

Научные статьи

УДК [552.513:552.143] (571.63)

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2025-4-68-5-20>

ЛИТОЛОГИЯ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОСПЕЛОВСКОЙ СВИТЫ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ: НОВЫЕ ДАННЫЕ

© 2025 А.И. Малиновский

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

Поступила в редакцию 10.06.2025; после доработки 07.10.2025; принята в печать 25.12.2025

Представлены результаты изучения и палеогеодинамической интерпретации вещественного состава песчаных пород ранне-среднепермской поспеловской свиты, развитой на п-ове Муравьева-Амурского (Южное Приморье). Проведенные исследования показали, что песчаники являются петрогенными породами, в основном относящимися к лититовым аренитам и аркозам, формирование которых происходило за счет размыва и переотложения в заметной степени выветрелых материнских пород областей питания. Палеогеодинамическая интерпретация всей совокупности полученных данных свидетельствуют, что в ранне-среднепермское время осадко-накопление происходило в бассейнах, связанных с обстановкой пассивной континентальной окраины. Основным источником обломочного материала была континентальная суша — кратоны и поднятые блоки основания, представлявшие собой выступы кристаллического фундамента, сложенные кислыми гранитно-метаморфическими комплексами и, частично, осадочными породами, обогащенными древними обломочными компонентами. Присутствие в песчаниках небольшого количества фемических тяжелых минералов указывает также на участие в строении областей сноса пород основного и ультраосновного состава.

Ключевые слова: пермь, поспеловская свита, Приморье, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Современная тектоническая структура южной части Дальнего Востока России представляет собой коллаж различных по возрасту и происхождению террейнов, причлененных к восточной окраине Азиатского континента в палеозое и мезозое (Геодинамика..., 2006; Голозубов, 2006; Натальин, 1991; Парфенов и др., 2003; Nokleberg et al., 2000). Здесь, в частности, выделяется крупный разновозрастный тектонический ансамбль — Буряя-Цзямусы-Ханкайский орогенный пояс (или супертеррейн), представленный террейнами позднекембрийского и раннепалеозойского возраста, и являющийся восточным окончанием Центрально-Азиатского складчатого пояса (рис. 1) (Геодинамика..., 2006; Геология..., 1995; Парфенов и др., 2003; Ханчук и др. 2022; The Central..., 2015). Юго-запад-

ную часть пояса образует наиболее крупный из них — Вознесенский террейн, являющийся, согласно существующим представлениям, фрагментом раннепалеозойской пассивной континентальной окраины (Геодинамика..., 2006).

Вознесенский террейн сложен интенсивно дислоцированными кембрийскими и раннесилурийскими терригенными и карбонатными породами, кислыми вулканитами и их туфами, прорванными ордовикскими гранитами (Геодинамика..., 2006; Геология..., 1995). Перекрывающий комплекс, залегающий на нижнепалеозойских отложениях с угловым несогласием, включает вулканогенные и осадочные образования от раннего силура до позднего триаса. На севере террейна эти отложения плохо обнажены и в значительной степени изменены. Иная картина наблюдается в его южной части. Широко распространенные здесь палеозойские и ранне-

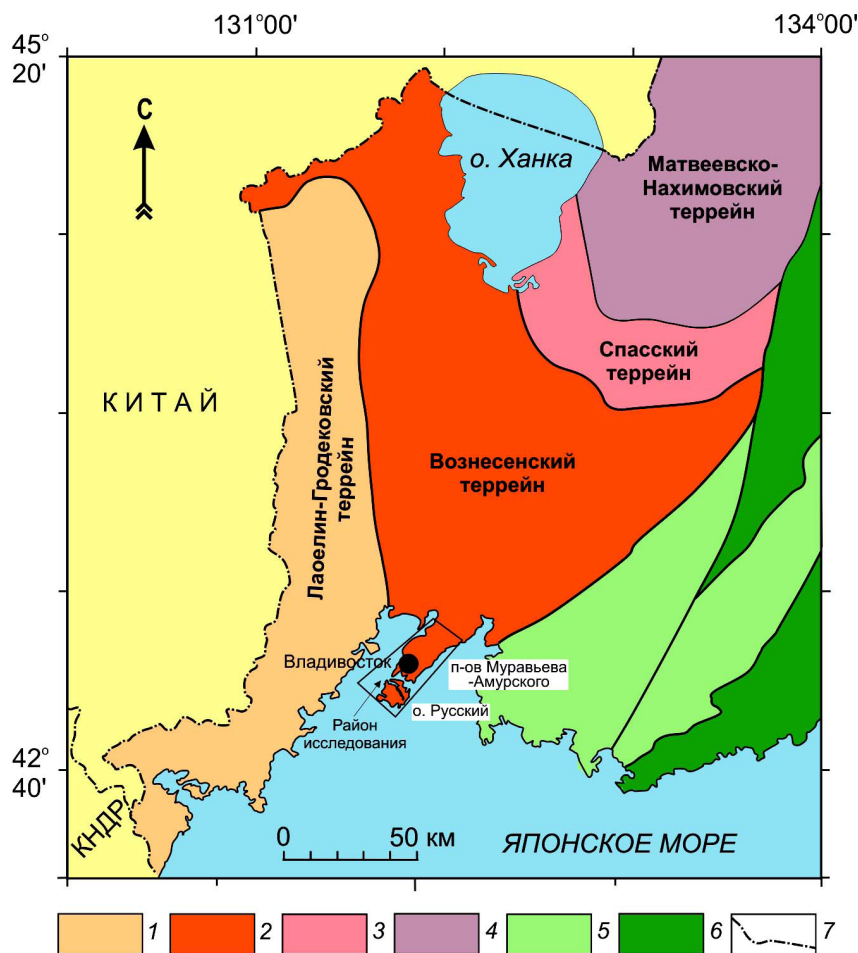


Рис. 1. Геологическая позиция Вознесенского террейна в тектонической структуре Юго-Западного Приморья (Россия) и положение района исследований. 1–6 — террейны: 1 — Лаолин-Гродековский, 2–4 — раннепалеозойского Бурейя-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна): 2 — Вознесенский, 3 — Спаский, 4 — Матвеевско-Нахимовский; 5 — раннепалеозойской активной окраины; 6 — мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса; 7 — государственная граница Российской Федерации.

Fig. 1. Geological position of the Voznesenka terrane in the tectonic structure of Southwestern Primorye (Russia) and the position of the study area. 1–6 — terranes: 1 — Laoling-Grodekovo, 2–4 — of the Early Paleozoic Bureya-Jiamusi-Khanka orogenic belt (superterrane): 2 — Voznesenka, 3 — Spassk, 4 — Matveevka-Nahimovka; 5 — of the Early Paleozoic active margin; 6 — of the Mesozoic Sikhote-Alin orogenic belt; 7 — Russian Federation state border.

мезозойские отложения хорошо обнажаются в морских береговых обрывах, долинах рек и разнообразных искусственных выемках. Кроме того, отложения здесь достаточно хорошо изучены палеонтологически. Все это делает наиболее благоприятными объектами для литологических исследований п-ов Муравьева-Амурского и расположенный к югу от него о. Русский (рис. 2а).

Развитые на этой территории верхнепалеозойские и нижнемезозойские образования представлены ниже-среднепермскими терригенными отложениями поспеловской свиты, средне-верхнепермскими вулканическими и вулканогенно-осадочными породами владивостокской и чандалазской свит, а также ниже-верхнетриасовыми терригенными, часто угленосными, отложениями (Геодинамика..., 2006; Геология..., 1969; Сясько и др., 2016).

Ниже-среднепермская поспеловская свита лучше всего обнажена и изучена в морских береговых обрывах южной части п-ова Муравьева-Амурского и о. Русского. Подошва свиты неизвестна. Выше несогласно залегают вулканогенные образования средне-позднепермской владивостокской свиты. Характерной особенностью отложений свиты является резкое преобладание в разрезе разнородных песчаников, содер-

жащих маломощные прослои и линзы конгломератов, гравелитов, алевролитов, аргиллитов, углей и туфов (рис. 2б). В верхней части разреза встречаются отдельные горизонты андезитов. В терригенных породах свиты наблюдаются свойственные для мелководно-морских отложений многочисленные крупные знаки волновой ряби, отчетливо выраженная косая слоистость, иногда грубая ритмичность, петроглифы поверхностей напластования, обильные ходы червей-илоедов, а также характерный комплекс органических остатков — флоры и бедной однообразной фауны моллюсков. Общая мощность отложений достигает 2100 м. Ранне-среднепермский возраст свиты обоснован находками ископаемой флоры, а также остатков раковин пелеципод, брахиопод и гастропод (Анохин и др., 2011; Геология..., 1969).

Следует отметить, что п-ов Муравьева-Амурского, являясь одной из наиболее доступных и биостратиграфически хорошо изученных территорий Дальнего Востока, в литологическом отношении остается крайне слабо исследованным. Практически не существует каких-либо достоверных данных о вещественном составе слагающих его отложений, в том числе и пермских. Известны лишь единичные публикации, в которых приводится петрографическое

описание пород с указанием примерного состава породообразующих компонентов и, иногда, тяжелых обломочных минералов (Анохин и др., 2011; Сясько и др., 2016; Тащи, 1973), но при этом каких-либо выводов об обстановках накопления отложений и источниках их питания не делается. Очевидно, что имеющихся литологических сведений явно недостаточно для обоснованных выводов о геодинамической природе и пространственно-тектоническом положении всего Воз-

несенского террейна в ряду структур восточной окраины Азии.

