

ГЕОХИМИЯ ВЕРХНЕТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИМОРЬЯ КАК ИНДИКАТОР ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ

А.И. Малиновский

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

Поступила в редакцию 21 января 2025 г.

В юго-западной части Приморья верхний триас представлен континентальной, часто угленосной монгу-гайской свитой, входящей в состав Лаоелин-Гродековского террейна – фрагмента восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса. Литологический состав терригенных пород свиты слабо исследован, поэтому целью публикации является детальное изучение геохимического состава ее песчаных пород и, на основании его генетической интерпретации, выяснение геодинамических обстановок формирования отложений и определение типа и породного состава областей их питания. В результате проведенных исследований установлено, что по своим геохимическим параметрам песчаники однородны и относятся к грауваккам и, частично, лититовым аренитам. Породы являются петрогенными, прошедшими один цикл переотложения, характеризуются значительной степенью химической зрелости кластического материала, что свидетельствует об их образовании за счет размыва существенно выветрелых пород областей денудации. Особенности геохимического состава песчаных пород, а также результаты его палеогеодинамической интерпретации свидетельствуют, что в поздне триасовое время в юго-западной части Приморья терригенные отложения накапливались в обстановке активной континентальной окраины, по всей вероятности осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Основная область питания представляла собой континентальную сушу, сложенную гранитно-метаморфическими комплексами и осадочными породами. Дополнительными источниками кластики были гранитоиды корневой части глубоко эродированной энсиалической дуги, а также средние и основные вулканы из подстилающих свиту пермских отложений.

Ключевые слова: верхний триас, песчаники, геохимия, источники питания, обстановки формирования, Приморье.

ВВЕДЕНИЕ

Триасовые отложения достаточно широко развиты на территории Приморского края. В его юго-западной части они представлены в основном вернетриасовыми (карнийскими) континентальными, часто угленосными, отложениями монгугайской свиты [19]. Свита характеризуется сравнительно небольшой мощностью, преобладанием песчаных пород, обилием остатков растений, а также присутствием пластов каменного угля. Опорные разрезы отложений свиты расположены на западном побережье Амурского залива в бассейнах рек Амбы, Барабашевки и Филипповки (рис. 1).

Впервые терригенные отложения, развитые в бассейне р. Монгугай (в настоящее время р. Барабашевка), были изучены, описаны, а затем и выделены в самостоятельный монгугайский ярус М.К. Криштофовичем

[9]. В дальнейшем этот ярус был переведен в разряд свиты, в которой выделялись два горизонта: «плитняковых» песчаников и сланцев и угленосный, с которым связано Монгугайское угольное месторождение. Возраст свиты был установлен как карнийский [17].

За более чем столетнюю историю отложения свиты неоднократно служили объектом для тематических биостратиграфических исследований, геологосъемочных и поисковых работ на горючие полезные ископаемые [1, 2, 4, 5, 18, 19 и др.]. На этом фоне заметна низкая степень литологической изученности терригенных отложений свиты. Особенно это касается вещественного состава пород и, в частности, их геохимических особенностей. Существуют только единичные публикации, в которых рассматривается состав породообразующих компонентов песчаников, а также минеральный состав тяжелой фракции [6–8].

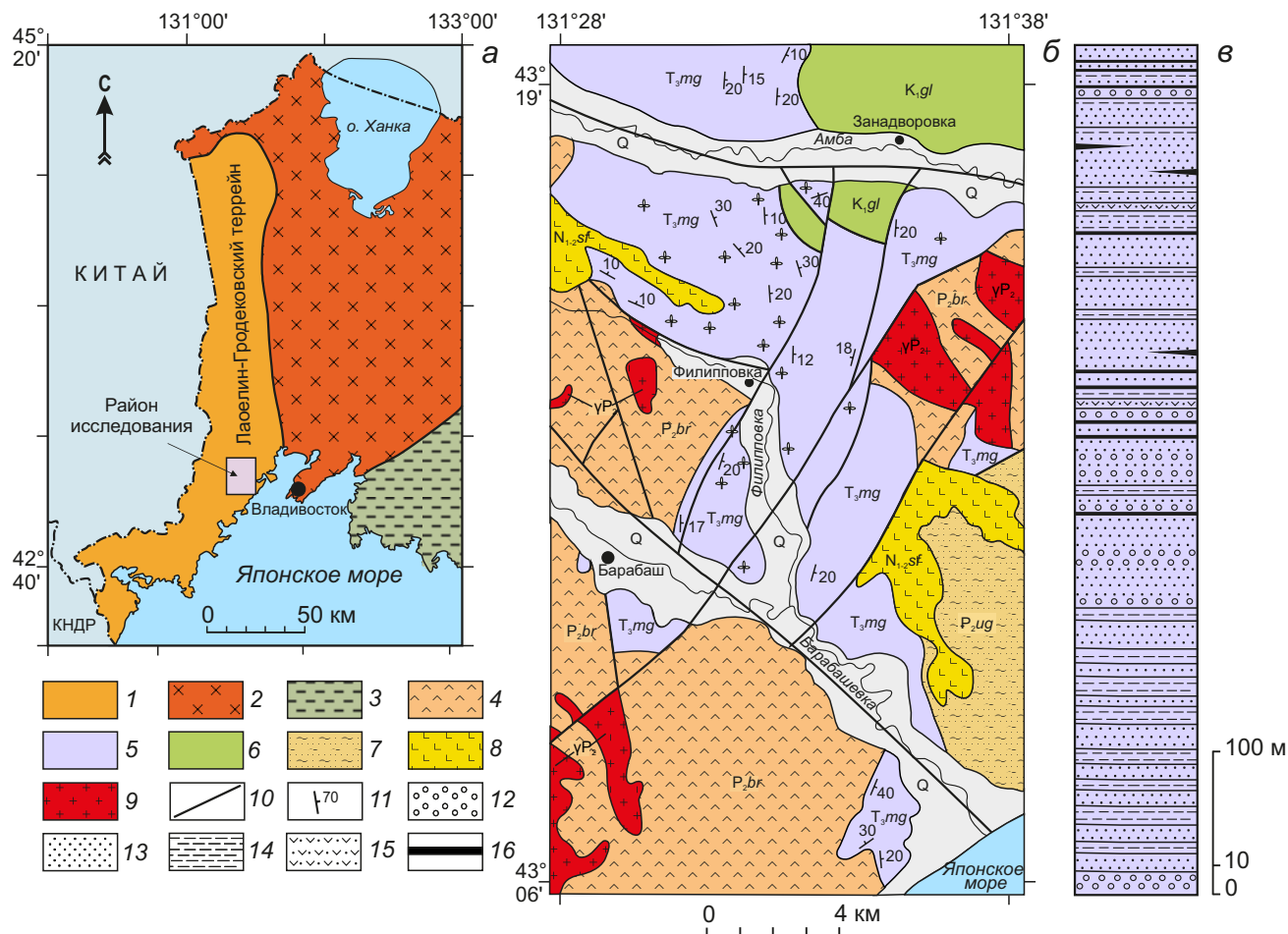


Рис. 1. *а* – геологическая позиция Лаоелин-Гродековского террейна в тектонической структуре Юго-Западного Приморья; *б* – геологическая карта изученного района распространения отложений монгугайской свиты; *в* – сводная стратиграфическая колонка отложений свиты.

