

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ НАКОПЛЕНИЯ ПЕРМСКИХ И ТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ПРИМОРЬЕ)

© 2021 А.И. Малиновский

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

Представлены новые геохимические данные по позднепалеозойским и раннемезозойским песчаным породам южной части Лаоелин-Гродековского террейна Юго-Западного Приморья. Показано, что отложения террейна существенно различаются по геохимическим параметрам: песчаники барабашской и мангугайской свит наиболее соответствуют грауваккам, казачкинской — лититовым ареникам, а решетниковской — аркозам. Породы характеризуются довольно высокой степенью зрелости терригенного материала и содержат в составе обломочной части преимущественно фрагменты кислых магматических пород. Обобщение и интерпретация полученных геохимических данных осуществлялось на основе их сравнения с составами современных осадков и древних отложений, накопившихся в известных геодинамических обстановках. Результаты исследований, в целом, позволяют предполагать формирование отложений террейна в бассейне, связанном с обстановкой трансформного скольжения литосферных плит. Основным источником обломочного вещества были размывавшиеся кислые изверженные породы, к которым примешивалась незначительная доля продуктов разрушения основных-средних вулканитов и обогащенных древними компонентами осадочных пород.

*Ключевые слова: Лаоелин-Гродековский террейн, геохимия, песчаники, источники питания, геодинамические обстановки.*

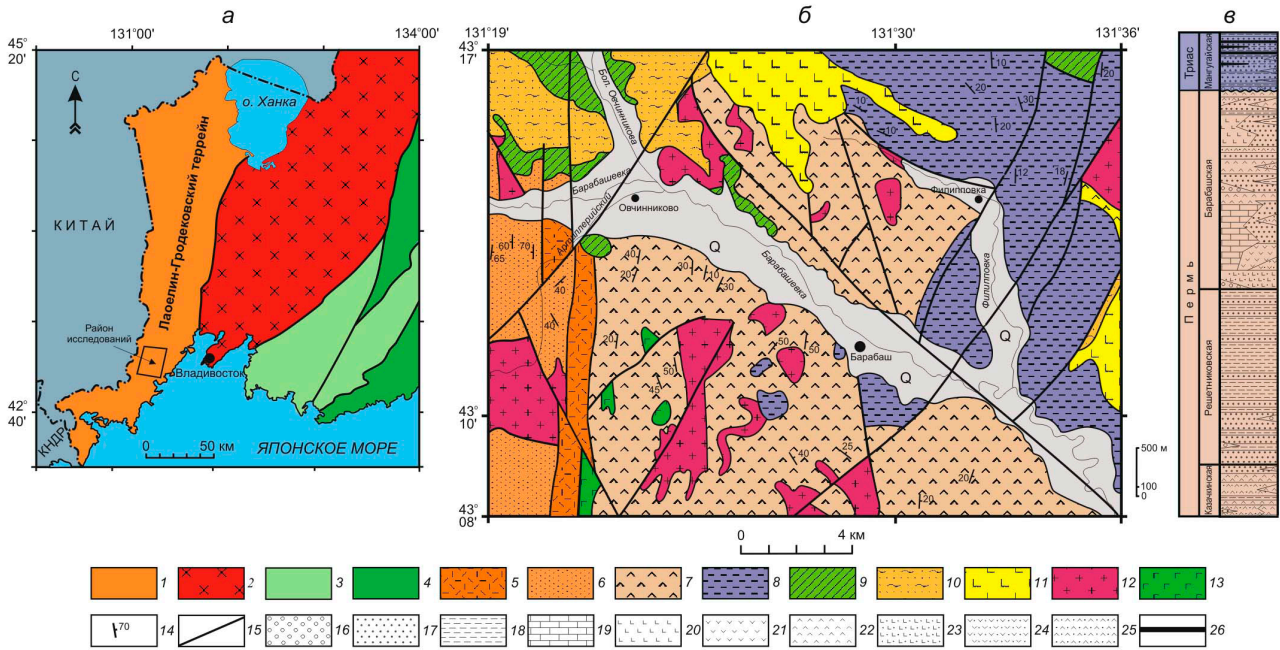
Изучение геохимических особенностей терригенных пород, принимающих участие в строении осадочных бассейнов, фрагменты которых устанавливаются в террейнах древних орогенных поясов, расположенных на восточной окраине Азиатского континента, имеет важнейшее значение для реконструкции геодинамических обстановок их формирования, а также для выяснения тектонических типов и породного состава питающих провинций (Летникова и др., 2011; Малиновский, 2018; Маслов и др., 2016; Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Cullers 2002; Floyd, Leveridge, 1987; Maynard et al., 1982; Roser, Korsch, 1986 и др.). Значимость детальных геохимических исследований терригенных пород с целью их дальнейшей палеогеодинамической интерпретации особенно возросла с появлением современных высокоточных аналитических методов и достаточно достоверных методик интерпретации полученных результатов.

Выделяющийся вдоль юго-западного ограничения Приморья Лаоелин-Гродековский террейн

(рис. 1) является одной из важнейших тектонических структур восточной части Евразийского континента и рассматривается как фрагмент позднепалеозойской-раннемезозойской активной окраины (Геодинамика..., 2006).

Настоящее исследование основано на оригинальном материале, полученном при изучении геохимического состава терригенных пород из пермских и верхнетриасовых образований, развитых в южной части террейна. Следует отметить, что отложения обнажаются лишь фрагментарно, из-за чего их литологическая изученность, несмотря на более чем вековую историю исследований, остается крайне слабой. Вещественный состав терригенных пород практически не изучен, а каких-либо устоявшихся представлений о геодинамической природе и источниках питания отложений не существует (Геодинамика..., 2006; Изосов и др., 2016; Ханчук и др., 1995).

Данная работа посвящена изучению особенностей геохимического состава песчаных пород



**Рис. 1.** Схема расположения Лаоелин-Гродековского террейна в геологической структуре Южного Приморья (а), геологическая карта (б) и литолого-стратиграфическая колонка (в) района распространения палеозойских-раннемезозойских образований южной части террейна: 1 — Лаоелин-Гродековский террейн; 2–4 — террейны: 2 — раннепалеозойского Бурей-Ханкайского орогенного пояса, 3 — раннепалеозойской активной окраины, 4 — мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса; 5–11 — свиты: 5 — казачкинская (P<sub>1</sub>); 6 — решетниковская (P<sub>1-2</sub>); 7 — барабашская (P<sub>2</sub>); 8 — мангугайская (T<sub>3</sub>), 9 — галёнковская (K<sub>1</sub>); 10 — угловская (P<sub>2</sub>); 11 — шуфанская (N<sub>1-2</sub>); 12 — граниты и гранодиориты (P<sub>2</sub>); 13 — габбро-диабазы (P<sub>2</sub>); 14 — элементы залегания; 15 — разломы; 16 — конгломераты и гравелиты; 17 — песчаники; 18 — алевролиты и аргиллиты; 19 — известняки; 20 — базальты; 21 — андезиты; 22 — дациты и риолиты; 23–25 — туфы и туффиты: 23 — основного, 24 — среднего, 25 — кислого состава; 26 — угли.

**Fig. 1.** Schematic location of the Laeoling-Grodekovo terrane in the geological structure of Southern Primorye (a), geological map (b) and lithologic and stratigraphic column (v) in the distribution area of the Paleozoic-Early Mesozoic formations of the southern part of the terrane: 1 — Laeoling-Grodekovo terrane; 2–4 — terranes: 2 — of the Early Paleozoic Bureya-Khanka orogenic belt, 3 — of the Early Paleozoic active margin, 4 — of the Mesozoic Sikhote-Alin orogenic belt; 5–12 — formations: 5 — Kazachka (P<sub>1</sub>), 6 — Reshetnikovka (P<sub>1-2</sub>), 7 — Barabash (P<sub>2</sub>), 8 — Mangugai (T<sub>3</sub>), 9 — galenki (K<sub>1</sub>), 10 — uglovka (P<sub>2</sub>), 11 — shufan (N<sub>1-2</sub>); 12 — granites and granodiorites (P<sub>2</sub>); 13 — gabbro diabase (P<sub>2</sub>); 14 — bedding elements; 15 — faults; 16 — conglomerates and gravelstones; 17 — sandstones; 18 — siltstones and mudstones; 19 — limestones; 20 — basalts; 21 — andesites; 22 — dacites and rhyolites; 23–25 — tuffs and tuffites: 23 — basic, 24 — medium, 25 — acidic composition; 26 — coals.

