A.I. Source areas and geodynamic settings of Cenozoic deposits of the West Sakhalin terrane by the results of studing of heavy detrital minerals // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2019. № 3(43). Р. 5—25 (in Russian)].
- Малиновский А.И. Геохимические особенности и палеогеодинамические обстановки накопления пермских и триасовых отложений юга Лаоелин-Гродековского террейна (Приморье) // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2021. № 4. Вып. 52. С. 46—60. https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-4-52-46-60 [Malinovsky A.I. Geochemical features and paleogeodynamic settings of Permian and Triassic deposits accumulation in the south of the Laoelin-Grodekovo terrane (Primorye) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2021. № 4(52). P. 46—60 (in Russian)].
- 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. № 2. Вып. 8. 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). Р. 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].
- Нечаев В.П., Маркевич П.В., Малиновский А.И. и др. Геодинамические обстановки накопления меловых отложений Нижнего Приамурья по ассоциациям тяжелых минералов // Тихоокеанская геология. 1996. Т. 15. № 3. С. 14—24 [Nechaev V.P., Markevich P.V., Malinovsky A.I. et al. Geodynamic Setting for Accumulation of Cretaceous Deposits in the Lower Amur Region Based on Heavy Mineral Assemblages // Tikhookeanskaya Geologia. 1996. № 3. Р. 14—24 (in Russian)].
- 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 Nordwest Asia // Tikhookeanskaya Geologia. 2003. V. 22. № 6. Р. 7—41 (in Russian)].
- Тучкова М.И. Терригенные породы древних континентальных окраин (Большой Кавказ и Северо-Восток России). Труды ГИН. Вып. 600. М.: LAP,

- 2011. 365 c. [*Tuchkova M.I.* Terrigeneous rocks ancient continental margins (Great Caucasus and North-Western Russia). Transactions of Geological Institute. V. 600. Moscow: LAP, 2011. 365 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 косks of the Penzhina bay: mineralogy, petrography, and geodynamic sedimentation conditions // Litologia i Poleznye Iskopaemye. 2003. V. 38. № 3. Р. 197—208 (in Russian)].
- Ханчук А.И., Аленичева А.А., Голозубов В.В. и др. Ханкайский массив: гетерогенность фундамента и региональные корреляции // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 4. С. 3—22. https://doi.org/10.30911/0207-4028-2022-41-4-3-22 [Khanchuk A.I., Alenicheva A.A., Golozubov V.V. et al. The Khanka massif: the heterogeneity of its basement and regional correletions // Russian Journal of Pacific Geology. 2022. V. 41. Iss. 4. P. 3—22. https://doi.org/10.1134/s1819714022040042].
- *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)].
- *Юдович Я.Э., Кетрис 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. 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. P. 181–193. https://doi.org/10.1007/BF00375292
- Boynton 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
- *Dickinson W.R.*, *Suczek C.A.* Plate tectonics and sandstone composition // The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182.

- 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. 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.
- Heavy Minerals in Use. Developments in Sedimentology / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. 1283 p.
- Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-forearc geology: Sedimentation and tectonics on modern and ancient active plate margins / Ed. J.K. Leggett. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1982. Pt 2. P. 551–61.
- McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geological Society of America. I993. Special Paper 284. P. 21–40. https://doi.org/10.1130/SPE284-p21
- 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 SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 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 sandstonemudstone 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
- *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.
- The Central Asian orogenic belt: geology, evolution, tectonics and models / Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntaeger 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

#### МАЛИНОВСКИЙ

## RESHETNIKOVKA FORMATION OF SOUTH-WESTERN PRIMORYE — FRAGMENT OF THE LATE PALEOZOIC PASSIVE CONTINENTAL MARGIN DEPOSITS

### A.I. Malinovsky

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

Received October 02, 2023; revised January 06, 2024; accepted March 25, 2024

The results of mineralogical and geochemical studies of terrigenous rocks of the Early-Middle Permian Reshetnikovka formation in the southwestern part of Primorsky Krai are considered. Based on the data obtained, conclusions are drawn about the geodynamic nature of the deposits, and the main sources of clastic matter are determined. It has been found that, in terms of their parameters, the sandstones of the formation correspond to arkoses and are petrogenic rocks that were formed by of geochemically "mature", largely weathered parent rocks of sources areas. Judging by the mineralogical and geochemical features of sandy rocks, as well as the position of their composition points on discriminant diagrams, in the Early-Middle Permian time sedimentation took place in basins associated with the passive continental margin. These basins were intra- and intercontinental rifts and aulacogens. The sedimentation was mainly influenced by continental sources of supply — cratons and uplifted crystalline basement blocks, which framed rift zones. Acidic igneous rocks were eroded with minor participation of ancient sedimentary formations.

Keywords: Reshetnikovka formation, Permian, source areas, formation settings, Primorye.