1–3 – террейны: 1 – Лаоелин-Гродековский, 2 – раннепалеозойского Бурей-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна), 3 – раннепалеозойской активной окраины; 4–8 – свиты: 4 – барабашская (P_{br}), 5 – монгугайская (T_{mg}), 6 – галёнковская (K_{gl}), 7 – угловская (P_{ug}), 8 – шуфанская (N_{1-2sf}); 9 – среднепермские граниты и гранодиориты (Y_{P_2}); 10 – разломы; 11 – элементы залегания; 12 – конгломераты и гравелиты; 13 – песчаники; 14 – алевролиты и аргиллиты; 15 – туфы; 16 – угли.

Вместе с тем, изучение геохимических особенностей терригенных пород позволяет с большой степенью достоверности судить о палеогеодинамических обстановках формирования бассейнов седиментации, о тектонических типах и петрографическом составе пород источников питания, а также о степени выветрелости пород и палеоклиматических факторах, контролировавших накопление отложений [13–15, 23, 24, 29, 34, 39, 40 и др.]. Очевидно, что для правильного понимания геодинамической природы слагающих монгугайскую свиту отложений имеющих в настоящий момент литологических сведений, без использования новейших геохимических данных, явно недостаточно. В связи с этим, целью настоящего исследования было детальное изучение геохимического состава песча-

ных пород монгугайской свиты Юго-Западного Приморья. Полученные данные, а также их генетическая интерпретация позволили установить геодинамическую природу ее отложений, а также определить тип и состав породных комплексов питающей провинции, поставлявших кластический материал в область осадконакопления.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были терригенные отложения верхнетриасовой монгугайской свиты, распространенной в юго-западной части Приморского края. Изучались песчаники – породы, использование особенностей вещественного состава которых позволяет

получить наиболее полную и объективную информацию при реконструкциях палеогеодинамических обстановок формирования отложений.

Для аналитических исследований использована оригинальная коллекция образцов, отобранных из естественных береговых обнажений в бортах долин рек Филипповки, Барабашевки и Амбы, а также в искусственных карьерах и выемках вдоль автомобильных дорог. Для исследований отбирались породные образцы, не затронутые вторичными изменениями, что в дальнейшем контролировалось при изучении прозрачных шлифов. Петрографический состав пород изучался с помощью поляризационных микроскопов МИН-8 (Россия) и Axioplan 2 imaging (Carl Zeiss, Германия). Всего для геохимических исследований было выбрано 18 образцов песчаных пород, в которых выполнен валовый элементный анализ. Для этого навески исследуемых образцов были подвергнуты предварительному обжигу в муфельной печи при $t = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ с доступом воздуха. Для разложения образцов использовалась процедура сплавления с метаборатом лития с последующим растворением плавня с помощью смеси азотной и плавиковой кислот. Определение содержания петрогенных элементов (кроме SiO_2) проводилось на атомно-эмиссионном с индуктивно связанной плазмой спектрометре iCAP 7600 Duo (Thermo Scientific, США), а концентраций микроэлементов – методом плазменной спектрометрии (ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре ICP-MS Agilent 7500c (Agilent Technologies, Япония). Концентрации H_2O^+ , PPH и SiO_2 определялись методом гравиметрии. Аналитические исследования выполнены в Центре коллективного пользования (ЦКП) ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). Аналитики Г.А. Горбач, Е.В. Еловский, Н.В. Зарубина, Д.С. Остапенко, Е.А. Ткалина, Н.В. Хуркало.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СТРОЕНИЯ СВИТЫ

В структурном отношении монгугайская свита входит в состав Лаоелин-Гродековского террейна, являющегося фрагментом восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса, возникшего на месте Солонкерского палеоокеана в завершающую фазу его развития [3, 16] (рис. 1, а). Террейн вытянут на 300 км в субмеридиональном направлении вдоль границы с Китаем, переходит на его территорию и представляет собой складчатую структуру, образованную сложнодислоцированными нижнесилурийскими и пермскими терригенными и вулканогенными образованиями, прорванными многочисленными позднепермскими-раннетриасовыми гранитоидными

интрузиями [3, 11]. Палеозойские образования с резким угловым несогласием перекрыты верхнетриасовыми терригенными, часто угленосными отложениями монгугайской свиты. В южной части террейна, где свита наиболее широко распространена (рис. 1, б), ее отложения несогласно залегают на основных и кислых вулканитах среднепермской барабашской свиты, а сверху, также резко несогласно, перекрываются нижнемеловыми терригенными отложениями галёновской и неогеновыми платобазальтами шуфанской свит. Нижняя часть свиты (рис. 1, в) в основном сложена переслаиванием разномелкозернистых песчаников, алевролитов и аргиллитов. Породы часто имеют волнистую, линзовидную, горизонтальную и, реже, косую слоистость. Иногда в самом основании свиты встречаются прослои и линзы мелко- и среднегалечных конгломератов. Верхняя часть разреза свиты сложена разномелкозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами, углями и углистыми аргиллитами, редко туфами среднего и кислого состава. Всего в составе свиты насчитывается 22 пласта и пропластка каменного угля и углистых пород мощностью до 0.9 м [6]. Общая мощность отложений свиты оценивается в 380–600 м. Карнийский ее возраст определяется на основании находок ископаемых растений [2, 18, 19 и др.].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Для выяснения палеогеодинамической природы отложений монгугайской свиты, определения тектонических типов и петрографического состава пород питающих провинций в песчаниках свиты было детально изучено содержание и соотношение (литохимические модули) главных породообразующих оксидов, а также редких и редкоземельных элементов (РЗЭ). Исследования сопровождались изучением петрографического состава пород, поскольку он, в большинстве своем, и определяет их геохимические особенности.