из отложений южной части Лаоелин-Гродековского террейна, генетическая интерпретация которых позволяет достаточно уверенно установить палеогеодинамическую природу бассейнов седиментации, а также определить основные источники обломочного вещества.

### ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Лаоелин-Гродековский террейн расположен в юго-западной части Приморского края, образуя узкий (шириной до 80 км) блок, вытянутый на 300 км вдоль границы с Китаем и частично располагающийся на его территории (рис. 1). Совместно с раннепалеозойскими террейнами Бурей-Ханкайского орогенного пояса он составляет западное обрамление позднемезозойского Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинского орогенного пояса (Гео-

динамика..., 2006). Террейн представляет собой складчатую структуру, состоящую из мозаики разновозрастных блоков, сложенных нижнесилурийскими и пермскими терригенными и вулканогенными образованиями, пронизанными позднепермскими и раннетриасовыми гранитоидными интрузиями. Сложнодислоцированные палеозойские толщи с угловым несогласием перекрыты позднепермскими терригенными, часто угленосными отложениями.

Участвующие в строении южной части террейна пермские и триасовые вулканогенные и осадочные образования имеют общую мощность до 5000 м и расчленены на казачкинскую (P<sub>1</sub>), решетниковскую (P<sub>1-2</sub>), барабашскую (P<sub>2</sub>) и мангугайскую (T<sub>3</sub>) свиты.

Раннепермская казачкинская свита сложена преимущественно риолитами, риодацитами, дацитами и их туфами, туфобрекчиями, и лишь в

самой верхней ее части присутствуют горизонты аргиллитов, алевролитов и песчаников. Мощность отложений свиты не превышает 600 м. Ранне-среднепермская решетниковская свита имеет наиболее широкое распространение как на юге, так и на севере террейна. Нижняя ее часть состоит из песчаников с прослоями и линзами алевролитов, аргиллитов, гравелитов и конгломератов, а верхняя — в основном из алевролитов и аргиллитов, содержащих редкие прослои мелкозернистых песчаников. Мощность свиты до 1800 м. Наиболее характерной особенностью отложений среднепермской барабашской свиты является пестрота литологического состава, а также частая смена вулканогенных образований терригенными и наоборот, что обуславливает значительное колебание ее суммарной мощности — от 850 до 2100 м. Свита сложена базальтами, андезитами, риолитами, туфами этих пород, туфобрекчиями кислого и среднего состава, туффитами, песчаниками, алевролитами, прослоями и линзами конгломератов и известняков. В основании позднепермской мангугайской свиты залегают конгломераты и гравелиты, с размывом перекрывающие все подстилающие пермские вулканогенные и осадочные образования. В составе свиты преобладают разнозернистые песчаники, содержащие прослои и линзы алевролитов, аргиллитов, конгломератов, туфов среднего и кислого состава, пласты углей и углистых пород, как правило, приуроченных к верхней части свиты. Общая мощность отложений свиты оценивается в 380–550 м.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геохимические исследования терригенных пород Лаоелин-Гродековского террейна выполнены на основе оригинальной коллекции образцов, собранных в 2020 г. из всех изученных стратиграфических подразделений южной части террейна. Объектами для детальных исследований были выбраны песчаные породы, поскольку они несут наиболее объективную информацию о геодинамических обстановках накопления отложений, а также о типе и породном составе питающих провинций. Каменный материал отобран из естественных обнажений, располагающихся на берегах рек и ручьев, а также в искусственных карьерах и вдоль автомобильных дорог. Для аналитических исследований отбирались образцы пород, наименее затронутые вторичными преобразованиями, что контролировалось петрографическими наблюдениями. Петрографический состав и структуры песчаных пород исследовались в шлифах с использованием поляризационных микроскопов МИН-8 (ЛОМО, Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Герма-

ния). Содержание петрогенных оксидов в породах определялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Electron Corporation, США). Определение содержаний редких и редкоземельных элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 (Agilent Techn., США). Все исследования выполнены в лаборатории аналитической химии Аналитического центра (ЦКП) Дальневосточного геологического института ДВО РАН г. Владивостока (аналитики Г.А. Горбач, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало, Д.С. Остапенко, Е.В. Еловский, Н.В. Зарубина).

### СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

Поскольку геохимические особенности песчаников во многом определяются их петрографическим составом, приведем краткое его описание.

Песчаники казачкинской свиты крупнозернистые, иногда грубозернистые и даже гравелистые, обладают слабой либо средней степенью сортированности обломочного материала. Зерна угловато-окатанные, реже окатанные и угловатые, в основном изометричные. Цемент занимает до 35% всего объема пород, по структуре обычно поровый и пленочный, редко базальный, по составу глинисто-сланцевый, слюдиисто-хлоритовый. Обломочная часть песчаников, вследствие большой размерности кластики, состоит в основном из обломков недезинтегрированных пород: терригенных (20–32%), кремнистых (6–10%), кислых и средних эффузивных (14–24%), сланцев и кварцитов (до 10%). Суммарное их содержание составляет 59–68%. В связи с этим содержания кварца низки и колеблются в пределах 18–23%. Полевых шпатов 16–20%, среди них резко преобладают кислые плагиоклазы. Основные и средние плагиоклазы, а также калишпаты редки. По классификации В.Д. Шутова (1967) песчаники свиты относятся к полевошпатово-кварцевым грауваккам, фактически не отражая их истинный петрографический состав, что будет в дальнейшем показано при рассмотрении их геохимических особенностей.

Среди песчаников решетниковской свиты преобладают средне-крупнозернистые разновидности. Породы имеют слабую либо среднюю степень сортированности обломочного материала, которая ухудшается по мере увеличения зернистости. Зерна обычно угловато-окатанные и полуокатанные, реже угловатые и окатанные, чаще всего изометричной формы. Цемент занимает 5–15% объема пород, обычно порово-пленочный,

реже базальный и регенерационный, по составу кремнисто-слюдистый и слюдисто-хлоритовый. В обломочной части пород преобладают зерна кварца, содержание которого колеблется от 37 до 47%. Он представлен как слабо окатанными монокристаллическими разностями с волнистым погасанием, происходящими из кислых эффузивных пород, так и поликристаллическими разновидностями с изрезанными лапчатыми контурами, характерными для древних гранитоидов. Полевых шпатов в песчаниках от 25 до 37%. Это, в основном, вытянутые, таблитчатые, реже изометричные зерна кислых плагиоклазов — альбита и олигоклаза (65–80% всех полевых шпатов). Содержание калиевых полевых шпатов колеблется в пределах 12–30%. Это преимущественно изометричные пелитизированные зерна ортоклаза, значительно реже встречается решетчатый микроклин. Основные и средние плагиоклазы крайне редки. Среди обломков пород, в сумме составляющих 22–32%, в основном встречаются гранитоиды, метаморфические и кислые эффузивные породы. Обломки кремнистых и терригенных пород более редки. По петрографической классификации (Шутов, 1967), песчаники свиты соответствуют полевошпатовым аркозам и, частично, полевошпатово-кварцевым грауваккам.

Песчаники барабашской свиты средние и крупнозернистые, редко мелкозернистые, в основном со средней либо слабой сортированностью обломочного материала. Зерна угловато-окатанные и угловатые, реже окатанные. Цемент порово-пленочный, глинисто-серицитовый, иногда глинисто-железистый. Кварца в породах свиты от 28 до 35% всех обломков. Встречаются как чистые монокристаллические остроугольные либо слабо окатанные зерна эффузивного кварца, так и поликристаллические с лапчатыми контурами зерна, характерные для гранитоидов. Полевых шпатов в песчаниках 34–44%. Это преимущественно альбит и олигоклаз (62–83%). Зерна плагиоклазов обычно вытянутые, таблитчатые, реже изометричные. Калишпатов до 25% от всех плагиоклазов: то в основном ортоклаз и, редко, микроклин. Основные и средние плагиоклазы малочисленны. Обломки пород, составляя 25–33% всех зерен, представлены в основном средними и кислыми эффузивными и интрузивными и, гораздо реже, терригенными, кремнистыми и метаморфическими породами. По В.Д. Шутову (1967) песчаники свиты относятся к кварцево-полевошпатовым грауваккам, приближаясь к полевошпатово-кварцевым грауваккам.