Цель статьи — в какой-то мере восполнить этот пробел. В работе приведены первые результаты детального изучения вещественного состава терригенных пород поспеловской свиты. Рассмотрены петрографический и геохимический состав песчаных пород, содержание и соотношения в них породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов. Интерпретация

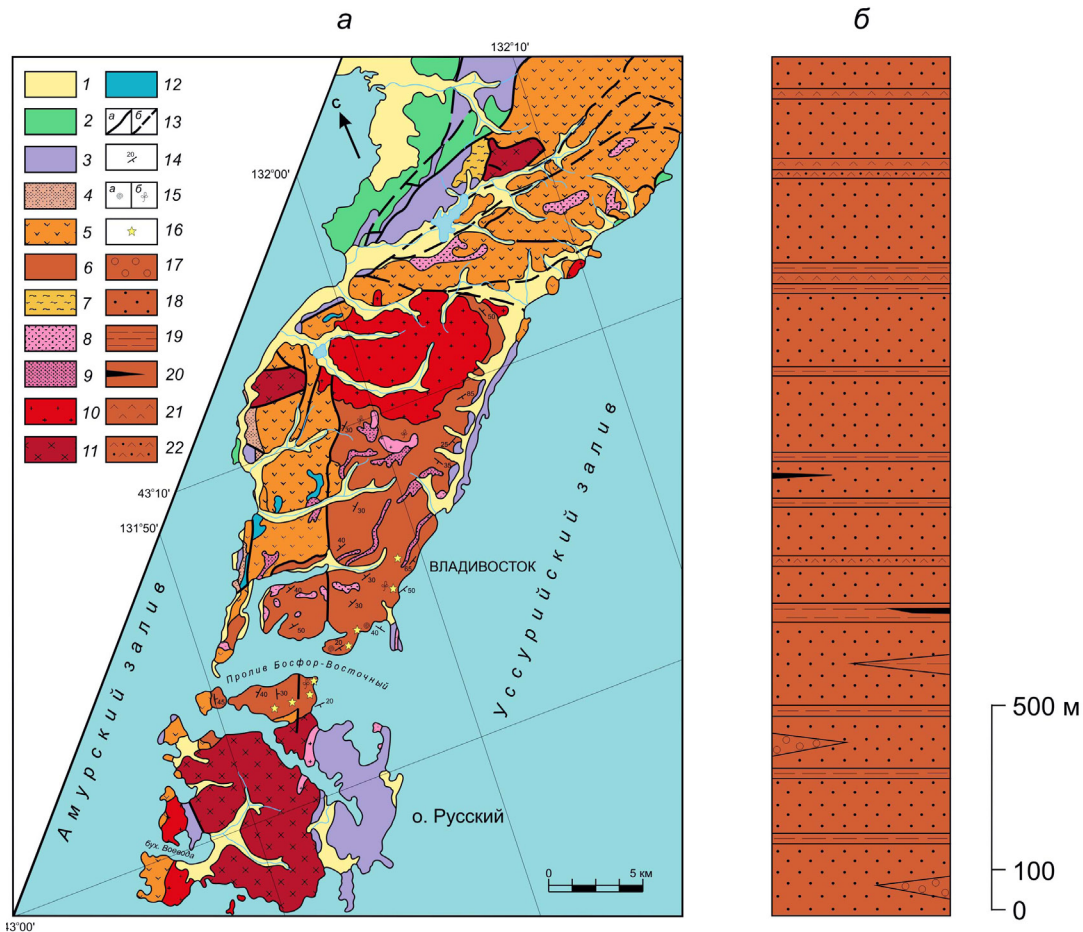


Рис. 2. Геологическая карта территории полуострова Муравьева-Амурского и острова Русский (а) и сводная стратиграфическая колонка ниже-среднепермских отложений поспеловской свиты (б). 1 — четвертичные отложения (Q); 2 — никанская серия (K_1); 3 — ниже-верхнетриасовые отложения, объединенные (T); 4–7 — свиты: 4 — чандалазская (P_3cn), 5 — владивостокская (P_2vl), 6 — поспеловская (P_{1-2ps}), 7 — люторгская (D_{2-3lt}); 8–9 — риолиты: 8 — поздне меловые (λK_2), 9 — позднепермские (λP_3); 10–11 — граниты и гранодиориты: 10 — позднепермские (γP_3), 11 — раннепалеозойские (γPz_1); 12 — позднепермские диабазы (βP_3); 13 — разломы установленные (а), предполагаемые (б); 14 — элементы залегания; 15 — места находок ископаемой фауны (а) и флоры (б); 16 — расположение разрезов, из которых отбирались образцы; 17 — конгломераты и гравелиты; 18 — песчаники; 19 — алевролиты и аргиллиты; 20 — угли; 21 — андезиты; 22 — туфы и туффиты среднего состава.

Fig. 2. Geological map of the Muravyov-Amursky Peninsula and Russky Island (a), and a composite stratigraphic column of the Lower-Middle Permian deposits of the Pospelovo formation (b). 1 — Quaternary deposits (Q), 2 — Nikanka Series (K_1), 3 — Lower-Upper Triassic deposits, combined (T); 4–7 — Permian Formations: 4 — Chandalaza (P_3cn), 5 — Vladivostok (P_2vl), 6 — Pospelovo (P_{1-2ps}), 7 — Devonian Lyutorga formation (D_{2-3lt}); 8–9 — rhyolites: 8 — Late Cretaceous (λK_2), 9 — Late Permian (λP_3); 10–11 — granites and granodiorites: 10 — Late Permian (γP_3), 11 — Early Paleozoic (γPz_1); 12 — Late Permian diabases (βP_3); 13 — faults established (a), supposed (b); 14 — bedding elements; 15 — locations of fossil fauna (a) and flora (b) finds; 16 — location of sections from which samples were taken; 17 — conglomerates and gravelites; 18 — sandstones; 19 — siltstones and argillites; 20 — coals; 21 — andesites; 22 — tuffs and tuffites of intermediate composition.

полученных данных позволила определить тип и состав пород областей питания бассейна седиментации, а также выяснить геодинамическую обстановку их формирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были песчаные породы нижнее-среднепермской поспеловской свиты распространенной в южной части Вознесенского террейна (Приморский край) на п-ве Муравьева-Амурского и о. Русском. Образцы отбирались из естественных коренных береговых обнажений вдоль побережья Японского моря, а также в искусственных карьерах и выемках вдоль автомобильных дорог.

Состав, содержание и соотношение породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов в песчаниках исследовались с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 (Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия). Методика минералого-петрографических исследований традиционна, многократно апробирована, а ее детали приведены в целом ряде публикаций (Малиновский и др., 2005, 2006; Маркевич и др., 1987 и др.). Для геохимических исследований было выбрано 38 образцов песчаных пород. Определение содержания петрогенных элементов проводилось методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 7600 Duo. Концентрации редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) устанавливались на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500с. Детальнее методики исследований описаны в статье (Блохин и др., 2022). Все аналитические исследования выполнены в Центре коллективного пользования 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).

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОРОД

Для выяснения палеогеодинамических обстановок формирования отложений поспеловской свиты, а также установления тектонических типов и состава материнских пород источников питания, был изучен петрографический состав песчаников, содержание и соотношение в них породообразующих компонентов и тяжелых обломочных минералов, а также геохимические особенности пород.

Песчаники свиты по размерности от мелко- до крупнозернистых, обычно обладают средней, реже хорошей степенью сортированности

обломочного материала, которая с увеличением размерности несколько ухудшается. Зерна, как правило, угловатые и угловато-окатанные, реже окатанные, чаще всего изометричные либо незначительно удлиненные. Довольно часто встречаются рассеянные по всему объему породы мелкие бесформенные обрывки и тонкие линзочки растительного детрита.

По соотношению породообразующих компонентов песчаники однотипны и относятся к полимиктовым. Их обломочная часть содержит от 30 до 44 % кварца. Это в основном изометричные и слабо удлиненные монокристаллические зерна с волнистым погасанием, происходящие из кислых эффузивов, либо поликристаллические разности, свойственные для гранитоидов. Количество полевых шпатов варьирует от 26 до 40 %, причем это в основном кислые плагиоклазы — альбит и олигоклаз (50–90 % всех полевых шпатов). Доля калиевых полевых шпатов, представленных преимущественно изометричными зернами ортоклаза, колеблется от 5 до 15 %. Основные и средние плагиоклазы малочисленны. Обломки пород в сумме составляют 24–44 % всех зерен и представлены, в основном, фрагментами кремнистых, терригенных, а также кислых и средних магматических пород (каждая из групп составляет 30–60 % всех обломков), значительно реже встречаются кварциты и сланцы. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова (1967) (рис. 3) песчаники образуют единое поле, локализуясь преимущественно в области полевошпатово-кварцевых и, реже, кварцево-полевошпатовых граувакк. Таким образом, состав и соотношение породообразующих компонентов песчаников позволяют предполагать, что исходными породами главной питающей провинции в период накопления отложений поспеловской свиты, были кислые и средние вулканические и интрузивные, а также древние терригенные и кремнистые породы.