Песчаники свиты разномелкозернистые, от мелко- до грубопсаммитовых, имеют слабую либо среднюю степень сортированности обломочного материала, которая с увеличением размерности ухудшается. Степень окатанности зерен довольно низкая, обычно они угловатые и угловато-окатанные, реже окатанные, по форме удлиненные либо изометричные. Цемент, занимающий 5–20 % объема пород, порово-пленочный, редко базальный, по составу глинистый, глинисто-серицитовый, глинисто-карбонатный, иногда глинисто-железистый. Довольно часто в песчаниках встречаются рассеянные по породе мелкие бесформенные обрывки и тонкие линзочки растительного детрита.

По содержанию основных породообразующих компонентов монгугайские песчаники однородны и являются полимиктовыми. Их обломочная часть содержит от 33 до 40 % кварца, который в основном представлен монокристаллическими зернами, часто имеющими волнистое погасание. Количество полевых шпатов варьирует от 21 до 33 %, причем это преимущественно кислые плагиоклазы – альбит и олигоклаз (65–85 % от общего количества полевых шпатов). Доля калиевых полевых шпатов в редких случаях достигает 30 %, а основные и средние плагиоклазы малочисленны. Обломки пород составляют 31–41 %. Среди них чаще всего встречаются фрагменты осадочных (25–51 % всех обломков), а также средних и кислых магматических пород (10–49 %). Кремнистые и метаморфические породы редки. На классификационной диаграмме В.Д. Шутова [20] (рис. 2) песчаники свиты группируются в поле полевошпатово-кварцевых граувакк.

Для геохимической характеристики песчаных пород монгугайской свиты, а также дальнейших палеогеодинамических интерпретаций, использовались частные анализы по отдельным пробам, которые сведены в таблицы.

Песчаники имеют довольно сходный химический состав (табл. 1). Наблюдающиеся колебания в содержаниях некоторых петрогенных элементов можно объяснить, вероятно, как влиянием локальных источников сноса, так и насыщенностью отдельных проб карбонатным веществом.

В песчаниках свиты содержание основных породообразующих оксидов варьирует в следующих пределах (мас. %): SiO_2 от 70.07 до 80.81 при среднем значении 73.95, TiO_2 (0.28–0.85 и 0.54, соответственно), Al_2O_3 (10.54–16.13 и 13.41), FeO (0.25–3.18 и 1.43), Fe_2O_3 (0.10–1.67 и 0.91), MgO (0.12–1.18 и 0.59) и CaO (0.03–7.88 и 1.63). На классификационной диаграмме соотношения логарифмов величин $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [38] (рис. 3, а) фигуративные точки составов песчаников группируются преимущественно в поле граувакк и, частично, в поле лититовых аренитов – пород, промежуточных между аркозами и граувакками. Вместе с тем, в песчаниках наблюдается незначительное преобладание K_2O над Na_2O (1.13–2.80 % и 0.05–1.93 %) что сближает их с аркозами [37] (рис. 3, б). О промежуточном положении песчаников между граувакками и аркозами свидетельствуют и довольно низкие (0.02–0.06) значения одного из показательных литохимических модулей Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [21] – фемического ($\text{ФМ}=(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MnO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$), величина которого в значительной степени зависит от содержания в

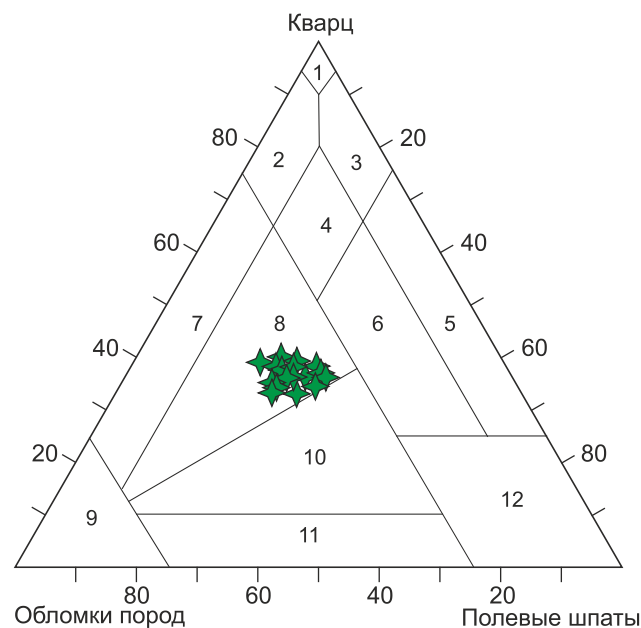


Рис. 2. Классификационная диаграмма типов песчаных пород монгугайской свиты по породообразующим компонентам [20].

Поля типов песчаников: 1–4 – кварцевые песчаники: 1 – мономиктовые кварцевые, 2 – кремнекlastито-кварцевые, 3 – полевошпатово-кварцевые, 4 – мезомиктовые кварцевые; 5–6 – аркозовые песчаники: 5 – чистые или собственно аркозы; 6 – граувакковые аркозы; 7–8 – граувакковые песчаники: 7 – кварцевые граувакки, 8 – полевошпатово-кварцевые граувакки; 9 – собственно граувакки; 10 – кварцево-полевошпатовые граувакки; 11 – полевошпатовые граувакки; 12 – кристаллотуфы.

терригенных породах кремнезема и продуктов гидролиза и в результате позволяет достаточно уверенно отличать граувакки от аркозов.

Геохимические особенности обломочных пород определяются не только петрографическим составом, но и степенью их «зрелости», т.е. интенсивностью процессов химического выветривания материнских пород палеоводосборов. Судить о роли и интенсивности этих процессов позволяет использование ряда числовых литохимических индексов (модулей). Количественную оценку степени зрелости пород дает величина универсального петрохимического параметра – гидролизатного модуля ($\text{ГМ}=(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MnO})/\text{SiO}_2$) [21]. Его уровень определяется количеством содержащегося в породе кварца и насыщенных кремнеземом обломков пород, долей и составом полевых шпатов, а также глинистых компонентов цемента. В песчаниках свиты значение ГМ изменяется от 0.17 до 0.29 (в среднем 0.22), что может свидетельствовать о достаточно высоком уровне зрелости пород и, соответственно, о

Таблица 1. Содержание петрогенных элементов (мас. %) и литохимические модули в песчаных породах монгулайской свиты Юго-Западного Приморья.