Песчаники мангугайской свиты разнозернистые, со слабой либо средней степенью сортированности и окатанности обломочного

материала. Цемент, занимающий 5–20% объема пород, порово-пленочный, редко базальный, по составу глинисто-серицитовый, глинисто-карбонатный, иногда железистый. Часто в песчаниках присутствуют рассеянные по всему объему породы мелкие бесформенные обрывки и тонкие линзочки растительного детрита. Кварца в песчаниках от 33 до 40%. Преобладают изометричные монокристаллические зерна с волнистым погасанием, а вот поликристаллические разности редки. Полевых шпатов в песчаниках 21–33%. Это, в основном, кислые плагиоклазы — альбит и олигоклаза, в сумме достигающие 90% всех полевых шпатов. Количество калиевых полевых шпатов иногда достигает 30%. Среди них доминируют изометричные пелитизированные зерна ортоклаза, решетчатый же микроклин более редок. Основные и средние плагиоклазы малочисленны. Среди обломков пород, в сумме составляющих 31–41%, преобладают осадочные, а также средние и кислые магматические породы. Обломков кремнистых и метаморфических пород мало. По своему составу песчаники свиты относятся к полевошпатово-кварцевым грауваккам.

Для характеристики геохимических особенностей песчаных пород террейна и их дальнейшей палеодинамической интерпретации использовались частные анализы по отдельным пробам из каждой свиты, а для понимания существующих общих черт сходства и различия между свитами приведена таблица пределов колебаний и средних содержаний петрогенных, редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в породах каждой из них.

По своим геохимическим параметрам песчаные породы казачкинской свиты достаточно близки: они характеризуются довольно высокими содержаниями  $\text{SiO}_2$ , варьирующими от 70.71% до 75.63%, и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — от 14.35% до 17.92%. Вместе с тем, в них отмечаются относительно низкие содержания  $\text{TiO}_2$  (0.45–0.74%),  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.90–1.75%),  $\text{MgO}$  (0.14–0.22%) и  $\text{CaO}$  (0.10–0.17%). Помимо этого, песчаники характеризуются преобладанием  $\text{K}_2\text{O}$  над  $\text{Na}_2\text{O}$  (2.49–4.25% и 1.24–2.11% соответственно) что типично как для аркозов, так и для лититовых аренигов. На классификационной диаграмме соотношения величин логарифмов  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Pettijohn et al., 1972) (рис. 2) большинство точки казачкинских песчаников попадает именно в поле лититовых аренигов, что хорошо согласуется с их петрографическим составом (преобладание обломков пород).

Песчаники решетниковской свиты по химическому составу заметно отличаются от пород других свит террейна и, прежде всего, по значительно более высокому содержанию кремнекислоты, которое колеблется от 76.95% до

МАЛИНОВСКИЙ

Содержания петрогенных (масс. %), редких и РЗЭ (г/т) в песчаных породах юга Лаоелин-Гродековского террейна  
 Contents of petrogenic (wt %), rare and REE (ppm) in sandy rocks of the south of the Laoeling-Grodekovo terrane

	Казачкинская свита	Решетниковская свита	Барабашская свита	Мангугайская свита
n	7	15	17	18
SiO <sub>2</sub>	70.71-75.63 72.69	76.95-86.89 81.34	68.06-74.36 70.50	70.07-80.81 74.09
TiO <sub>2</sub>	0.45-0.74 0.63	0.15-0.41 0.27	0.33-0.49 0.39	0.28-0.80 0.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.35-17.92 16.61	6.93-13.01 10.55	12.52-15.06 13.83	10.54-17.10 14.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08-1.02 0.41	0.05-1.23 0.61	0.58-2.53 1.26	0.01-1.67 1.12
FeO	0.50-1.34 0.82	0.30-0.96 0.66	1.04-2.68 2.01	0.25-3.18 1.13
MnO	0.01-0.08 0.02	0.02-0.06 0.04	0.01-0.08 0.02	0.01-0.08 0.03
MgO	0.14-0.22 0.19	0.14-0.45 0.24	0.50-1.19 0.85	0.12-1.16 0.50
CaO	0.10-0.17 0.13	0.02-0.09 0.06	0.28-2.11 0.88	0.03-7.88 0.61
Na <sub>2</sub> O	1.24-2.11 1.56	0.68-1.61 1.27	1.78-2.83 2.43	0.05-1.93 0.96
K <sub>2</sub> O	2.49-4.25 3.30	1.86-4.00 3.08	3.31-5.05 3.97	1.13-2.80 2.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02-0.07 0.03	0.02-0.05 0.03	0.04-0.10 0.06	0.02-0.15 0.06
H <sub>2</sub> O	0.21-1.27 0.77	0.15-0.56 0.36	0.26-0.76 0.44	0.28-1.14 0.66
п.п.п.	1.12-3.77 2.52	0.48-2.27 1.22	1.17-2.80 2.03	1.13-3.97 3.43
ГМ	0.22-0.27 0.25	0.10-0.19 0.15	0.21-0.29 0.25	0.16-0.29 0.23
ФМ	0.02-0.03 0.02	0.01-0.03 0.02	0.05-0.07 0.06	0.02-0.06 0.04
ТМ	0.031-0.044 0.038	0.023-0.032 0.026	0.022-0.033 0.029	0.025-0.055 0.039
ЖМ	0.05-0.12 0.07	0.07-0.15 0.12	0.19-0.25 0.23	0.10-0.28 0.17
НКМ	0.24-0.40 0.29	0.32-0.44 0.40	0.35-0.55 0.46	0.09-0.39 0.23
СIA	65-77 72	64-71 67	55-67 59	61-90 77
Be	0.30-2.55 1.05	0.02-1.26 0.93	0.57-3.14 1.18	0.23-2.55 0.93
Rb	43.47-139.70 21.31	56.43-156.30 102.81	51.70-154.40 115.40	37.44-100.40 67.81
Cs	1.25-6.69 3.99	1.05-3.96 2.48	1.08-2.23 1.46	0.84-3.22 1.63
Sr	52.0-169.4 105.9	27.7-127.4 66.4	122.2-218.4 163.2	14.5-189.2 85.3
Ba	178.3-910.7 418.6	301.3-746.1 516.3	301.6-698.8 549.5	147.7-541.2 280.5
Zr	260.7-403.4 354.3	71.8-239.7 134.2	182.3-282.4 117.2	108.8-597.3 212.6
Nb	8.99-17.40 14.65	4.01-10.53 6.90	7.53-12.46 9.72	5.35-15.31 8.89