Поскольку, как известно, различным тектоническим обстановкам седиментации свойственны определенные ассоциации тяжелых минералов (Малиновский и др., 2006; Garzanti, Ando, 2007; Markevich et al., 2007 и др.), в песчаниках свиты были изучены состав, содержание и характер соотношения между отдельными минералами (рис. 4). В результате проведенных исследований установлено, что среди всех тяжелых минералов резко доминирует циркон, содержание которого в среднем составляет 62 %, а в некоторых пробах достигает 74–83 %. В ассоциации с ним обычно находятся турмалин (иногда до 45–60 %), лейкоксен (до 10–15 %) и, значительно реже, гранат, апатит, ильменит и рутил. Происхождение всех этих минералов связано, как правило, с размывавшимися кислыми

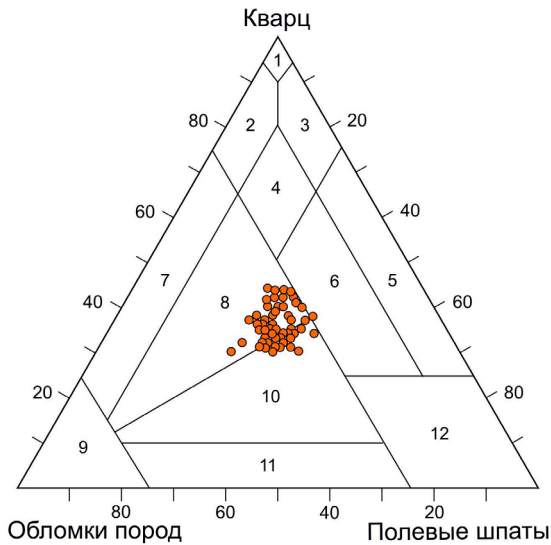


Рис 3. Состав порообразующих компонентов песчанников из отложений поспеловской свиты по (Шутов, 1967). Поля типов песчанников: 1–4 — кварцевые песчанники: 1 — мономиктовые кварцевые, 2 — кремнекластито-кварцевые, 3 — полевошпатово-кварцевые, 4 — мезомиктовые кварцевые; 5–6 — аркозовые песчанники: 5 — собственно аркозы; 6 — граувакковые аркозы; 7–8 — граувакковые песчанники: 7 — кварцевые граувакки; 8 — полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 — собственно граувакки; 10 — кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 — полевошпатовые граувакки; 12 — кристаллотуфы.

Fig. 3. Composition of rock-forming components of sandstones from the Pospelovo Formation deposits (Shutov, 1967). 1–4 — quartz sandstones: 1 — monomictic, 2 — silicoclastic, 3 — feldspar–quartz, 4 — mesomictic; 5–6 — arkoses sandstones: 5 — proper arkoses, 6 — graywacke arkoses; 7–11 — graywackes sandstones: 7 — quartz graywackes, 8 — feldspar–quartz graywackes, 9 — proper graywackes, 10 — quartz–feldspar graywackes, 11 — feldspar graywackes; 12 — crystal tuffs.

изверженными и метаморфическими породами. Обнаруженные в песчанниках хромит и амфибол принадлежат к минералам, происходящим из основных и ультраосновных магматических пород. Они находятся в резко подчиненном количестве: содержания хромита лишь в нескольких пробах превышает 20 %, а амфиболов не достигают и 1 %.

Для геохимической характеристики песчаных пород поспеловской свиты, а также дальнейших палеогеодинамических интерпретаций, использовались частные анализы по отдельным пробам (табл. 1, 2).

Песчаные породы свиты имеют сходный химический состав (табл. 1). Наблюдающиеся колебания в содержаниях некоторых петрогенных оксидов связаны, вероятно, с присутствием в отдельных пробах примеси пирокластике, влиянием локальных источников сноса, а также изменениями фациальных обстановок в про-

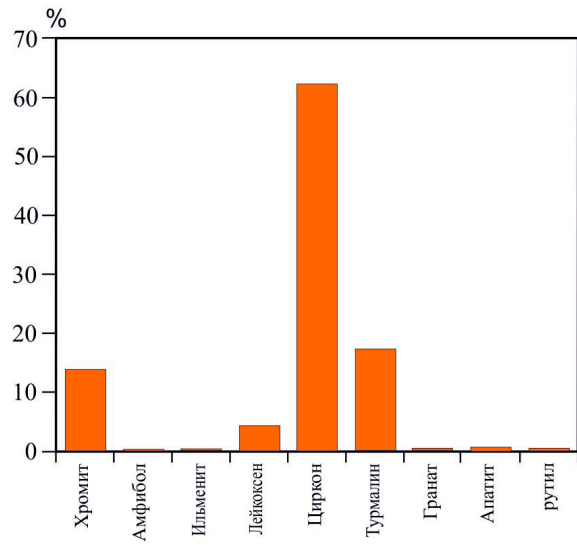


Рис 4. Распределение тяжелых обломочных минералов в песчаных породах поспеловской свиты (средние содержания).

Fig. 4. Distribution of heavy clastic minerals in the sandy rocks of the Pospelovo Formation (average content)

цессе седиментации. Породы характеризуются довольно высоким содержанием кремнекислоты, варьирующим в диапазоне от 73.73 до 87.80 % при среднем значении 78.89 %. Концентрации остальных порообразующих оксидов напротив невысоки: TiO_2 (0.13–0.54 % при среднем значении 0.31 %), Al_2O_3 (5.65–12.80 % и 9.25 % соответственно), $FeO+Fe_2O_3$ (0.62–3.75 % и 2.25 %), MgO (0.17–0.90 % и 0.43 %) и CaO (0.05–3.25 % и 0.43 %). На классификационной диаграмме Ф.Дж. Петтиджона с соавторами (Pettijohn et al., 1972) (рис. 5a) фигуративные точки песчанников свиты образуют единое поле, группируясь преимущественно в области лититовых аренитов и аркозов, а также частично попадая в поля субаркозов. Свойственное для изученных пород преобладание K_2O над Na_2O (1.35–3.34 % и 0.79–2.31 % соответственно) еще больше сближает их с аркозами. Об этой же близости свидетельствуют и низкие (0.01–0.06) значения фемического модуля $FM=(Fe_2O_3+FeO+MnO+MgO)/SiO_2$, используемого для разделения граувакк и аркозов (Юдович, Кетрис, 2000).

Геохимические особенности терригенных пород, помимо состава обломочной части, во многом определяются и степенью их «зрелости», т.е. интенсивностью процессов химического выветривания материнских пород областей питания. Роль и интенсивность этих процессов оценивается по ряду литохимических индексов (модулей). Количественную оценку степени зрелости пород дает величина гидролизатного модуля $GM=(Al_2O_3+TiO_2+Fe_2O_3+FeO+MnO)/SiO_2$ (Юдович, Кетрис, 2000). В песчанниках свиты

Таблица 1. Содержание петрогенных элементов (мас. %) в песчаных породах послепеловской свиты Южного Приморья
Table 1. Content of petrogenic elements (wt. %) in sandy rocks of the Pospelovo formation of Southern Primorye

Номер пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O-п.п.п.	ГМ	ТМ	ЖМ	ФМ	НКМ	СИА	WIP
P-1	76.27	0.39	12.51	0.62	1.94	0.02	0.59	0.26	2.00	2.71	0.08	0.09	0.20	0.031	0.20	0.04	0.38	65	42
P-2	75.48	0.43	11.65	0.48	1.76	0.03	0.69	0.30	2.03	2.53	0.06	0.31	0.19	0.037	0.19	0.04	0.39	63	41
P-3	73.73	0.38	12.56	1.29	2.46	0.03	0.72	0.30	1.96	2.90	0.09	0.27	0.23	0.031	0.29	0.06	0.39	65	43
P-5	77.22	0.31	11.64	0.58	1.76	0.02	0.47	0.18	1.68	2.75	0.06	0.56	0.19	0.026	0.20	0.04	0.38	66	39
P-6	75.95	0.39	12.80	0.51	1.69	0.02	0.57	0.20	1.94	2.83	0.07	0.18	0.20	0.030	0.17	0.04	0.37	66	42
P-8	84.3	0.18	7.25	0.04	0.58	0.00	0.17	0.09	0.97	2.06	0.01	0.29	0.10	0.024	0.08	0.01	0.42	65	27
P-11	78.52	0.31	10.85	0.90	1.67	0.02	0.56	0.18	1.72	2.09	0.07	0.01	0.18	0.028	0.23	0.04	0.35	67	34
P-12	78.15	0.26	10.65	0.84	2.55	0.03	0.63	0.18	1.72	1.82	0.12	0.22	0.18	0.025	0.31	0.05	0.33	68	32
P-13	73.86	0.48	10.85	1.29	2.44	0.09	0.90	3.22	1.13	1.38	0.26	0.22	0.21	0.043	0.33	0.06	0.33	54	31
P-15	73.57	0.54	11.59	0.96	2.64	0.03	0.74	0.24	1.57	3.34	0.12	0.86	0.21	0.046	0.30	0.06	0.42	64	44
P-17	73.82	0.41	12.37	1.02	2.47	0.06	0.76	0.75	1.99	2.37	0.11	0.22	0.22	0.033	0.28	0.06	0.35	63	40
P-21	83.23	0.22	9.21	0.40	0.62	0.01	0.23	0.07	1.45	1.81	0.04	0.32	0.13	0.024	0.11	0.02	0.35	67	29
P-23	84.30	0.22	8.12	0.60	1.01	0.01	0.26	0.11	1.44	1.65	0.06	0.48	0.12	0.027	0.19	0.02	0.38	65	28
P-27	76.69	0.52	11.27	1.46	1.95	0.02	0.54	0.09	1.74	2.13	0.07	0.24	0.20	0.046	0.29	0.05	0.34	68	34
P-28	74.83	0.36	12.01	0.78	2.11	0.05	0.61	0.80	2.05	2.33	0.07	0.35	0.20	0.030	0.24	0.05	0.37	62	41
P-30	78.02	0.31	10.20	0.28	1.49	0.03	0.51	0.86	1.95	2.01	0.06	0.05	0.16	0.030	0.17	0.03	0.39	59	37
P-32	80.75	0.31	10.08	0.32	1.42	0.01	0.39	0.13	1.78	2.26	0.05	0.35	0.15	0.031	0.17	0.03	0.40	64	36
P-32/1	81.04	0.32	9.97	0.12	1.41	0.01	0.48	0.13	1.84	2.02	0.05	0.13	0.15	0.033	0.15	0.02	0.39	65	34
P-33	76.87	0.39	12.13	0.68	1.68	0.01	0.55	0.15	2.00	2.60	0.07	0.35	0.19	0.032	0.19	0.04	0.38	66	41