№ 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.л.п.	ГМ	ТМ	ЖМ	ФМ	НKM	CIA	WIP
P-60	77.02	0.60	14.41	1.06	0.26	0.01	0.15	0.04	0.05	1.28	0.04	0.42	4.49	0.21	0.042	0.09	0.02	0.09	90	12
P-62	80.81	0.46	12.08	0.94	0.25	0.01	0.12	0.03	0.07	1.13	0.02	0.28	3.59	0.17	0.038	0.10	0.02	0.10	90	10
P-63	73.32	0.54	14.08	0.82	3.18	0.04	0.45	0.46	1.13	1.82	0.07	0.52	3.72	0.25	0.038	0.28	0.06	0.21	75	27
P-65	75.04	0.67	13.77	1.33	1.75	0.08	0.41	0.16	0.07	1.21	0.06	0.53	4.71	0.23	0.048	0.22	0.05	0.09	89	11
P-66	72.84	0.85	15.21	1.28	1.23	0.02	0.55	0.09	0.13	2.37	0.05	0.37	4.67	0.26	0.056	0.16	0.04	0.16	84	22
P-67	73.69	0.85	16.13	0.46	0.47	0.01	0.23	0.03	0.10	1.73	0.04	1.14	4.73	0.24	0.053	0.05	0.02	0.11	89	16
P-68	72.16	0.85	15.54	1.67	1.13	0.03	0.47	0.11	0.11	1.98	0.06	0.68	4.73	0.27	0.055	0.17	0.05	0.14	86	18
P-69	74.09	0.63	13.99	1.12	1.11	0.03	0.50	0.61	0.69	2.02	0.06	0.66	4.16	0.23	0.045	0.15	0.04	0.19	80	25
P-72	73.91	0.34	10.84	0.71	1.73	0.04	1.04	1.97	1.42	2.78	0.07	0.54	4.12	0.18	0.032	0.22	0.05	0.39	60	42
P-74	72.49	0.72	14.02	1.32	1.67	0.03	0.83	0.41	1.71	2.30	0.15	1.05	3.10	0.24	0.051	0.20	0.05	0.29	70	36
P-75	74.01	0.48	13.44	1.61	1.37	0.04	0.69	0.56	1.93	2.80	0.11	0.53	2.10	0.23	0.036	0.22	0.05	0.35	65	43
P-76	73.95	0.54	13.41	0.91	1.43	0.04	0.59	1.63	0.96	1.95	0.06	0.61	3.65	0.22	0.039	0.173	0.04	0.23	76	30
P-78	72.56	0.28	10.54	0.01	2.51	0.07	1.04	7.11	1.54	1.65	0.05	0.47	2.00	0.18	0.026	0.24	0.05	0.30	66	46
P-78/1	70.77	0.31	11.36	0.66	2.12	0.08	1.16	7.88	1.59	2.03	0.05	0.45	1.13	0.21	0.028	0.24	0.06	0.32	70	52
P-79	80.18	0.32	10.96	0.20	1.19	0.01	0.24	0.43	1.75	1.85	0.06	0.50	1.81	0.16	0.030	0.12	0.02	0.33	66	33
P-80	72.93	0.29	11.33	0.94	0.68	0.03	0.57	3.17	1.88	2.28	0.06	0.80	4.56	0.18	0.025	0.14	0.03	0.37	80	45
P-81	71.50	0.39	14.34	0.76	1.30	0.07	0.89	2.56	1.50	1.67	0.06	0.63	4.49	0.24	0.027	0.14	0.04	0.22	62	35
P-81/1	73.67	0.37	12.26	0.49	2.06	0.05	0.76	3.69	1.50	1.80	0.06	0.51	2.63	0.21	0.030	0.21	0.05	0.27	68	39

довольно интенсивных процессах выветривания в областях сноса. Для определения степени выветривания исходных пород используется индекс химического изменения ($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$) (индекс рассчитывается в молекулярных количествах, а CaO^* соответствует CaO в силикатах) [35]. Рубежом, разделяющим отложения, образовавшиеся под воздействием процессов интенсивного химического выветривания в условиях жаркого и влажного климата и физического выветривания холодных либо аридных зон, считается величина CIA равная 70 [35]. Значение CIA в изученных позднетриасовых песчаниках варьирует от 60 до 90 (в среднем 76), что свидетельствует о довольно интенсивном выветривании пород области размыва. На существенную степень химического выветривания указывают и низкие (10–52, в среднем 30) значения индекса выветривания ($WIP = 100 \times (2 \times Na_2O / 0.35 + MgO / 0.9 + 2 \times K_2O / 0.25 + CaO / 0.7)$) [36], а также повышенные (3.3–4.2, в среднем 3.7) величины отношения Th/U [34]. Все эти данные позволяют говорить о том, что размывавшаяся область питания была сложена достаточно «зрелыми», подвергшимися заметному химическому выветриванию породами, что убедительно демонстрируется на диаграмме [22] (рис. 4) и, в целом, отражает доминирование в позднетриасовое время в юго-западной части Приморья процессов химического выветривания, происходивших в условиях умеренно жаркого и влажного климата. Такие климатические условия благоприятствовали накоплению достаточно мощной толщи угленосных отложений монгулайской свиты.

Изучение в песчаных породах содержаний и характера распределения редких и редкоземельных (РЗЭ) элементов, особенно таких как Th , Sc , Zr , Co , La , Nd , Sm , Eu , Gd , Yb и Lu , позволяет достаточно уверенно определять тектоническую природу и породный состав области питания, а также реконструировать палеогеодинамические обстановки формирования бассейнов седиментации [28–30, 32, 34 и др.]. Все песчаники монгулайской свиты демонстрируют заметную близость в содержании и распределении редких и РЗЭ (табл. 2). Суммарное содержание редких земель в породах находится в пределах от 89 до 179 г/т (в среднем 139 г/т), что меньше среднего значения (146.4 г/т) для верхней континентальной коры [42]. Нормированные к составу хондрита [25] спектры распределения РЗЭ показаны на рис. 5. Спектры во всех изученных пробах имеют одинаковые тренды с обогащением легкими лантаноидами относительно тяжелых ($La_N/Yb_N = 5.36–15.58$, в среднем 9.04) и заметной отрицательной европиевой аномалией ($Eu/Eu^* = 0.56–0.85$, в среднем 0.67). Песчаники

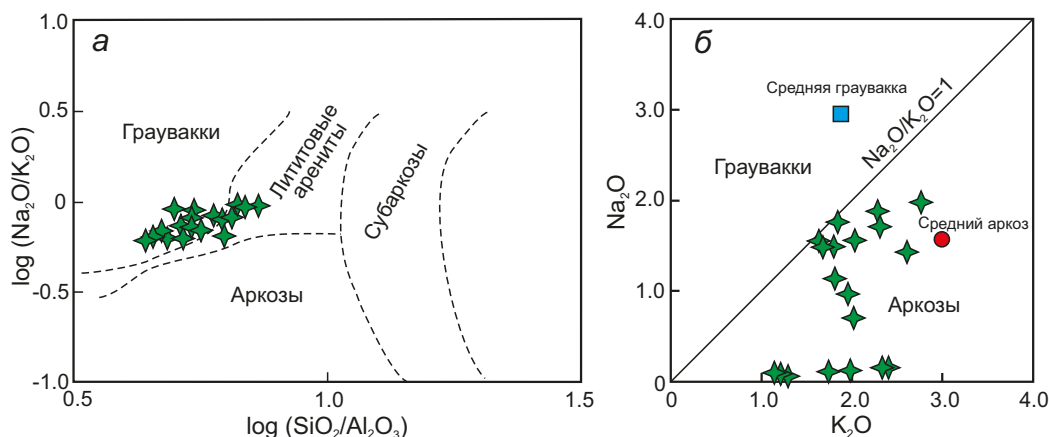


Рис. 3. Классификационные диаграммы для песчаных пород монгуайской свиты по химическому составу: *a* – $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ – $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ [38]; *б* – $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ [37].