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Таблица. Продолжение

Table. Continued

	Казачкинская свита	Решетниковская свита	Барабашская свита	Мангугайская свита
Y	23.84-38.67 29.85	11.08-23.86 16.07	21.08-27.08 24.88	15.33-38.84 22.41
Sc	7.07-12.17 9.32	1.70-6.20 3.75	5.19-7.27 6.50	4.47-15.40 8.89
V	21.08-35.09 27.55	10.43-57.22 20.34	16.52-40.60 23.80	20.16-124.5 59.35
Cr	36.9-196.5 91.2	56.0-334.8 181.3	35.5-441.6 179.9	31.4-123.3 90.4
Co	1.65-11.74 6.08	0.55-6.00 1.93	2.35-6.05 4.39	2.59-21.69 8.41
Ni	2.99-10.92 7.32	0.70-25.24 6.92	1.49-10.84 7.60	4.62-31.87 16.32
Cu	7.80-23.50 15.47	0.99-18.85 11.20	3.28-40.19 18.17	3.85-30.60 16.03
Zn	22.7-82.5 49.5	3.2-27.4 10.6	38.0-74.9 59.6	27.9-154.1 58.5
Ga	12.20-21.62 18.50	6.87-19.58 11.19	12.18-20.42 15.89	10.69-23.46 15.55
Mo	2.12-14.53 6.53	5.37-26.06 14.12	1.38-15.18 8.19	1.02-11.13 4.88
Sn	0.98-7.90 2.82	0.34-2.35 0.92	1.26-10.52 3.43	0.69-9.01 1.84
La	15.48-29.47 21.19	18.57-44.56 25.72	26.09-40.50 34.00	17.29-39.71 27.21
Ce	32.82-61.89 46.73	38.30-82.35 52.06	49.41-81.99 66.29	36.36-85.90 59.22
Pr	3.67-7.89 5.27	4.46-8.55 5.76	5.75-8.89 7.52	4.11-10.19 6.66
Nd	14.01-31.36 20.50	15.23-28.19 20.63	20.00-30.98 26.80	15.30-38.95 25.61
Sm	2.73-7.34 4.54	2.94-5.84 4.18	4.11-6.88 5.41	2.94-8.22 5.21
Eu	0.69-1.57 1.04	0.60-1.00 0.84	0.75-1.48 1.03	0.71-1.48 1.10
Gd	2.71-6.51 4.14	1.51-3.90 2.95	3.40-7.27 4.49	2.58-6.80 4.37
Tb	0.54-1.16 0.75	0.29-0.68 0.48	0.55-1.00 0.74	0.39-1.12 0.69
Dy	3.34-6.05 4.48	1.80-3.53 2.73	3.48-4.89 4.15	1.83-5.83 3.75
Ho	0.80-1.28 1.00	0.36-0.79 0.57	0.79-0.97 0.86	0.46-1.16 0.74
Er	2.29-4.13 3.11	0.93-2.39 1.67	2.07-3.29 2.63	1.43-3.40 2.23
Tm	0.40-0.61 0.51	0.16-0.44 0.28	0.30-0.55 0.43	0.17-0.49 0.34
Yb	2.69-3.81 3.49	1.00-3.00 1.87	2.11-3.03 2.51	0.38-3.69 2.04
Lu	0.48-0.80 0.65	0.13-0.46 0.30	0.35-0.53 0.43	0.20-1.38 0.43
Hf	5.42-8.83 7.69	1.58-5.55 3.58	3.74-7.81 5.94	2.45-11.57 5.20
Ta	0.52-1.03 0.83	0.20-0.94 0.51	0.42-1.26 0.74	0.33-1.10 0.63

Таблица. Окончание

Table. Continued

	Казачкинская свита	Решетниковская свита	Барабашская свита	Мангугайская свита
Pb	8.11-13.21 10.73	4.32-11.47 10.15	17.69-44.28 25.43	9.29-50.00 18.39
Th	5.80-7.70 6.88	3.37-8.78 6.25	9.78-20.11 15.55	5.40-13.10 8.37
U	1.25-2.56 2.04	0.84-2.70 1.73	2.39-5.44 3.64	1.42-3.39 2.28
[La/Yb] <sub>n</sub>	2.94-5.15 4.03	5.88-13.66 8.81	6.20-11.54 9.04	5.36-11.17 9.09
Eu/Eu*	0.63-0.82 0.71	0.55-0.76 0.69	0.51-0.78 0.62	0.56-0.85 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 value, the denominator is the average.

рейна образуют самостоятельные, как правило, достаточно хорошо разделяющиеся поля, что, очевидно, объясняется различной долей участия в их составе как основной-средней вулканокластике, так и продуктов разрушения кислых изверженных пород. Анализ положения фигуративных точек на диаграммах позволяет получить важный для палеогеодинамических реконструкций вывод о генетических типах изученных пород (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000). Наблюдающаяся для песчаников казачкинской и барабашской свит положительная корреляция между парами модулей ГМ–ТМ, ФМ–ТМ,

ФМ–ЖМ и отрицательная либо ее отсутствие между другими парами, свидетельствует о преимущественно петрогенной их природе, т.е. об участии обломочного вещества пород в одном цикле переотложения. Отсутствие либо слабо выраженная положительная корреляция между этими же модулями в отложениях решетниковской и мангугайской свит свидетельствует, напротив, о литогенной их природе и, соответственно, неоднократном переотложении обломочного материала в процессах седиментации, при незначительной доле примеси петрогенного материала среднего и кислого состава.

Результаты изучения содержаний редких и РЗЭ в песчаных породах их отложений юга Лаоелин-Гродековского террейна приведены в таблице. Их концентрации и характер распределения достаточно близки. Суммарные содержания РЗЭ в породах казачкинской свиты относительно невелики и варьируют от 84 до 159 г/т. Спектры их распределения, нормализованные к составу хондрита, в песчаниках однотипны (рис. 4) (Boynnton, 1984) и характеризуются нормальными трендами распределения с умеренной степенью фракционирования и невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ( $La_N/Yb_N=2.94-5.15$ ), а также достаточно отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^*=0.63-0.82$ ). По сравнению с постархейским средним глинистым сланцем (РААС), принятым за средний состав верхней континентальной коры (Taylor, McLennan, 2009), породы незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (до 1.7 раза), и лишь некоторые тяжелые находятся в несколько более высоких концентрациях (Ho, Er, Tm, Yb, Lu). В песчаных породах решетниковской свиты суммы содержаний РЗЭ также невелики (90–174 г/т). Для них также свойственны умеренно

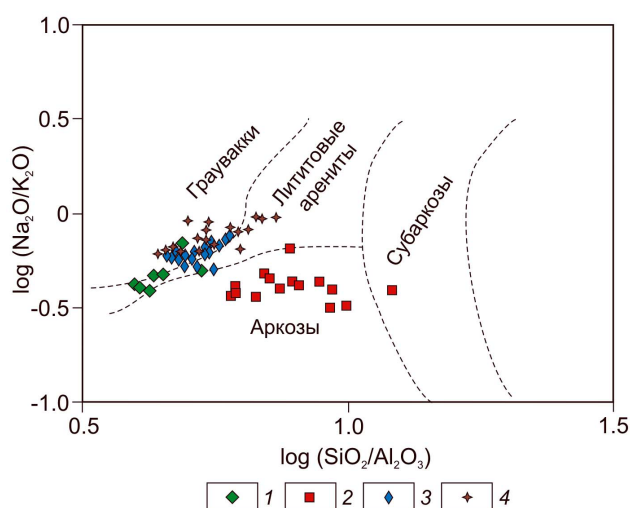


Рис. 2. Классификационная диаграмма  $\log(Na_2O/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$  для песчаных пород южной части Лаоелин-Гродековского террейна, по (Pettijohn et al., 1972). 1–4 — свиты: 1 — казачкинская, 2 — решетниковская, 3 — барабашская, 4 — мангугайская.

Fig. 2.  $\log(Na_2O/K_2O)-\log(SiO_2/Al_2O_3)$  classification diagram for the sandy rocks of the southern part of the Laoeling-Grodekovo terrane (Pettijohn et al., 1972). 1–4 — formations: 1 — Kazachka, 2 — Reshetnikovka, 3 — Barabash, 4 — Mangugai.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