ЛИТОЛОГИЯ И ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continued

Номер гробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O- п.п.п.	ГМ	ТМ	ЖМ	ФМ	НКМ	СИА	WIP
P-34	83.52	0.19	7.67	0.05	2.22	0.02	0.43	0.16	1.23	1.98	0.04	0.57	0.12	0.025	0.29	0.03	0.42	63	29
P-35	83.30	0.26	8.73	0.13	1.13	0.02	0.32	0.08	1.50	2.20	0.02	0.41	0.12	0.030	0.14	0.02	0.42	64	33
P-36	74.46	0.39	12.50	0.85	1.77	0.03	0.66	0.51	2.32	2.88	0.07	0.47	0.21	0.032	0.21	0.04	0.42	61	47
P-37	81.56	0.25	8.52	1.56	0.75	0.04	0.33	0.72	1.76	1.97	0.08	0.14	0.14	0.029	0.27	0.03	0.44	57	35
P-38	76.91	0.37	11.36	0.68	1.86	0.04	0.48	0.43	2.30	2.32	0.07	0.31	0.19	0.033	0.22	0.04	0.41	62	42
P-39	78.40	0.28	9.74	0.85	1.01	0.04	0.28	1.56	1.92	2.28	0.08	0.42	0.15	0.029	0.19	0.03	0.43	54	41
P-40	79.74	0.30	9.56	0.53	1.56	0.03	0.42	0.16	1.86	2.05	0.06	0.09	0.15	0.032	0.21	0.03	0.41	63	35
P-42	79.23	0.28	10.89	0.60	0.53	0.01	0.25	0.05	1.58	2.66	0.05	0.12	0.16	0.025	0.10	0.02	0.39	66	37
P-43	77.09	0.35	11.39	0.76	1.76	0.03	0.54	0.33	1.91	2.37	0.07	0.22	0.19	0.031	0.21	0.04	0.37	65	39
P-45	75.95	0.39	11.97	0.44	1.90	0.02	0.44	0.12	1.82	2.97	0.07	0.41	0.19	0.032	0.19	0.04	0.40	65	42
P-48	87.51	0.13	5.65	0.07	1.29	0.03	0.19	0.78	0.88	1.59	0.06	0.18	0.08	0.023	0.24	0.02	0.44	55	24
P-49	79.68	0.25	9.67	0.55	2.04	0.02	0.37	0.09	1.22	2.60	0.09	0.55	0.16	0.025	0.26	0.04	0.39	66	34
P-50	74.06	0.47	12.06	0.72	2.69	0.05	0.56	0.39	1.78	3.21	0.05	0.71	0.22	0.039	0.28	0.05	0.41	63	45
P-51	74.83	0.44	11.59	1.06	2.53	0.06	0.54	0.52	1.83	3.17	0.05	0.64	0.21	0.038	0.30	0.06	0.43	61	45
P-53	83.35	0.13	7.76	0.19	2.51	0.02	0.43	0.08	0.98	1.90	0.03	0.28	0.13	0.017	0.34	0.04	0.37	67	25
P-54	87.49	0.16	6.09	0.07	1.68	0.01	0.31	0.07	0.79	1.42	0.03	0.24	0.09	0.026	0.28	0.02	0.36	67	20
P-55	87.80	0.16	5.89	0.11	1.48	0.01	0.37	0.06	0.84	1.35	0.03	0.21	0.09	0.028	0.26	0.02	0.37	67	19
P-57	80.64	0.31	9.20	0.51	1.71	0.03	0.42	0.46	1.42	2.22	0.06	0.40	0.15	0.033	0.24	0.03	0.40	62	33
P-58	78.97	0.33	10.22	0.62	1.73	0.03	0.48	0.40	1.65	2.29	0.07	0.32	0.16	0.032	0.23	0.04	0.39	63	36

Таблица 2. Содержание редких и редкоземельных элементов (г/т) в песчаных породах послеполовской свиты Южного Приморья
 Table 2. Content of rare and rare earth elements (ppm) in sandy rocks of the Pospelovo formation of Southern Primorye

Номер пробы	Sc	Cr	Co	Zr	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Eu/Eu*	[La/Yb]n
P-1	5.65	115.2	4.14	197.7	8.89	20.95	54.57	4.92	19.93	4.14	0.83	4.20	0.62	2.78	0.69	2.07	0.35	3.00	0.43	5.65	0.60	4.63
P-2	6.61	21.58	4.99	183.7	9.75	25.98	56.82	5.37	23.28	3.81	1.00	3.32	0.43	2.91	0.54	2.27	0.22	1.81	0.28	3.99	0.82	9.54
P-3	6.39	167.5	5.62	163.1	9.04	22.37	56.72	5.11	22.23	4.49	1.16	4.48	0.66	3.57	0.67	2.07	0.35	2.58	0.36	5.18	0.77	5.76
P-5	3.80	23.09	5.97	181.4	7.12	20.81	46.05	4.77	17.81	3.51	0.78	3.16	0.49	1.97	0.40	1.26	0.18	1.47	0.20	4.01	0.69	9.41
P-6	5.15	89.1	4.33	166.1	9.30	22.60	61.77	4.95	20.49	3.60	0.80	3.14	0.58	2.93	0.61	1.65	0.32	2.65	0.37	4.96	0.70	5.65
P-8	2.90	18.36	3.14	112.1	5.57	13.90	31.69	3.24	11.70	2.55	0.65	2.54	0.33	2.06	0.32	1.18	0.16	1.19	0.18	3.13	0.76	7.78
P-11	4.42	84.7	3.79	142.2	7.54	21.92	58.12	5.25	20.78	3.72	0.69	3.59	0.48	2.34	0.56	1.54	0.23	2.35	0.22	4.64	0.56	6.20
P-12	3.82	173.3	3.14	143.9	6.32	20.70	51.02	4.47	17.25	2.84	0.75	3.09	0.42	2.04	0.54	1.38	0.27	1.81	0.27	4.27	0.76	7.57
P-13	24.1	18.58	15.20	193.7	6.18	11.38	28.66	3.65	18.72	4.48	1.54	5.89	0.79	5.65	0.99	3.82	0.43	3.84	0.54	4.05	0.90	4.97
P-15	8.31	33.95	7.63	289.1	11.35	27.79	62.57	6.61	26.24	5.77	1.41	5.86	0.91	3.75	0.80	2.24	0.30	2.71	0.27	6.05	0.72	6.81
P-17	5.30	239.9	4.97	228.5	9.69	24.52	61.82	5.67	23.38	4.86	1.16	4.80	0.65	3.50	0.81	1.95	0.32	2.40	0.38	6.66	0.72	6.78
P-21	3.61	171.9	0.97	116.6	5.48	19.51	45.47	4.27	15.39	2.48	0.51	2.32	0.31	1.86	0.44	1.31	0.21	1.71	0.27	4.01	0.63	7.57
P-23	3.00	14.15	5.00	126.0	5.25	19.52	44.46	4.35	15.86	2.92	0.70	2.27	0.34	1.66	0.31	1.14	0.16	1.32	0.18	2.96	0.78	9.82
P-27	5.82	444.8	4.98	609.7	11.81	21.90	61.92	5.12	21.35	4.36	0.94	3.15	0.61	2.95	0.69	2.10	0.42	3.16	0.38	16.03	0.73	4.60
P-28	4.05	82.0	4.38	174.7	8.03	24.29	59.87	5.64	22.37	5.01	1.05	4.69	0.64	3.20	0.64	1.93	0.35	2.42	0.34	5.31	0.64	6.65
P-30	5.14	56.5	4.15	138.9	8.10	24.48	61.97	5.11	20.33	3.70	0.95	3.75	0.50	2.89	0.56	1.71	0.28	2.31	0.34	4.43	0.76	7.04
P-32	3.80	23.06	4.21	177.1	7.09	20.58	44.02	4.51	16.40	3.10	0.81	2.78	0.39	2.12	0.44	1.08	0.19	1.53	0.19	4.04	0.81	8.91
P-32/1	5.01	25.13	4.29	204.9	8.78	26.55	56.62	5.28	22.95	3.40	0.92	3.63	0.45	2.56	0.51	1.65	0.21	1.89	0.26	4.69	0.78	9.31
P-33	5.09	130.6	2.33	196.8	9.80	28.75	71.87	6.60	26.58	5.41	1.21	4.33	0.66	3.06	0.77	2.05	0.41	2.50	0.32	6.50	0.73	7.63