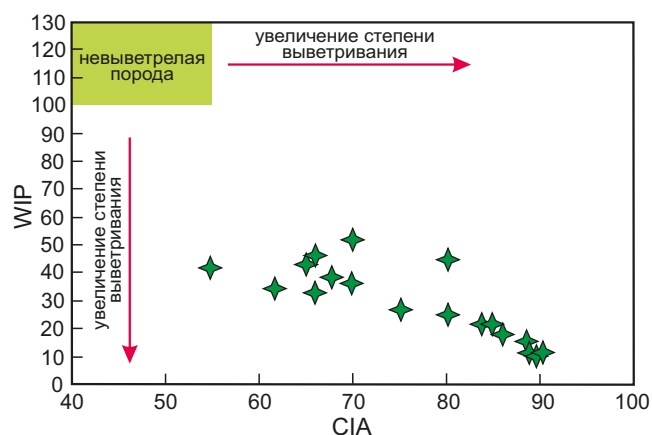


Рис. 4. Диаграмма степени химического выветривания CIA–WIP для песчаников монгуайской свиты [22].

Индексы: $\text{WIP} = 100 \times (2 \times \text{Na}_2\text{O}/0.35 + \text{MgO}/0.9 + 2 \times \text{K}_2\text{O}/0.25 + \text{CaO}/0.7)$ [36]; $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$ [35].

свиты, в сравнении с постархейским австралийским средним глинистым сланцем (PAAS) [42], незначительно (в 1.1–2.1 раза) обеднены как легкими, так и тяжелыми элементами, что может свидетельствовать об отсутствии либо малозначительной доле участия в формировании отложений материала основного и ультраосновного состава.

Для палеогеодинамической интерпретации геохимического состава песчаников поздне триасовой монгуайской свиты использовался ряд широко известных литохимических модулей, модульных и дискриминантных диаграмм, позволяющих судить о петрогенной либо литогенной природе изученных пород, а также с высокой степенью достоверности определить тип и состав источников питания и текто-

ническую природу бассейнов седиментации [21, 23, 24, 29, 30, 34, 39 и др.].

Геохимические особенности состава песчаных пород свиты свидетельствуют, что по своим параметрам они относятся к грауваккам и, частично, лититовым аренам, характеризуются значительной степенью зрелости обломочного материала, а их формирование происходило за счет размыва существенно выветрелых исходных пород областей денудации. Дополнительное использование ряда литохимических модулей (см. табл. 1) позволяет получить предварительную информацию о составе комплексов пород, слагавших область питания, а также более корректно интерпретировать существовавшие в поздне триасовое время обстановки седиментации [11, 13–15, 21 и др.].

Песчанники монгуайской свиты характеризуются относительно невысокими значениями титанового модуля ($\text{TM} = \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), изменяющимися в основном от 0.025 до 0.040 и лишь изредка достигающими 0.045–0.056, что объясняется доминированием среди пород областей питания гранитоидов, обладающих, в свою очередь, низкими значениями этого модуля, а также локальным влиянием на осадконакопление основных вулканитов, участвовавших в строении подстилающих ниже-среднепермских отложений. Величина модуля нормированной щелочности ($\text{HKM} = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$), используемого для распознавания примеси продуктов разрушения вулканогенных пород, в изученных песчаниках колеблется в достаточно широких пределах (от 0.09 до 0.39). Это, вероятно, объясняется смешением в их составе продуктов размыва кислых изверженных пород и некоторого количества основной и средней вулканокластитической породы.

Таблица 2. Содержание редких и редкоземельных элементов (г/г) в песчаных породах монгулайской свиты Юго-Западного Приморья.