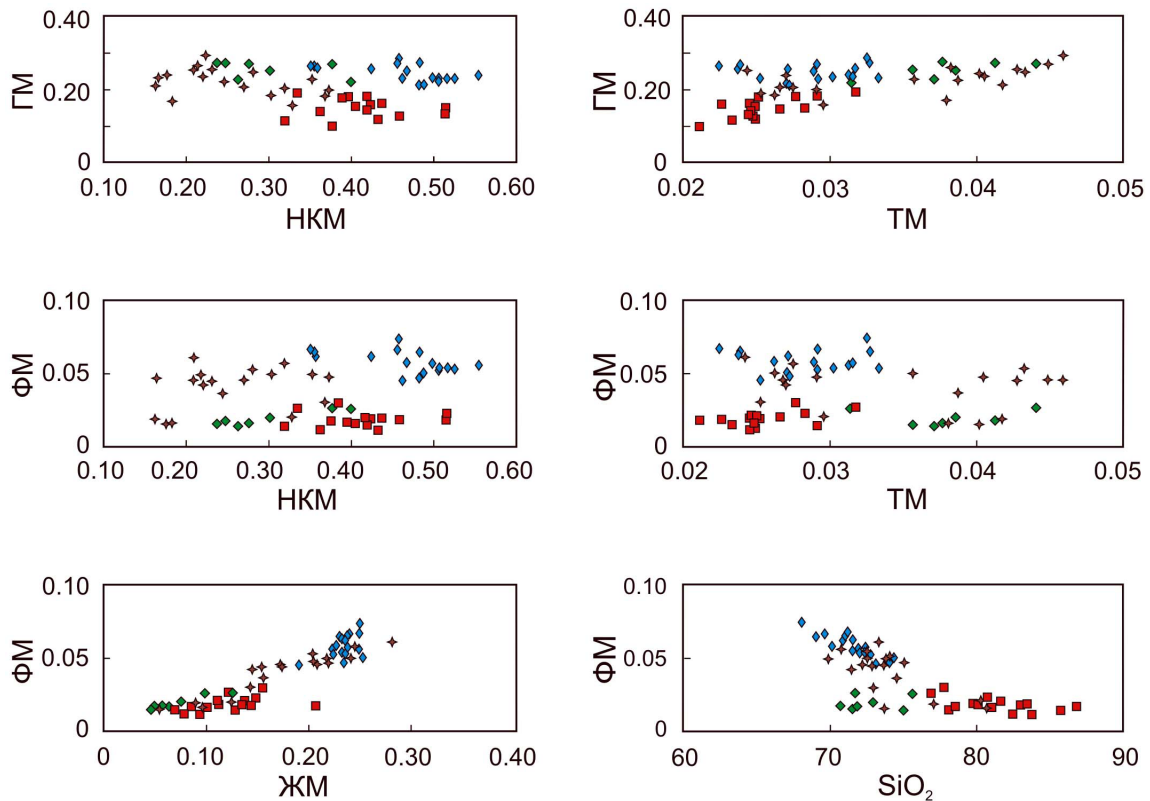


Рис. 3. Модульные диаграммы для песчаных пород южной части Лаоелин-Гродековского террейна, по (Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000). Условные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Module diagrams for the sandy rocks of the southern part of the Laueling-Grodekoovo terrane, according to (Yudovich, 1981; Yudovich, Ketris, 2000). See Fig. 2 for legend.

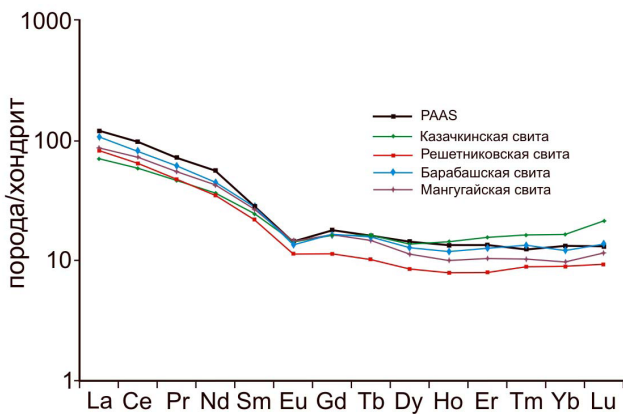


Рис. 4. Спектры распределение РЗЭ, нормированных к хондриту, по (Boynnton, 1984), в песчаных породах изученных свит и сопоставление их с PAAS, по (Taylor, McLennan, 2009).

Fig. 4. Chondrite-normalized REE distribution spectra (Boynnton, 1984) in sandy rocks of the studied formations and their comparison with PAAS (Taylor, McLennan, 2009).

фракционированные спектры распределения РЗЭ (рис. 4), но с более высокими отношениями  $La_N/Yb_N$  (5.88–13.66), и более ярко выраженной отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^*=0.55-0.76$ ). По сравнению с PAAS породы обеднены всеми элементами (до двух раз). В

песчаниках барабашской свиты суммарные концентрации РЗЭ несколько выше, варьируя от 125 до 189 г/т. Для пород свиты также сохраняются нормальные спектры распределения РЗЭ со сравнительно невысокими отношениями  $La_N/Yb_N$  (6.20–11.54) и отчетливо выраженной отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^*=0.51-0.78$ ) (рис. 4). По сравнению с PAAS песчаники, в основном, очень незначительно обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами (до 1.4 раза), и лишь иногда находятся в равных либо слабо превышающих концентрациях. Содержания РЗЭ в песчаниках мангугайской свиты невелики: в сумме от 89 г/т до 175 г/т. Спектры их распределения также характеризуются сравнительно невысоким отношением легких лантаноидов к тяжелым ( $La_N/Yb_N=5.36-11.17$ ), а также отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^*=0.56-0.85$ ), в целом аналогичной аномалиям в других свитах террейна. Сравнение с PAAS показывает незначительную обедненность песчаников всеми элементами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Палеореконструкции полученных данных по геохимическому составу пермских и триасовых песчаников юга Лаоелин-Гродековского

86.89%. Вместе с тем, в них заметно более низкие содержания  $TiO_2$  (0.15–0.41%),  $Al_2O_3$  (6.93–13.01%),  $FeO+Fe_2O_3$  (0.84–1.61%),  $MgO$  (0.14–0.45%) и  $CaO$  (0.02–0.09%). Кроме того, эти песчаники также характеризуются типичным для аркозов преобладанием, и иногда существенным,  $K_2O$  над  $Na_2O$  (1.86–4.00% и 0.68–1.61% соответственно). По петрохимической классификации песчаники свиты соответствуют типичным аркозам и даже субаркозам (Pettijohn et al., 1972) (рис. 2).

В породах барабашской свиты, наоборот, наиболее низкие содержания кремнекислоты из всех пород изученных свит террейна: оно изменяется в незначительных пределах от 68.06% до 74.34%. Также незначительны колебания содержания и других оксидов:  $TiO_2$  (0.33–0.49%),  $Al_2O_3$  (12.52–15.06%),  $FeO+Fe_2O_3$  (2.66–3.82%),  $MgO$  (0.50–1.19%) и  $CaO$  (0.28–2.11%). В этих песчаниках  $K_2O$  также преобладает над  $Na_2O$  (3.31–5.05% и 1.78–2.83% соответственно), что сближает их с аркозами. Вместе с тем, на классификационной диаграмме (рис. 2) барабашские песчаники группируются преимущественно в поле граувакк, что объясняется невысоким отношением  $SiO_2$  к  $Al_2O_3$ , характерным для этого типа пород.

Песчаники мангугайской свиты выделяются наиболее широкими изменениями химического состава. Содержания кремнекислоты варьируют от 70.07% до 80.81%,  $TiO_2$  (0.28–0.80%),  $Al_2O_3$  (10.54–17.10%),  $FeO+Fe_2O_3$  (0.93–4.00%),  $MgO$  (0.12–1.16%) и  $CaO$  (0.03–7.88%). Песчаники характеризуются незначительным преобладанием  $K_2O$  над  $Na_2O$  (1.13–2.80% и 0.05–1.93% соответственно) и отвечают, преимущественно, грауваккам и, частично — лититовым ареникам (рис. 2).

Для геохимической характеристики терригенных отложений часто используется ряд литохимических модулей и модульных диаграмм (рис. 3), позволяющих установить основные черты сходства и различия между изученными породами, получить наиболее объективную информацию о составе исходных пород областей питания, степени их зрелости, литогенной либо петрогенной природе осадков, а также способствующих более корректным палеорекострукциям условий и обстановок седиментации (Летникова и др., 2011; Малиновский, 2010, 2018; Маслов и др., 2013; Юдович, 1981; Юдович, Кетрис, 2000 и др.).