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continued

Номер пробы	Sc	Cr	Co	Zr	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Eu/Eu*	[La/Yb]n
P-34	3.20	29.18	6.09	106.1	4.84	16.37	37.81	3.86	13.68	2.69	0.94	2.18	0.38	1.52	0.32	1.09	0.15	1.39	0.19	2.27	0.90	7.80
P-35	3.00	23.57	4.83	165.5	6.54	20.77	44.12	4.39	17.13	3.13	0.81	2.47	0.46	1.82	0.38	1.31	0.20	1.67	0.21	3.39	0.85	8.27
P-36	5.18	155.5	5.18	182.2	10.19	29.20	73.47	6.23	25.58	4.64	1.24	4.42	0.66	3.43	0.71	2.34	0.37	2.80	0.36	6.09	0.81	6.91
P-37	5.11	15.41	2.92	129.4	6.52	20.25	44.97	4.50	18.92	3.22	0.81	2.75	0.39	2.29	0.47	1.37	0.18	1.46	0.23	2.89	0.80	9.20
P-38	5.02	311.2	3.66	212.1	9.00	23.01	57.87	5.73	21.61	5.01	1.16	4.14	0.70	3.71	0.77	1.93	0.29	2.44	0.38	5.93	0.75	6.25
P-39	3.20	22.30	3.52	146.8	6.46	18.51	41.38	4.22	15.98	3.11	0.82	2.77	0.38	2.18	0.41	1.36	0.22	1.77	0.22	3.37	0.82	6.94
P-40	5.09	180.4	3.87	161.0	7.87	22.17	56.07	5.09	19.52	3.89	0.77	2.82	0.44	2.17	0.56	1.53	0.31	2.00	0.30	4.95	0.67	7.35
P-42	5.15	171.0	0.70	140.9	7.39	23.91	61.84	5.44	21.90	4.04	1.01	3.18	0.60	2.45	0.58	1.58	0.31	1.92	0.33	4.29	0.82	8.25
P-43	5.44	105.26	4.59	184.83	7.92	21.95	53.09	4.98	19.90	3.85	0.94	3.55	0.53	2.72	0.57	1.74	0.27	2.15	0.30	4.95	0.71	6.44
P-45	3.70	32.70	5.00	220.3	8.77	25.42	57.58	5.88	21.81	4.05	0.94	3.84	0.57	2.49	0.53	1.38	0.26	1.87	0.28	5.78	0.71	9.03
P-48	1.70	7.83	3.24	79.94	3.66	12.29	28.43	2.83	9.72	2.74	0.55	2.25	0.32	1.63	0.32	1.10	0.15	0.99	0.19	2.27	0.65	8.20
P-49	3.50	18.82	1.63	129.6	6.27	23.48	51.73	5.43	18.39	2.99	0.63	2.43	0.39	1.79	0.36	1.31	0.18	1.59	0.15	3.01	0.69	9.80
P-50	5.01	37.54	8.59	266.7	11.22	28.95	66.18	6.92	28.24	5.46	1.19	4.50	0.66	3.34	0.76	1.76	0.32	2.69	0.36	7.16	0.70	7.14
P-51	4.60	34.46	5.25	283.8	8.89	24.10	51.83	5.65	21.26	4.71	1.02	3.79	0.67	2.67	0.53	1.98	0.32	2.01	0.31	6.97	0.70	7.94
P-53	3.00	9.31	2.10	79.9	3.18	13.42	33.63	3.25	12.11	2.86	0.61	2.17	0.34	1.13	0.19	0.84	0.13	0.92	0.18	1.83	0.71	9.65
P-54	2.30	15.22	2.33	92.0	4.34	16.23	36.98	3.61	12.69	2.15	0.60	2.15	0.32	1.39	0.29	1.08	0.17	1.12	0.15	2.32	0.83	9.58
P-54/1	2.90	11.94	1.99	100.0	4.48	16.70	37.73	3.36	13.14	2.03	0.60	2.35	0.26	1.85	0.28	1.03	0.15	0.92	0.15	2.32	0.83	11.08
P-57	4.92	87.47	4.44	180.8	7.51	21.54	51.40	4.92	19.25	3.76	0.90	3.39	0.51	2.54	0.54	1.62	0.26	2.00	0.28	4.79	0.76	8.27
P-58	4.96	85.76	4.42	178.1	7.53	21.55	51.32	4.90	19.28	3.73	0.90	3.39	0.51	2.56	0.53	1.63	0.26	1.98	0.28	4.71	0.75	7.70

значения ГМ невелики и изменяются от 0.09 до 0.23, что может свидетельствовать о заметной роли процессов выветривания в областях сноса. Об интенсивности выветривании исходных пород свидетельствуют и относительно высокие для песчаников (54–68) значения индекса химического изменения $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$ (Nesbitt, Young, 1982), а также низкие (19–47) величины индекса выветривания $WIP = 100 \times (2 \times Na_2O / 0.35 + MgO / 0.9 + 2 \times K_2O / 0.25 + CaO / 0.7)$ (Parker, 1970). Это, в целом, свидетельствует, что область питания была сложена достаточно геохимически «зрелыми», в заметной степени выветрелыми исходными породами (рис. 5б) (Bahlburg, Dobrzinski, 2011).

Литохимические особенности песчаных пород достаточно объективно отражает ряд предложенных Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис (2000) литохимических модулей. Величины титанового $ТМ = TiO_2 / Al_2O_3$ и железного $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$ модулей позволяют судить о составе материнских пород областей питания. Изученные песчаные породы характеризуются относительно невысокими их значениями (0.017–0.046 и 0.08–0.34 соответственно), что связано с

преобладанием в области размыва кислых магматических пород, обладающих, в свою очередь, низкими значениями ТМ и ЖМ. Помимо этого, породы свиты характеризуются повышенными значениями модуля нормированной щелочности $HKM = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ (0.33–0.44) что, в целом, сближает их с типичными аркозами и объясняется присутствием в обломочной части продуктов размыва кислых изверженных пород — слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых (Юдович, Кетрис, 2000).

По концентрации и характеру распределения РЗЭ песчаники поспеловской свиты достаточно близки между собой (табл. 2). Суммарные содержания РЗЭ в них относительно невелики и варьируют в пределах от 64 до 155 г/т (в среднем 113 г/т), что заметно меньше среднего значения (146.4 г/т) для верхней континентальной коры (Taylor, McLennan, 2009). Спектры их распределения, нормализованные к составу хондрита (Boynnton, 1984) (рис. 6), во всех пробах однотипны и характеризуются умеренной степенью фракционирования, сравнительно невысоким соотношением LaN/YbN , варьирующем от 4.60 до 11.08, при среднем значении 7.74, а также достаточно отчетливо выраженной отрицательной европиевой

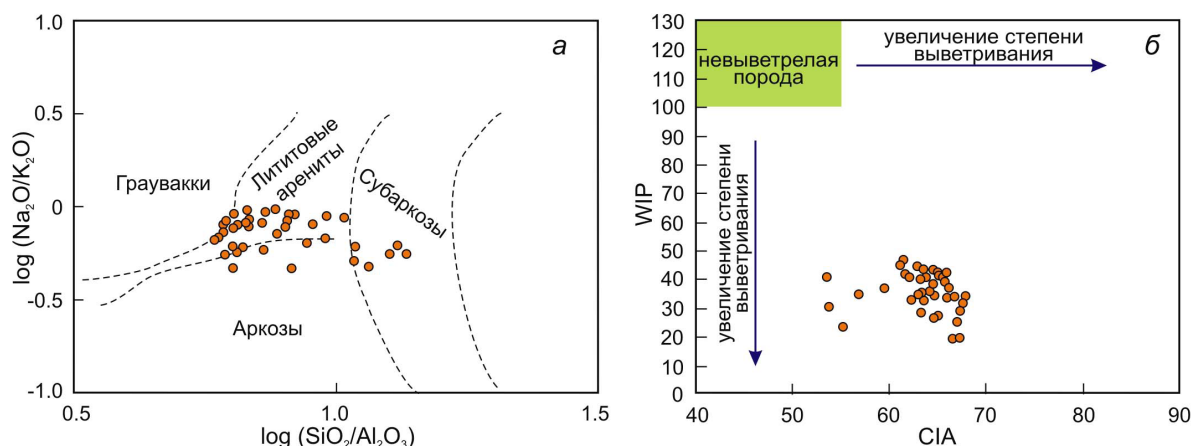
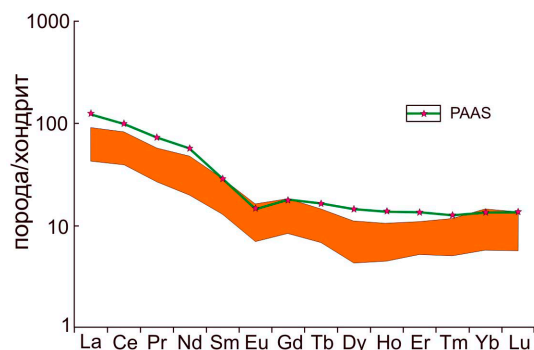


Рис. 5. Классификационная диаграмма $\log(Na_2O/K_2O) - \log(SiO_2/Al_2O_3)$ по (Pettijohn et al., 1972) (а) и диаграмма степени химического выветривания $CIA - WIP$ по (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) (б) для песчаных пород поспеловской свиты. Объяснение размерности коэффициентов см. в тексте.