Компонент	P-60	P-62	P-63	P-65	P-66	P-67	P-68	P-69	P-72	P-74	P-75	P-76	P-78	P-78/1	P-79	P-80	P-81	P-81/1
Be	0.57	0.23	0.56	0.58	1.70	0.76	2.20	2.55	0.30	1.42	0.28	0.98	0.46	0.65	0.47	1.55	0.79	0.94
Sc	11.33	9.33	8.68	11.70	13.11	12.52	11.77	15.40	5.44	12.93	7.48	9.12	4.47	4.55	4.80	4.74	5.70	9.00
V	56.34	53.15	45.05	65.20	125.5	70.90	124.5	103.0	54.07	95.15	45.28	62.64	18.85	21.64	25.06	42.35	20.16	60.52
Cr	43.84	63.44	123.3	108.4	85.2	115.9	118.0	105.0	93.30	176.3	84.09	100.56	74.20	77.83	114.3	34.7	31.37	91.17
Co	4.16	6.60	21.69	13.38	6.83	2.59	10.37	5.81	10.73	11.07	6.60	8.87	6.53	6.30	8.17	7.97	5.18	8.40
Ni	5.26	4.62	31.87	11.80	23.46	7.50	23.20	10.40	26.41	51.42	17.99	18.42	6.04	10.12	9.26	13.32	9.96	16.53
Cu	17.62	19.47	7.07	30.60	10.70	18.72	10.44	15.64	8.89	23.35	16.50	16.44	30.32	3.85	17.70	5.89	19.93	16.06
Zn	33.07	27.87	154.1	86.15	70.70	56.40	70.90	88.33	36.42	72.20	61.80	64.53	36.2	32.9	31.9	36.51	40.9	58.9
Ga	13.22	10.69	16.77	13.24	21.84	16.73	23.46	20.48	14.07	18.56	14.42	16.28	11.25	12.40	12.41	14.12	16.07	15.65
Rb	44.49	37.44	76.17	42.43	100.4	70.57	90.57	97.92	54.70	81.19	72.13	70.91	49.16	60.32	61.85	83.97	64.39	68.15
Sr	15.25	16.20	24.2	14.51	51.03	28.83	49.08	30.20	189.2	171.2	118.5	90.1	160.1	171.4	60.7	153.7	102.2	85.1
Y	18.64	18.80	33.18	17.22	34.26	27.66	38.84	28.77	18.31	23.69	20.43	23.57	15.33	15.58	15.55	16.26	17.56	22.57
Zr	163.3	159.9	180.8	201.6	292.1	391.4	297.34	302.9	139.4	213.8	165.5	230.1	108.8	107.9	126.5	123.9	163.7	215.8
Nb	6.70	5.79	10.17	7.64	13.77	13.67	15.31	11.89	6.13	11.59	8.57	9.62	5.58	5.67	6.75	5.35	8.36	8.98
Mo	2.17	5.95	11.13	7.81	3.50	6.67	7.83	1.77	5.07	3.62	2.66	5.24	3.56	5.21	8.21	1.49	1.02	4.88
Sn	0.76	1.27	1.66	0.84	2.17	1.18	2.19	1.77	1.30	1.08	0.69	2.00	1.23	1.22	1.60	0.95	9.01	1.82
Ba	168.2	147.7	225.9	173.3	314.7	273.1	294.6	326.6	292.8	541.2	372.5	298.8	276.9	297.5	259.8	298.2	236.0	282.2
La	39.71	22.06	29.79	17.29	33.38	38.26	34.96	31.45	23.17	35.09	28.96	27.43	17.43	18.48	26.70	19.19	21.58	27.35
Ce	84.38	46.44	68.12	36.36	70.40	85.90	72.85	72.89	51.85	74.88	60.21	60.12	38.49	43.02	62.57	39.25	44.02	59.51
Pr	10.19	5.29	7.83	4.11	8.29	9.92	8.49	7.59	5.53	8.96	7.20	6.72	4.13	4.31	6.22	4.35	4.82	6.70
Nd	37.74	20.62	31.58	15.94	31.09	38.95	33.53	31.85	20.34	33.32	24.67	26.00	15.40	17.63	24.46	15.30	19.27	25.75
Sm	8.22	5.86	6.47	3.64	6.20	7.84	5.44	6.80	3.54	5.92	5.39	5.09	3.19	2.94	5.02	3.53	3.76	5.23
Eu	1.36	1.02	1.42	0.80	1.43	1.48	1.39	1.44	0.92	1.36	1.11	1.12	0.71	0.82	0.91	0.77	0.71	1.10
Gd	5.78	4.16	6.00	3.63	5.64	6.08	5.47	6.80	2.93	5.19	4.32	4.43	2.58	2.73	3.16	2.82	3.10	4.40
Tb	0.83	0.58	1.12	0.60	0.86	1.10	0.85	0.80	0.54	0.80	0.78	0.72	0.39	0.46	0.55	0.42	0.45	0.70
Dy	4.88	3.03	5.55	2.75	4.59	5.21	5.42	5.83	3.40	4.16	3.28	3.88	2.39	2.33	2.67	1.83	2.89	3.77
Ho	0.65	0.56	1.16	0.57	0.99	0.98	1.18	1.13	0.58	0.84	0.64	0.79	0.49	0.51	0.55	0.46	0.62	0.75
Er	2.06	1.96	3.40	1.63	2.79	2.91	3.29	2.99	1.50	2.88	1.97	2.34	1.50	1.68	1.93	1.43	1.89	2.24
Tm	0.34	0.33	0.47	0.30	0.49	0.46	0.49	0.45	0.23	0.39	0.28	0.35	0.23	0.24	0.26	0.17	0.25	0.34
Yb	1.86	0.38	3.69	1.34	2.90	2.50	3.57	3.08	1.38	1.49	2.34	2.23	1.50	1.62	1.74	1.36	1.90	2.05
Lu	0.27	1.38	0.59	0.34	0.37	0.50	0.57	0.39	0.25	0.49	0.34	0.39	0.30	0.27	0.40	0.20	0.28	0.43
Hf	4.36	4.32	5.41	4.83	5.63	9.84	11.57	7.03	2.88	5.57	4.52	5.59	3.70	3.10	4.38	2.45	4.20	5.26
Ta	0.65	0.53	0.63	0.55	0.86	1.10	0.78	0.97	0.36	0.81	0.67	0.66	0.38	0.41	0.46	0.33	0.59	0.63
W	1.67	2.73	11.86	3.76	3.67	4.55	6.21	5.02	4.66	2.18	2.15	5.70	6.74	8.21	11.83	1.55	3.28	5.05
Pb	10.79	9.29	50.00	15.23	19.44	10.57	18.15	18.13	16.41	17.98	12.67	19.63	17.58	15.15	18.87	15.50	24.97	18.26
Th	6.67	5.40	9.40	6.56	12.24	8.96	13.10	10.80	6.68	8.97	7.69	8.89	6.29	7.13	7.94	6.40	9.74	8.40
U	1.97	1.62	2.98	1.68	3.08	3.22	3.39	2.92	1.69	2.49	1.91	2.42	1.80	1.69	2.12	1.42	2.53	2.29
La _N /Yb _N	14.14	10.63	5.36	8.54	7.63	10.17	6.49	7.24	11.17	15.58	8.21	6.78	7.73	7.59	10.16	9.36	7.54	9.25
Eu/Eu*	0.56	0.59	0.67	0.65	0.72	0.62	0.76	0.69	0.84	0.72	0.67	0.63	0.72	0.85	0.64	0.71	0.61	0.67

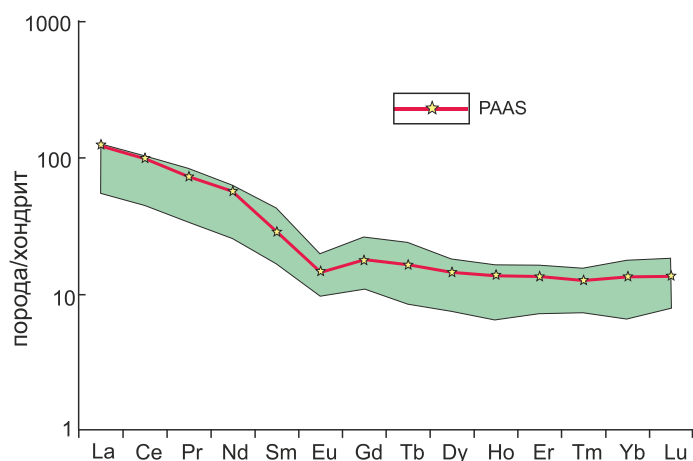


Рис. 5. Нормализованное к хондриту [25] распределение РЗЭ в песчаных породах монгулайской свиты и их сопоставление с PAAS [42].