По величине гидролизатного модуля  $GM = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$ , используемого для количественной оценки степени химического выветривания пород, т.е. их «зрелости», породы изученных свит близки и характеризуются невысокими его значениями: от 0.16 до 0.29 в казачкинской, барабашской и мангугайской свит, и еще более низкими (0.10–0.19) в решетниковской свите (таблица)

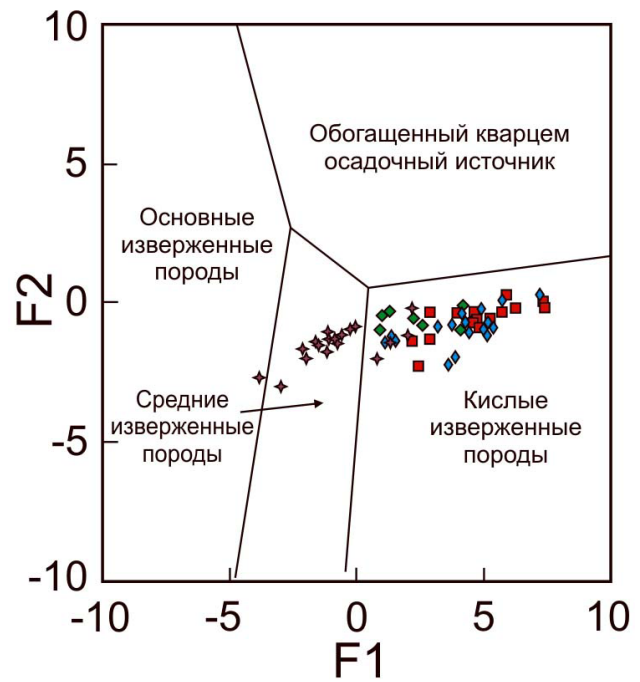
Подобные величины ГМ свидетельствуют о довольно высокой степени зрелости песчаников всех свит и, соответственно, о значительной роли химического выветривания в областях сноса. О значительной степени выветривания исходных пород также свидетельствуют и довольно высокие значения индекса химического изменения  $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$  (Nesbitt, Young, 1982), колеблющиеся от 55–67 в песчаниках барабашской свиты до 61–90 — в мангугайской. По величине фемического модуля  $FM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$ , используемого для разделения граувакк и аркозов, песчаные породы решетниковской и казачкинской свит, обладающие низкими его значениями (0.02–0.03 и 0.01–0.03 соответственно), относятся либо близки к аркозам, а барабашской и мангугайской — занимают промежуточное положение между граувакками и аркозами (0.05–0.07 и 0.02–0.06 соответственно). По величине титанового модуля  $TM = TiO_2 / Al_2O_3$ , позволяющего судить о составе материнских пород областей питания, песчаники террейна близки и характеризуются относительно невысокими его значениями (ТМ от 0.022 до 0.044), и лишь в некоторых пробах мангугайской свиты они несколько выше, достигая 0.055. Невысокие значения титанового модуля связаны с преимущественно кислым составом материнских пород областей сноса, среди которых преобладали гранитоиды, отличающиеся, в свою очередь, низкими значениями ТМ. Состав материнских пород источников сноса также помогает установить и железный модуль  $JM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$ . Низкие его значения в песчаниках казачкинской и решетниковской свит (0.05–0.12 и 0.07–0.15 соответственно) свидетельствуют о преимущественном влиянии на их формирование продуктов размыва кислых изверженных пород. В породах барабашской и мангугайской свит значения этого модуля несколько выше (0.19–0.25 и 0.10–0.28 соответственно), что, вероятно, позволяет предполагать участие в составе областей их питания и незначительного количества вулканических пород основного-среднего состава. Величина модуля нормированной щелочности  $NKM = Na_2O + K_2O / Al_2O_3$ , довольно высокая во всех пермских песчаниках (0.35–0.55), в целом соответствует аркозам и объясняется широким развитием в них слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых. В породах мангугайской свиты значения НКМ заметно ниже (0.09–0.25), что приближает их к грауваккам и связано с их насыщенностью глинистым матриксом, обломками тонкозернистых пород и средних вулканитов.

На всех приведенных модульных диаграммах (Юдович, Кетрис, 2000) (рис. 3) фигуративные точки песчаных пород изученных свит тер-

террейна осуществлялись при помощи ряда широко известных дискриминантных диаграмм, построенных с использованием содержаний и соотношений в породах ряда петрогенных оксидов, редких и РЗЭ элементов, что позволило авторам этих диаграмм выделить поля, характеризующие 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 и др.).

Поскольку содержания и характер распределения петрогенных, редких и редкоземельных элементов в терригенных породах контролируются составом источников питания, их генетическая интерпретация позволяет установить тектонический тип и состав материнских пород областей питания. Положение фигуративных точек химического состава песчаных пород террейна на диаграмме F1-F2 (Roser, Korsch, 1988) (рис. 5) свидетельствует, что основными источниками вещества, поставившими кластику для отложений казачкинской, решетниковской и барабашской свит, были кислые магматические породы. Для отложений мангугайской свиты интерпретация содержаний породообразующих оксидов позволяет предполагать несколько иной состав источников питания. Ими были в основном средние и, в меньшей мере, кислые эффузивные и изверженные породы.

Интерпретация состава редких и редкоземельных элементов на парных диаграммах Hf-La/Th, La/Sc-Th/Co и Zr/Sc-Th/Sc, также предназначенных для распознавания состава материнских пород питающих провинций (Cullers, 2002; Floyd, Leveridge, 1987; McLennan et al., 1993) (рис. 6а-в), свидетельствует, что основным источником питания для отложений казачкинской свиты были кислые магматические породы, при некоторой доле участия средней вулканокластике и осадочных пород, обогащенных древними обломочными компонентами. Долю участия компонентов среднего состава можно оценить по положению точек на диаграмме Cr/Th-Th/Sc (Condie, Wronkiewicz, 1990) (рис. 6г). Эта доля, вероятно, колеблется в пределах 20–30%. Довольно заметная обогащенность пород решетниковской свиты легкими РЗЭ по сравнению с тяжелыми, отчетливо выраженная отрицательная Eu аномалия, а также положение фигуративных точек пород на дискриминантных диаграммах (рис. 6а-в), подтверждает вывод о формировании отложений, главным образом, за счет кислых магматических пород, при незначительном участии продуктов размыва смешанных источников питания, в состав которых, вероятно, входили основные-средние вулканы и обогащенные кварцем и цирконом древние осадочные