Fig. 5. $\log(Na_2O/K_2O) - \log(SiO_2/Al_2O_3)$ classification diagram (Pettijohn et al., 1972) (a) and $CIA - WIP$ chemical weathering degree diagram (Bahlburg, Dobrzinski, 2011) (b) for sandy rocks of the Pospelovo Formation. See the text for an explanation of the dimensionality of the coefficients.

Рис. 6. Спектры распределения РЗЭ, нормированные к хондриту по (Boynnton, 1985), в песчаных породах поспеловской свиты и сопоставление их с PAAS по (Taylor, McLennan, 2009).

Fig. 6. REE distribution spectra normalized to chondrite (Boynnton, 1984) in sandy rocks of the Pospelovo Formation and their comparison with PAAS (Taylor, McLennan, 2009).



аномалией (Eu/Eu^* от 0.56 до 0.90, в среднем 0.75). По сравнению с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (PAAS) (Taylor, McLennan, 2009), породы обычно незначительно обеднены всеми элементами (до 3 раз) и лишь в отдельных пробах они находятся в равных либо незначительно более высоких концентрациях.

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные, полученные в результате изучения вещественного состава песчаных пород поспеловской свиты Южного Приморья, позволяют реконструировать палеогеодинамическую обстановку их формирования, а также определить тектонический тип и породный состав областей питания, поставлявших обломочный материал в бассейны седиментации. Для палеогеодинамической интерпретации использован ряд широко известных дискриминантных диаграмм, построенных на основании сравнения результатов изучения древних терригенных пород и современных осадков, характеризующих известные типы областей питания и геодина-

мических обстановок формирования бассейнов осадконакопления (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986; Cullers, 2002; Dickinson, Suczek, 1979; Floyd, Leveridge, 1987; Garzanti, Ando, 2007; McLennan et al., 1993; Roser, Korsch, 1986, 1988).

Проведенные исследования показывают, что по своим минералого-геохимическим параметрам песчаные породы свиты являются петрогенными, относятся к лититовым арени-там, аркозам и, частично, субаркозам, характеризуются довольно высокой степенью зрелости обломочного материала, а их формирование происходило за счет размыва в заметной степени выветрелых материнских пород областей сноса.

Петрографический состав песчаных пород, содержащих достаточно большое количество обломков кварца, плагиоклазов, в том числе калиевых, а также фрагментов кислых магматических и метаморфических пород, позволяет предполагать, что обломочный материал поступал, главным образом, из континентальных источников — кратонов и поднятых блоков основания, представляющих собой выступы древнего кристаллического фундамента. Вместе с тем, на диаграмме Q–F–L В. Диккинсона и К. Сучека (Dickinson, Suczek, 1979) (рис. 7а), предназначенной

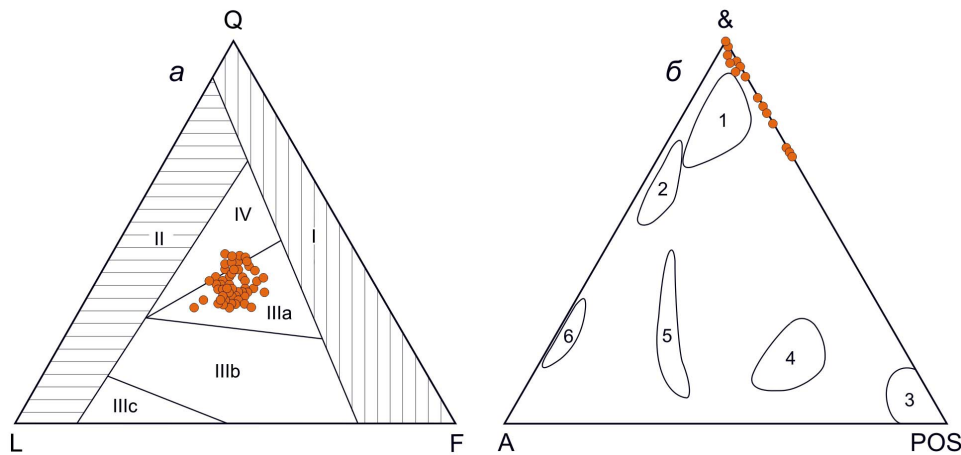


Рис. 7. Возможные типы областей питания для отложений поспеловской свиты. *a* — по порообразующим компонентам песчаников на диаграмме Q–L–F по (Dickinson, Suczek, 1979). Q — кварц, L — обломки пород, F — полевые шпаты. Типы областей питания: I — кратоны и поднятые блоки основания, II — ремобилизованные орогены, III — магматические дуги (IIIa — расчлененные, глубоко эродированные, IIIb — переходные, IIIc — нерасчлененные, слабо эродированные), IV — смешанные источники питания; *б* — по тяжелым обломочным минералам песчаников на диаграмме &–А–POS по (Garzanti, Ando, 2007). А — амфиболы и эпидоты, POS — клинопироксены, ортопироксены, оливины и хромиты, & — другие прозрачные минералы. Типы питающих провинций: 1 — континентальные блоки (кратоны и краевые части рифтов); 2 — коллизийные орогены; 3–6 — магматические дуги: 3 — неэродированные, 4 — переходные слабоэродированные, 5 — переходные эродированные, 6 — сильноэродированные.

Fig. 7. Possible types of source areas for rocks of the Pospelovo Formation. *a* — based on rock-forming components of sandstones in the diagram Q–L–F (Dickinson, Suczek, 1979). Q — quartz, L — rock fragments, F — feldspars. Types of source areas: I — cratons and uplifted basement blocks, II — remobilized orogens, III — magmatic arcs (IIIa — dissected, deeply eroded, IIIb — transitional, IIIc — undissected, weakly eroded), IV — mixed sources; *б* — based on heavy detrital minerals of sandstones in the diagram &–A–POS (Garzanti, Ando, 2007). A — amphiboles and epidotes, POS — clinopyroxenes, orthopyroxenes, olivines and chromites, & — other transparent minerals. Types of source areas: 1 — continental blocks (cratons and marginal parts of rifts); 2 — collisional orogens; 3–6 — magmatic arcs: 3 — uneroded, 4 — transitional weakly eroded, 5 — transitional eroded, 6 — strongly eroded.

для выявления тектонических типов источников питания, фигуративные точки песчаников формально попадают как в поля расчлененных, глубоко эродированные магматических дуг, так и источников смешанного происхождения, объединяющих континентальные и островодужные области питания. Наблюдающееся смещение точек в островодужную область может, вероятно, объясняться влиянием локальных источников сноса, присутствием примеси пирокластики, а также слабой дезинтеграцией обломочного материала в процессе переноса и осадконакопления.

Резкое преобладание в песчаниках поспеловской свиты циркон–турмалин–гранат–апатит–рутиловой ассоциации тяжелых минералов, а также анализ положения и соотношения между отдельными минералами и их ассоциациями на диаграмме A–&–POS (Garzanti, Ando, 2007) (рис. 7б) показывает, что на осадконакопление главное влияние оказывали размывавшиеся гранитно-метаморфические породы континентальных источников питания, слагавшие кратоны и выступы кристаллического фундамента в обрамлении рифтовых зон. Вместе с тем, присутствие в песчаниках свиты небольшого количества хромита и амфибола указывает на участие в составе области питания основных и ультраосновных магматических пород, возможно имевших островодужную природу.

Свойственные для песчаных пород поспеловской свиты высокие содержания кремнекислоты, низкие значения литохимических модулей ГМ, ФМ, ЖМ и ТМ, но повышенные НКМ, существенное преобладание K_2O над Na_2O , относительно невысокие суммарные концентрации РЗЭ, при относительно невысокой обогащенности легкими элементами по сравнению с тяжелыми, отчетливо выраженная отрицательная Eu аномалия, а также положение фигуративных точек пород на дискриминантных диаграммах, предназначенных для распознавания состава материнских пород питающих провинций (Cullers, 2002; Floyd, Leveridge, 1987; McLennan et al., 1993; Roser, Korsch, 1988) (рис. 8), свидетельствуют о формировании отложений свиты, главным образом, за счет разрушения кислых магматических и, частично, осадочных пород, обогащенных древними обломочными компонентами.

Известно, что определенным тектоническим типам питающих провинций соответствуют и определенные геодинамические обстановки формирования связанных с ними седиментационных бассейнов. Реконструкция палеогеодинамических обстановок накопления отложений поспеловской свиты не всегда однозначна. По породообразующим компонентам песчаников эта реконструкция осуществлялась при помощи

диаграммы Q–F–L (Maynard et al., 1982) (рис. 9а), на которой фигуративные точки изученных пород соответствуют как обстановкам бассейнов пассивных континентальных окраин, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены, так и бассейнов активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам.

Генетическая интерпретация геохимического состава песчаных пород свиты на дискриминантных диаграммах М. Бхатия и А. Крука (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986) (рис. 9б–з), предназначенных для разграничения бассейнов различных тектонических обстановок, песчаники свиты также попадают как в поля бассейнов пассивных, так и активных континентальных окраин. Более определенно обстановки пассивных окраин устанавливаются на диаграмме Б. Роузера и К. Корша (Roser, Korsch, 1986) (рис. 9и), на которой подавляющее большинство точек состава пород группируются в поле этой геодинамической обстановки. В целом же, особенности вещественного состава песчаных пород поспеловской свиты позволяет с достаточной долей уверенности говорить о ее формировании в обстановках, соответствующих бассейнам пассивных континентальных окраин, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты изучения и интерпретации полученных данных по вещественному составу песчаных пород ранне-среднепериской поспеловской свиты Южного Приморья, позволили воссоздать геодинамическую обстановку формирования ее отложений, а также определить тектонический тип и породный состав областей их питания.