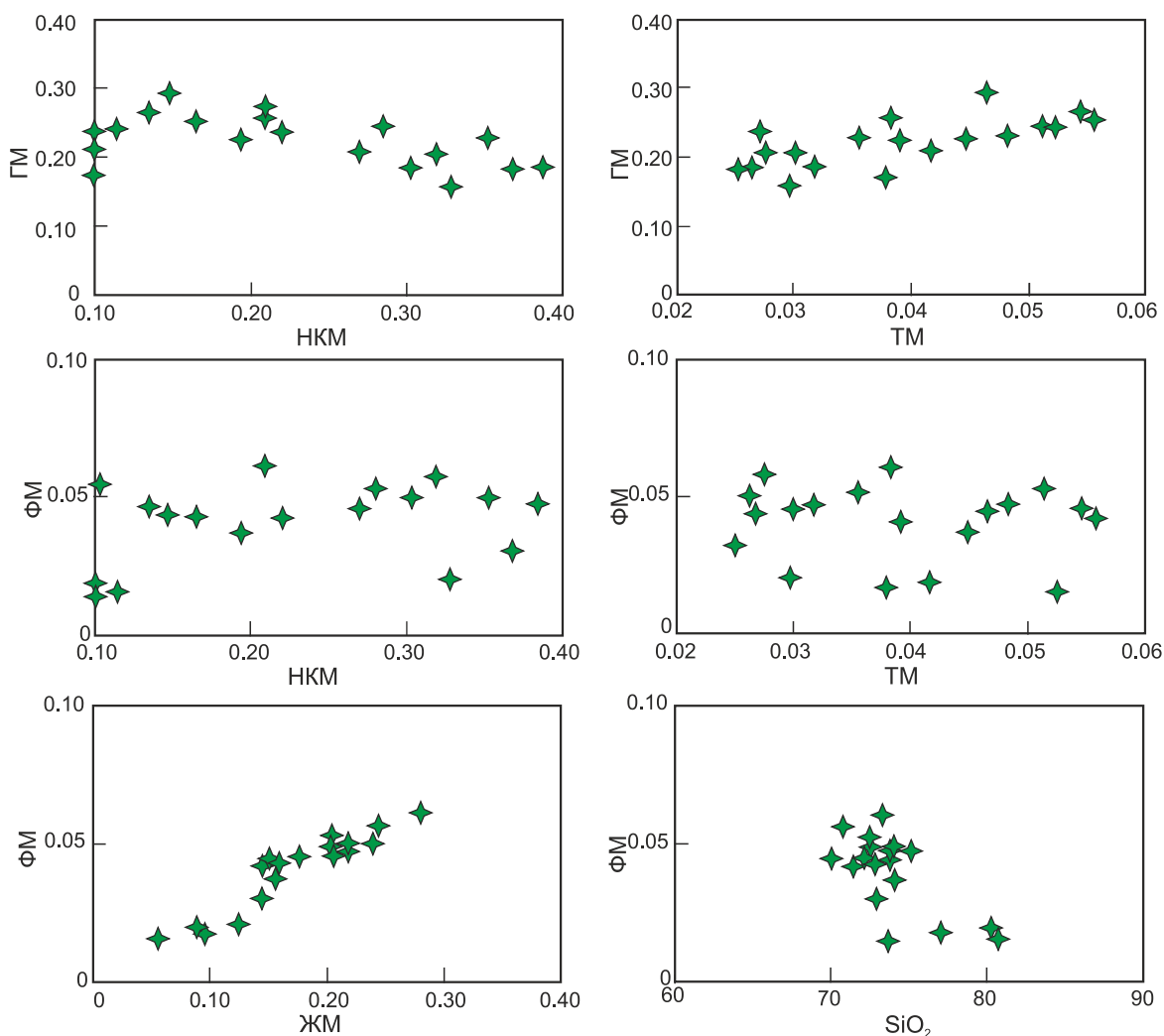


Рис. 6. Модульные диаграммы для песчаных пород монгулайской свиты [21].

Модули: $GM = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$; $HKM = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$; $\Phi M = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$; $TM = TiO_2 / Al_2O_3$; $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$.

ки. О преобладании в составе областей денудации изверженных пород кислого состава свидетельствуют и низкие значения еще одного петрохимического показателя – железного модуля ($JM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$). Его значение в изученных песчаниках изменяется в пределах от 0.05 до 0.28, что хорошо согласуется с величинами этого показателя в гранитоидах. Положение на модульных диаграммах (рис. 6) [21] фигуративных точек монгугайских песчаников демонстрирует положительную корреляцию между парами ГМ-ТМ и ФМ-ЖМ и отрицательную либо ее отсутствие между ГМ-НKM, ФМ-НKM, ГМ-ТМ и ГМ-SiO₂, что позволяет говорить об их принадлежности к петрогенным или «first cycle» породам, прошедшим один цикл седиментации.

Характерные для песчаников свиты относительно высокие содержания кремнекислоты, преобладание K₂O над Na₂O, умеренные суммарные концентрации PЗЭ, при заметной обогащенности пород легкими элементами по сравнению с тяжелыми, а также хорошо проявленная отрицательная европиевая аномалия дают основание предполагать, что основными источниками обломочного вещества были кислые изверженные породы, при заметно меньшем участии средней и основной вулканокластиков.

Реконструкция типа и состава источников обломочного материала по содержанию и соотношения в песчаных породах ряда индикаторных петрогенных оксидов, редких и рассеянных элементов, отражающих минеральный состав пород областей питания, осуществлялась при помощи парных интерпретационных диаграмм, построенных на основании сравнения результатов изучения древних терригенных пород и современных глубоководных осадков.

На диаграммах Zr/Sc–Th/Sc, F1–F2, Hf–La/Th, La/Sc–Th/Co и Zr–TiO₂ [28, 30, 31, 34, 40] (рис. 7, а–д), предназначенных для реконструкции состава материнских пород питающих провинций, основная масса фигуративных точек песчаников свиты расположена в областях, соответствующих преобладанию продуктов эрозии кислых источников, вероятно объединявших гранитно-метаморфические комплексы континентальной суши и, в значительно меньшей мере, основания глубоко расчлененной энсиалической дуги. На диаграмму Zr–TiO₂ [31] (рис. 7, д) нанесены фигуративные точки средних составов широко развитых в юго-западной части Приморья массивов палеозойских гранитоидов [10], которые достаточно близки составу изученных песчаников и вполне могли служить одним из источников обломочного материала. Второстепенными источниками вещества были

средние и основные вулканиты из подстилающих свиту пермских отложений, а также “древние осадочные компоненты”, вероятно являющиеся продуктами размыва пород кристаллического фундамента континентальной суши. Диаграмма Cr/Th–Th/Sc [27] позволяет оценить в составе пород примерное соотношение продуктов размыва кислых и основных магматических компонентов (рис. 7, е). Как видно, доля продуктов эрозии основных образований редко достигает 30 %, в среднем составляя около 10 %.