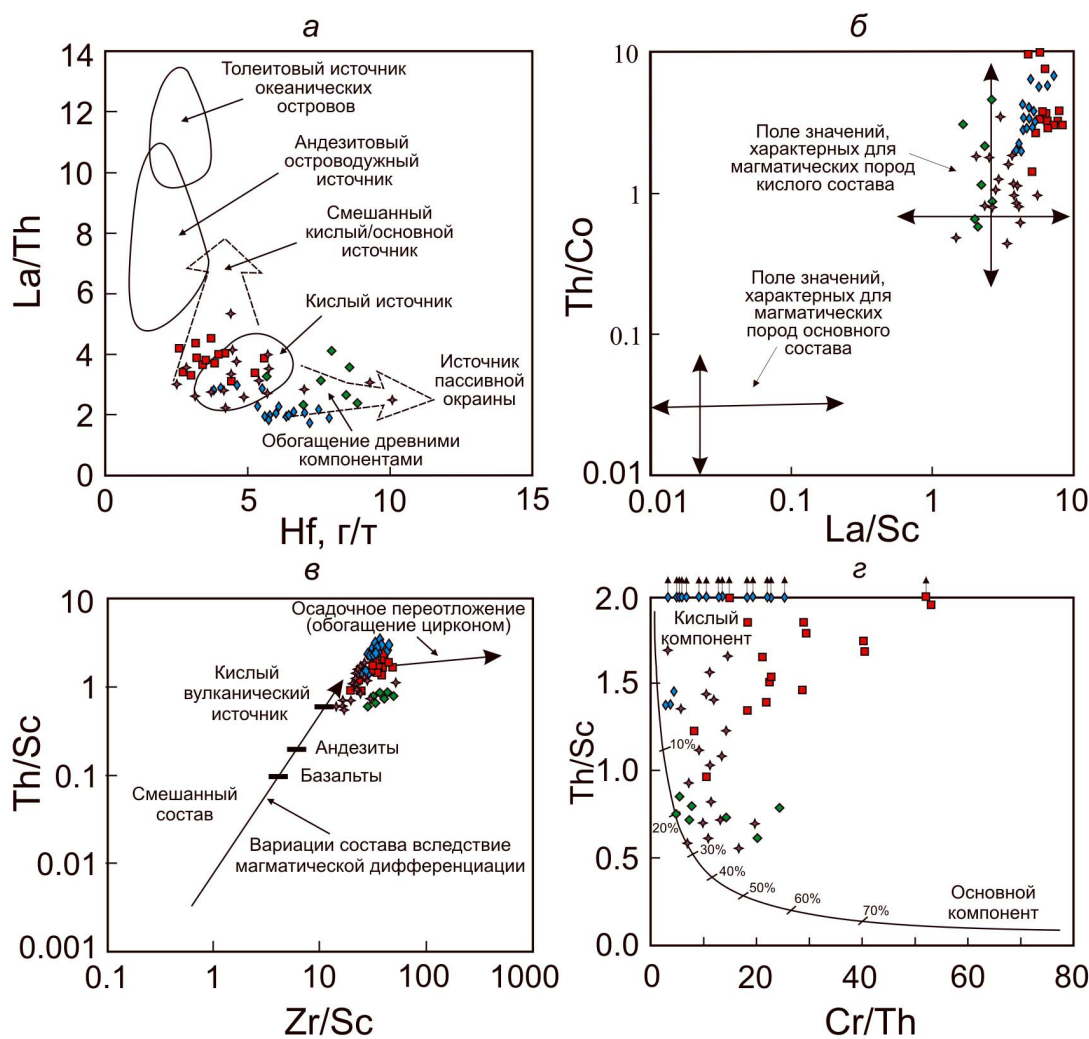


**Рис. 5.** Вероятные составы материнских пород питающих провинций для песчаных пород юга Лаоелин-Гродековского террейна на диаграмме F1-F2, по (Roser, Korsch, 1988).  $F1 = 30.638 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 7.329 \times MgO / Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O / Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O / Al_2O_3 - 6.382$ ;  $F2 = 56.5 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 30.875 \times MgO / Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O / Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O / Al_2O_3 - 3.89$ . Условные обозначения см. на рис. 2.

**Fig. 5.** Probable parent rock compositions of the source provinces for the sandy rocks of the south of the Laeoling-Grodekovo terrane on the diagram F1-F2 (Roser, Korsch, 1988).  $F1 = 30.638 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 7.329 \times MgO / Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O / Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O / Al_2O_3 - 6.382$ ;  $F2 = 56.5 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 30.875 \times MgO / Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O / Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O / Al_2O_3 - 3.89$ . See Fig. 2 for legend.

породы. Доля участия основных-средних пород в составе отложений не превышает 5% (рис. 6е). Источниками кластики для песчаников барабашской свиты, судя по заметному преобладанию легких лантаноидов над тяжелыми, хорошо выраженной отрицательной Eu аномалии и положению фигуративных точек на всех приведенных диаграммах (рис. 6) также были, в основном, кислые магматические породы, к которым примешивалось некоторое количество продуктов размыва древних осадочных пород, обогащенных кварцем и цирконом. Накопление отложений мангугайской свиты происходило под влиянием продуктов размыва как кислых магматических, так и древних осадочных и основных-средних вулканических пород, доля которых в составе песчаников иногда достигает 40% (рис. 6).

Очевидно, что определенные тектонические типы питающих провинций подразумевают существование и определенных геодинами-

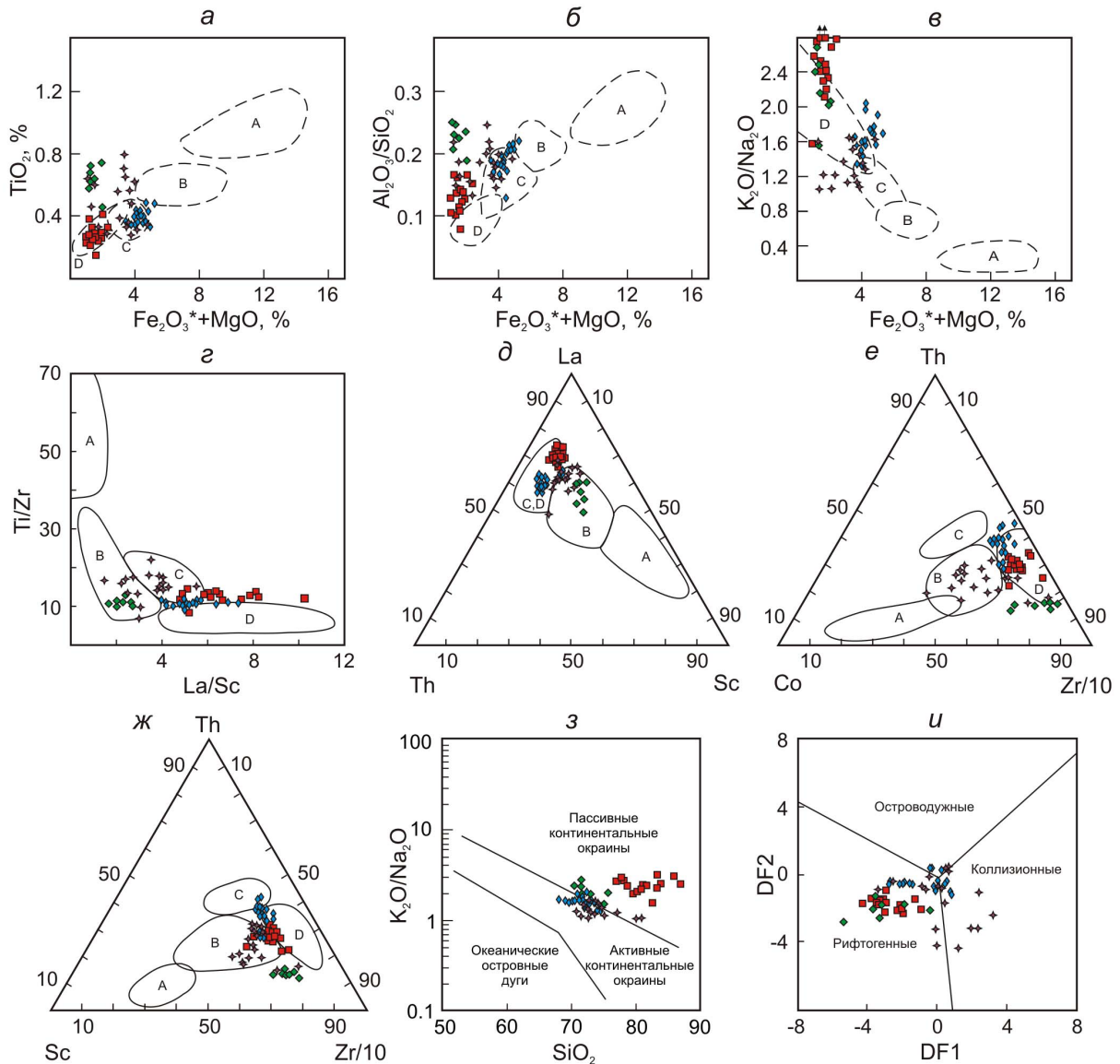


**Рис. 6.** Источники обломочного материала для терригенных пород юга Лаоелин-Гродековского террейна на диаграммах: *a* — Hf-La/Th, по (Floyd, Leveridge, 1987); *б* — La/Sc-Th/Co, по (Cullers, 2002); *в* — Th/Sc-Zr/Sc, по (McLennan et al., 1993); *г* — Th/Sc-Cr/Th, по (Condie, Wronkiewicz, 1990). Условные обозначения см. на рис. 2.

**Fig. 6.** Sources of clastic material for terrigenous rocks of the south of the Laeoling-Grodekovo terrane in the diagrams: *a* — Hf-La/Th (Floyd, Leveridge, 1987); *б* — La/Sc-Th/Co (Cullers, 2002); *в* — Th/Sc-Zr/Sc (McLennan et al., 1993); *г* — Th/Sc-Cr/Th (Condie, Wronkiewicz, 1990). See Fig. 2 for legend.