Проведенные исследования показали, что по своим параметрам песчаники свиты достаточно однородны, являются петрогенными породами, относящимися к лититовым ареникам, аркозам и, частично, субаркозам, формирование которых происходило за счет размыва в заметной степени выветрелых материнских пород областей сноса.

Судя по высокому содержанию в песчаниках свиты кварца и кремнекислоты, доминированию сиалической ассоциации тяжелых минералов, заметному преобладанию K_2O над Na_2O , относительно невысокой обогащенности легкими РЗЭ по сравнению с тяжелыми, отчетливо выраженной отрицательной Eu аномалии, а также положению точек состава пород на дискриминационных диаграммах, главным источником вещества была континентальная суша — кратоны и поднятые блоки основания, представлявшие собой выступы кристаллического фундамента, сложенные кислыми гранитно-метаморфическими

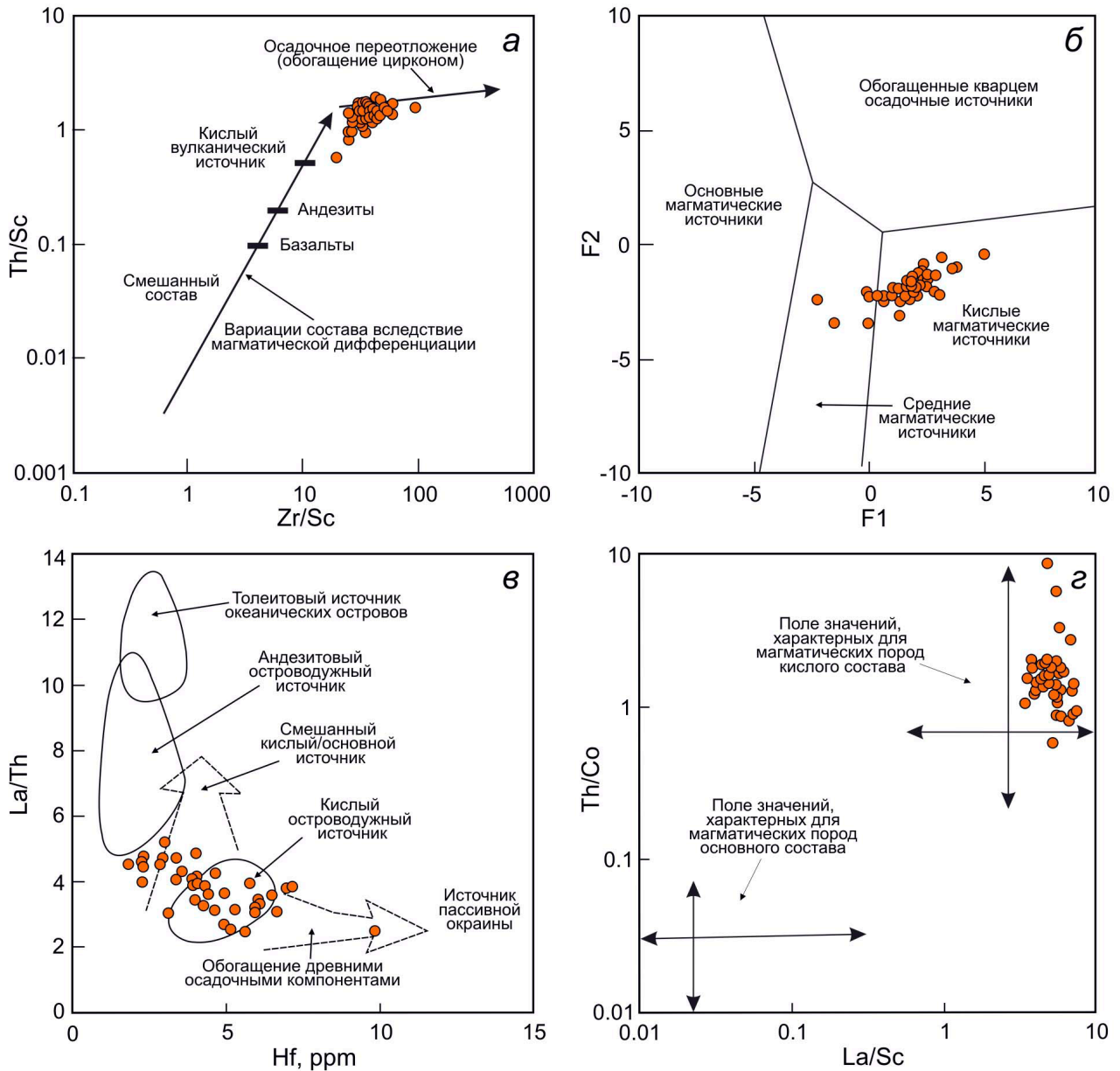


Рис. 8. Вероятные источники питания для песчаных пород поспеловской свиты по геохимическим данным на диаграммах: *a* — Zr/Sc–Th/Sc по (McLennan et al., 1993); *б* — F1–F2 по (Roser, Korsch, 1988). $F1=30.638 \times TiO_2/Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^*/Al_2O_3 + 7.329 \times MgO/Al_2O_3 + 12.031 \times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

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

комплексами и, частично, осадочными породами, обогащенными древними обломочными компонентами. Вместе с тем, присутствие в песчаниках свиты небольшого количества фемических тяжелых минералов указывает на участие в строении областей сноса также пород основного и ультраосновного состава.

Палеогеодинамическая интерпретация всей совокупности полученных в процессе

исследования данных свидетельствуют, что в ранне-среднепермское время осадконакопление происходило в бассейнах, связанных с обстановкой пассивной континентальной окраины, к которым относятся внутри- и межконтинентальные рифты и авлакогены.

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

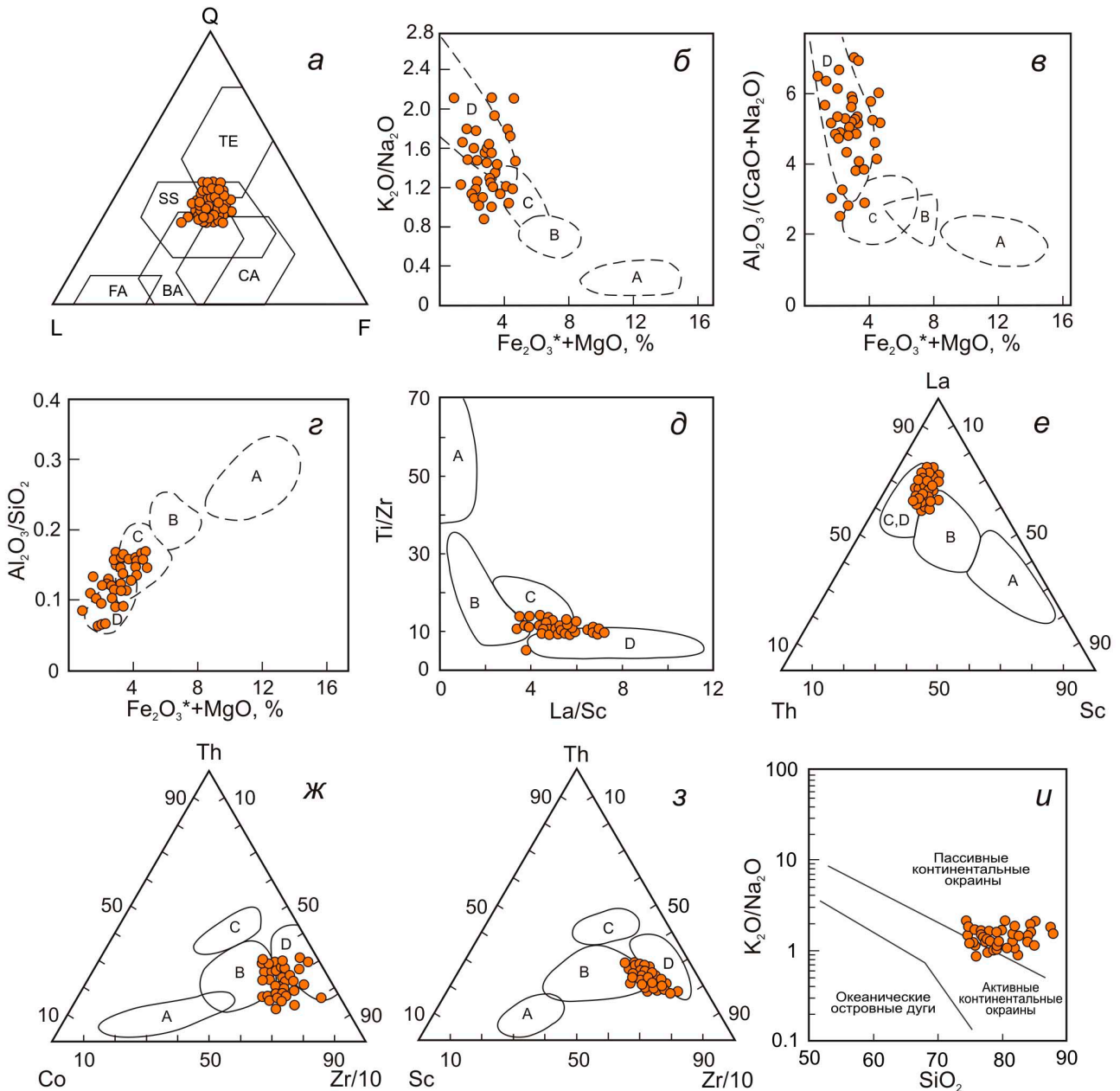


Рис. 9. Палеогеодинамические обстановки формирования отложений поспеловской свиты. *a* — по породообразующим компонентам песчаников на диаграмме Q–L–F по (Maynard et al., 1982). Бассейны: пассивных континентальных окраин (TE), активных континентальных окраин, осложненных сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам (SS); сопряженные: с окраинно-континентальной магматической дугой (CA), с океанической вулканической дугой (FA — преддуговые и BA — задуговые бассейны). Q — кварц, L — обломки пород, F — полевые шпаты. *б–з* — по геохимическому составу песчаников на диаграммах: *б–з* — типов седиментационных бассейнов (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Поля бассейнов, сопряженных с: океаническими (A) и континентальными (B) островными дугами, активными (C) и пассивными (D) континентальными окраинами. $Fe_2O_3^*$ — общее железо; *и* — бассейновых обстановок (Roser, Korsch, 1986).