ческих обстановок формирования связанных с ними осадочных бассейнов. Установить эти обстановки позволяет сравнение геохимического состава пород изученного объекта с составом древних пород и современных осадков из бассейнов известных тектонических режимов. Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава песчаников террейна осуществлена при помощи дискриминантных диаграмм, приведенных на рис. 7. На серии диаграмм, применяющихся для разделения песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Roser, Korsch, 1986) (рис. 7а-з), песчаники казачкинской свиты частично группируются в полях осадочных бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре, а также приближаются,

а иногда и попадают, в поля бассейнов пассивных континентальных окраин. На появившихся в последнее время дискриминантных диаграммах DF1–DF2, используемых для пород с высоким содержанием кремнезема ( $\text{SiO}_2 > 63\%$ ) (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) (рис. 7и), точки казачкинских песчаников попадают в поле рифтогенных обстановок. Генетическая интерпретация геохимического состава песчаников решетниковской свиты на всех приведенных диаграммах (рис. 7), свидетельствует об их формировании в геодинамических обстановках, соответствующих бассейнам пассивных континентальных окраин, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены. Интерпретация состава песчаных пород барабашской свиты не однозначна. На большинстве диаграмм, приведенных на рис. 7, их фигуративные



**Рис. 7.** Палеогеодинамическая интерпретация геохимического состава терригенных пород юга Лаоелин-Гродековского террейна на диаграммах: а–ж — типы седиментационных бассейнов, по (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: А — с океаническими, В — с континентальными островными дугами, С — с активными, Д — с пассивными континентальными окраинами.  $Fe_2O_3^*$  — общее железо; з — бассейновые обстановки, по (Roser, Korsch, 1986); u — возможные типы геодинамических обстановок для пород с высоким содержанием  $SiO_2$  на диаграмме DF1–DF2, по (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). Условные обозначения см. на рис. 2.

**Fig. 7.** Paleogeodynamic interpretation of the geochemical composition of terrigenous rocks of the south of the Laeoling-Grodekovo terrane in the diagrams: а–ж — 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, to active (C) and passive (D) continental margins.  $Fe_2O_3^*$  — total iron; з — Basins of tectonic settings (Roser, Korsch, 1986); u — possible types of geodynamic settings for rocks with high  $SiO_2$  content in the DF1–DF2 diagram (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). See Fig. 2 for legend.

точки соответствуют либо близки как к полям бассейнов пассивных, так и активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам, а в отдельных случаях и к полям бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными магматическими дугами. На диаграмме DF1–DF2 (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) (рис. 7u)

точки свиты группируются в области сочленения всех выделенных на ней полей. Также неоднозначна интерпретация геодинамических обстановок формирования отложений мангунгайской свиты. На различных диаграммах точки состава ее песчаников соответствуют обстановкам бассейнов как связанных с окраинно-континентальными магматическими дугами,

так и бассейнов, расположенных на пассивных и активных континентальных окраинах (рис. 7).

Следует отметить своеобразное расположение фигуративных точек геохимического состава песчаных пород изученных свит юга Лаоелин-Гродековского террейна на всех рассмотренных диаграммах (рис. 5–7). Точки, как правило, образуют самостоятельные поля, соответствующие нескольким геодинамическим обстановкам либо источникам питания, что является характерной особенностью и, вероятно, достаточно надежным признаком осадочных бассейнов, формирование которых связано с обстановками трансформного скольжения литосферных плит, когда в область размыва попадают как краевые части континентов, так и ранее аккрецированные к ним фрагменты активных и пассивных окраин. Примером подобного рода обстановок и, соответственно, расположения на диаграммах точек состава пород, является Журавлевский синдвиговый террейн Сихотэ-Алиня (Малиновский, Голозубов, 2012).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучен геохимический состав позднепалеозойских и раннемезозойских песчаных пород южной части Лаоелин-Гродековского террейна Юго-Западного Приморья. Обобщение и интерпретация полученных данных позволили восстановить геодинамические обстановки формирования развитых здесь отложений, а также определить тектонический тип и породный состав областей их питания.

Проведенные исследования показали, что отложения террейна существенно различаются по геохимическому составу: песчаники барабашской и мангугайской свит наиболее соответствуют грауваккам, казачкинской — лититовым аренитам, а решетниковской — аркозам. Все породы характеризуются довольно высокой степенью зрелости кластического материала и содержат в составе обломочной части преимущественно фрагменты кислых изверженных пород.

Обобщение и интерпретация полученных данных по составу, содержанию и характеру распределения петрогенных, редких и РЗЭ в песчаных породах террейна свидетельствуют о том, что седиментация происходила в бассейне, связанном с обстановкой трансформного скольжения литосферных плит. Отложения накапливались, главным образом, за счет разрушения кислых изверженных пород, при незначительной доле участия основных-средних вулканитов, а также обогащенных древними компонентами осадочных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00037).

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)].

*Изосов Л.А., Смирнова О.Л., Емельянова Т.А.* Кордонкинская свита Западного Приморья: тектоностратиграфический комплекс? // Региональные проблемы. 2016. Т. 19. № 1. С. 3–7. <https://repository.geologyscience.ru/handle/123456789/14226> [*Izosov L.A., Smirnova O.L., Emelianova T.A.* Kordonka formation of the Western Primoria region: tectonostratigraphic complex? // Regional. Problemy. 2016. V. 19. № 1. P. 3–7. (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. P. 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. [*Malinovsky 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> [*Malinovsky 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., Голозубов В.В.* Литология и обстановка формирования терригенных отложений вдоль трансформных границ плит на примере раннемелового Журавлевского террейна (южный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 35–52. [*Malinovsky A.I., Golozubov V.V.* Lithology and Depositional Settings of the Terrigenous Sediments along Transform Plate Boundaries: Evidence from the Early Cretaceous Zhuravlevka Terrane in Southern Sikhote Alin // Russian Journal of Pacific Geology. 2011. V. 5. Iss. 5. P. 400–417. <https://doi.org/10.1134/S1819714011050058>].

*Маслов А.В., Подковыров В.Н., Мизенс Г.А. и др.* Дискриминантные палеогеодинамические диаграммы для терригенных пород: опыт сопоставления // Геохимия. 2016. № 7. С. 579–595. <https://doi.org/10.7868/S0016752516060030> [*Maslov*

- A.V., Podkovyrov V.N., Mizens G.A. et al.* Tectonic setting discrimination diagrams for terrigenous rocks: a comparison // *Geochemistry International*. 2016. V. 54. Iss. 7. С. 569–583. <https://doi.org/10.1134/S0016702916060033>.
- 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 psammities: major lithochemical features // *Lithology and Mineral Resources*. 2013. V. 48. Iss. 1. P. 74–97. <https://doi.org/10.1134/S0024490212050045>].
- Ханчук А.И., Раткин В.В., Рязанцева М.Д. и др.* Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с. [*Khanchuk A.I., Ratkin V.V., Ryzantseva M.D. et al.* Geology and Mineral Resources of Primorye: an Overview. Vladivostok: Dalnauka, 1995. 82 p. (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)].
- Юдович Я.Э.* Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с. [*Yudovich, Ya.E.* Regional geochemistry of sedimentary sequences. Leningrad: Nauka, 1981. 276 p. (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)].
- Bhatia M.R.* Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // *Journal of Geology*. 1983. V. 91. 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>
- 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>
- Condie K.C., Wronkiewicz D.A.* The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // *Earth and Planetary Science Letters*. 1990. V. 97. Iss. 3–4. P. 256–267.
- 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. P. 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- 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 sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chemical Geology*. 1988. V. 67. 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>.
- 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

**GEOCHEMICAL FEATURES AND PALEOGEODYNAMIC SETTING  
OF PERMIAN AND TRIASSIC DEPOSITS ACCUMULATION  
IN THE SOUTH OF THE LAOELING-GRODEKOVU TERRANE (PRIMORYE)**

**A.I. Malinovsky**

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

New geochemical data on the Late Paleozoic and Early Mesozoic sandy rocks of the southern part of the Laoling-Grodekovo terrane of the South-Western Primorye are presented. It is shown that terrane deposits differ significantly in geochemical parameters: sandstones of the Barabash and Mangugai formations most closely correspond to the graywackes, those of the Kazachka formation to the lithite arenites, and those of the Reshetnikovka formation to arkoses. The rocks are characterized by a rather high degree of maturity of the terrigenous material and contain mainly fragments of acidic igneous rocks in the clastic part. The geochemical data obtained were generalized and interpreted based on their comparison with the compositions of modern sediments and ancient deposits accumulated in the known geodynamic settings. The results of the studies, in general, suggest the formation of terrane deposits in a basin associated with the setting of transform slip of lithospheric plates. The main source of detrital material was eroded acid igneous rocks, to which a small fraction of products of disintegration of basic-middle volcanics and sedimentary rocks enriched in ancient components was added.

*Ключевые слова: Laoling-Grodekovo terrane, geochemistry, sandstones, power sources, geodynamic setting.*

Поступила в редакцию 15.10.2021

После доработки 17.11.2021

Принята в печать 27.12.2021