Fig. 9. Paleogeodynamic settings of the formation of deposits of the Pospelovo Formation. *a* — by rock-forming components of sandstones in the Q–L–F diagram (Maynard et al., 1982). Basins: passive continental margins (TE), active continental margins complicated by strike-slip dislocations along transform faults (SS); associated with: marginal continental magmatic arc (CA), oceanic volcanic arc (FA — fore-arc and BA — back-arc basins). Q — quartz, L — rock fragments, F — feldspars. *б–з* — by geochemical composition of sandstones in the diagrams: *б–з* — types of sedimentary basins (Bhatia, 1983; Bhatia, Crook, 1986). Fields of basins associated with oceanic (A) and continental (B) island arcs, active (C) and passive (D) continental margins. $Fe_2O_3^*$ — total iron; *и* — basin settings (Roser, Korsch, 1986).

Список литературы [References]

- Анохин В.М., Рыбалко В.И., Аленичева А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К-(52), 53. Владивосток. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 332 с. [Anokhin V.M., Rybalko V.I., Alenicheva A.A. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Dal'nevostochnaya. List K-(52), 53. Vladivostok. SPb: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2011. 332 p. (in Russian)].
- Блохин М.Г., Зарубина Н.В., Иванова Ю.М. и др. Постадийное селективное выщелачивание морских железомарганцевых образований для определения их фазового состава: опыт применения методики в ЦКП ДВГИ ДВО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13. № 2. 0578. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0578> [Blokhin M.G., Zarubina N.V., Ivanova Yu.M. et al. Stepwise selective leaching of the marine ferromanganese formations for determining their phase composition: experience of the technique application in the Center for Collective Use of FEGI FEB RAS // Geodynamics & Tectonophysics. 2022. V. 13. Iss. 2. 0578 (in Russian)].
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 [Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East. Ed. A.I. Khanchuk, Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book 1. P. 1–572 (in Russian)].
- Геология и полезные ископаемые Приморского края: очерк / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 1995. 82 с. [Geologiya i poleznye iskopaemye Primorskogo kraja: ocherk / Pod red. A.I. Hanchuka. Vladivostok: Dal'nauka, 1995. 82 p. (in Russian)].
- Геология СССР. Приморский край / Под ред. И.И. Берсенева. М.: Недра, 1969. Т. XXXII. Ч. 1. 696 с. [Geologiya SSSR. Primorskij kraj / Pod red. I.I. Berseneva. M.: Nedra, 1969. T. XXXII. Ch. 1. 696 p. (in Russian)].
- Голозубов В.В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2006. 239 с. [Golozubov V.V. Tectonics of the jurassic and lower cretaceous complexes of the north-western framing of the Pacific ocean. Vladivostok: Dalnauka, 2006. 239 p. (in Russian)].
- Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симащенко В.П. Состав и обстановки накопления нижнемеловых терригенных пород бассейна р. Кемы (Восточный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2005. Т. 40. № 5. С. 495–514 [Malinovsky A.I., Golozubov V.V., Simanenko V.P. Composition and depositional settings of lower cretaceous terrigenous rocks of the Kema River Basin, Eastern Sikhote Alin // Lithology and Mineral Resources. 2005. V. 40. Iss. 5. P. 429–447. <https://doi.org/10.1007/s10987-005-0041-9>].
- 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). P. 97–111 (in Russian)].
- Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Геосинклинальный литогенез на границе континент-океан. М.: Наука, 1987. 177 с. [Markevich P.V., Filippov A.N., Malinovsky A.I. et al. Geosynclinal lithogenesis at the continent-ocean boundary. Moscow: Nauka. 1987. 177 p. (in Russian)].
- Натальин В.А. Мезозойская аккреционная и коллизионная тектоника юга Дальнего Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1991. № 5. С. 3–23 [Natal'in V.A. Mesozoic accretion and collision tectonics of the Far East south of the USSR // Pacific Geology. 1991. № 5. P. 3–23 (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 Northwest Asia // Pacific Geology. 2003. V. 22. № 6. P. 7–41 (in Russian)].
- Сясько А.А., Вржосек А.А., Дубинский А.П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская. Листы К-52-XII, XVIII. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2016. 241 с. [Syas'ko A.A., Vrzhossek A.A., Dubinskij A.P. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000. Seriya Sihote-Alinskaya. Listy K-52-XII, XVIII. Ob'yasnitel'naya zapiska. Moscow: Moskovskij filial FGBU «VSEGEI», 2016. 241 p. (in Russian)].
- Ташчи С.М. Литолого-фациальный состав и условия формирования пермских отложений Южного Приморья: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Владивосток: ДВГИ ДВНЦ АН СССР, 1973. 17 с. [Tashchi S.M. Litologo-facial'nyj sostav i usloviya formirovaniya permских otlozhenij YUzhnogo Primor'ya. Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk. Vladivostok: DVNC SSSR, 1973. 17 p. (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 correlations // 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>
- Boynnton W.V.* Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // *Rare Earth element geochemistry* / Edited by P. Henderson. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Cullers R.L.* Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // *Chemical Geology*. 2002. V. 191. Iss. 4. P. 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X)
- Dickinson W.R., Suczek C.A.* Plate tectonics and sandstone composition // *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*. 1979. V. 63. № 12. P. 2164–2182. <https://doi.org/10.1306/2F9188FB-16CE-11D7-8645000102C1865D>
- Floyd P.A., Leveridge B.E.* Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // *Journal of the Geological Society*. 1987. V. 144. № 4. P. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
- Garzanti E., Ando S.* Plate tectonics and heavy mineral suites of modern sands // *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology* / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58029-5](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58029-5)
- Markevich P.V., Malinovsky A.I., Tchkova M.I. et al.* The use of heavy minerals in determining the provenance and tectonic evolution of Mesozoic and Cenozoic sedimentary basins in the continent – Pacific Ocean transition zone: examples from Sikhote-Alin and Koryak-Kamchatka Regions (Russian Far-East) and Western Pacific // *Heavy minerals in use. Developments in sedimentology* / Edited by M.A. Mange, D.T. Wright. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 741–764. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(07\)58031-3](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58031-3)
- 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>
- Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W.H. et al.* Phanerozoic tectonic evolution of the Circum-North Pacific. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1626, 2000. 122 p.
- Parker A.* An index of weathering for silicate rocks // *Geological Magazine*. 1970. V. 107. Iss. 6. P. 501–504.
- Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.* Sand and Sandstone, Heidelberg: Springer, 1972. 553 p.
- Roser B.P., Korsch R.J.* Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // *Journal of Geology*. 1986. V. 94. Iss. 5. P. 635–650. <https://www.jstor.org/stable/30078330>
- Roser B.P., Korsch R.J.* Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // *Chemical Geology*. 1988. V. 67. Iss. 1–2. P. 119–139. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- Taylor S.R., McLennan S.M.* Planetary crusts: Their composition, origin and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 378 p. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2009.tb00744>
- The Central Asian orogenic belt: geology, evolution, tectonics and models / Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntraeger Science Publisher, 2015. 313 p.

LITHOLOGY AND FORMATION SETTINGS OF THE POSPELOVO FORMATION IN SOUTHERN PRIMORYE: NEW DATA

A.I. Malinovsky

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

Received June 10, 2025; revised October 07, 2025; accepted December 25, 2025

The results of the study and paleogeodynamic interpretation of the material composition of sandy rocks of the Early-Middle Permian Pospelovo Formation, developed on the Muravyov-Amursky Peninsula (Southern Primorye), are presented. The studies showed that, in terms of their parameters, sandstones are mainly lithic arenites and arcoses, which formed by the erosion and redeposition of significantly weathered parent rocks of the feeding areas. Interpretation of all the data obtained indicates that in the Early to Middle Permian, sedimentation occurred in basins in a passive continental margin. The main source of the clastic material was the continental landmass – uplifted basement blocks composed of acidic granite-metamorphic complexes and, partly, sedimentary rocks enriched with ancient clastic components. The presence of a small amount of femic heavy minerals in the sandstones also indicates the participation of areas of erosion of basic and ultrabasic rocks.

Keywords: Permian, Pospelovo Formation, material composition, formation settings, Primory, Far East Russia.