На рис. 8 приведены дискриминантные диаграммы, использованные для палеогеодинамических реконструкций по геохимическому составу песчаных пород, существовавших в позднетриасовое время обстановок формирования отложений. На диаграммах М. Бхатия и А. Крука [23, 24] (рис. 8, а–ж), на которых авторами выделены поля, соответствующие седиментационным бассейнам, образованным в различных геодинамических обстановках, фигуративные точки пород свиты в большей степени локализованы в поле бассейнов активных континентальных окраин, включающих в себя, в их понимании, и окраины, осложненные сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Значительно реже точки располагаются, либо приближаются, к полям бассейнов, связанных с окраинно-континентальными (энсиматическими) магматическими дугами, а также бассейнов пассивных континентальных окраин. Такое смещение точек, вероятно, объясняется влиянием на накопление отложений различных частей бассейна продуктов размыва местных источников питания: с одной стороны массивов гранитоидов, а с другой – подстилающих свиту основных и средних вулканитов среднепермской барабашской свиты. Более определенно состав пород интерпретируется на диаграмме K₂O/Na₂O–SiO₂, [39] (рис. 8, з). На ней точки изученных песчаников уже практически полностью ложатся в поле бассейнов, формировавшихся за счет продуктов денудации комплексов пород активных континентальных окраин, и лишь отдельные точки попадают в поле бассейнов пассивных окраин. При реконструкции палеогеодинамических обстановок седиментации на диаграмме DF1–DF2, в ее варианте для пород с высоким содержанием SiO₂ (более 63 %) [43] (рис. 8, и), фигуративные точки песчаников попадают преимущественно в поля отложений, типичных для коллизионных либо рифтогенных обстановок. Рифтогенные же обстановки включают в себя и обстановки активных континентальных окраин, в том числе сопряженных со сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам [33, 41].

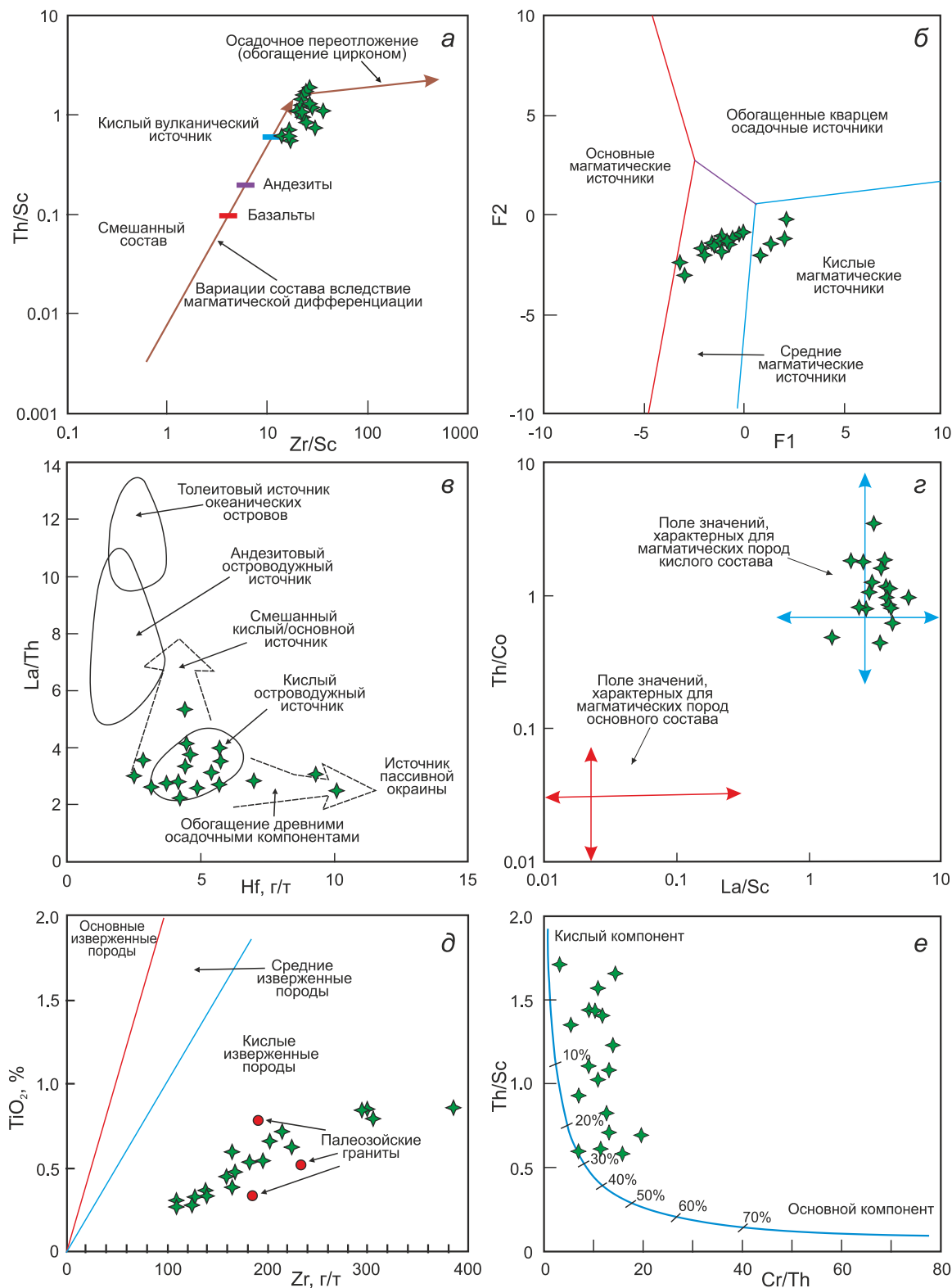


Рис. 7. Возможные типы областей питания для отложений монгулбайской свиты по геохимическим данным.

a-e – вероятные типы и породный состав питающих провинций на диаграммах: *a* – $Zr/Sc-Th/Sc$ [34]; *б* – $F1-F2$ [40]. $F1 = 30.638 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 7.329 \times MgO / Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O / Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O / Al_2O_3 - 6.382$; $F2 = 56.5 \times TiO_2 / Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_3^* / Al_2O_3 + 30.875 \times MgO / Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O / Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O / Al_2O_3 - 3.89$; *в* – $Hf-La/Th$ [30]; *г* – $La/Sc-Th/Co$ [30]; *д* – $Zr-TiO_2$ [31]; *е* – доля участия продуктов размытия кислых и основных магматических пород в составе песчаников монгулбайской свиты [27].

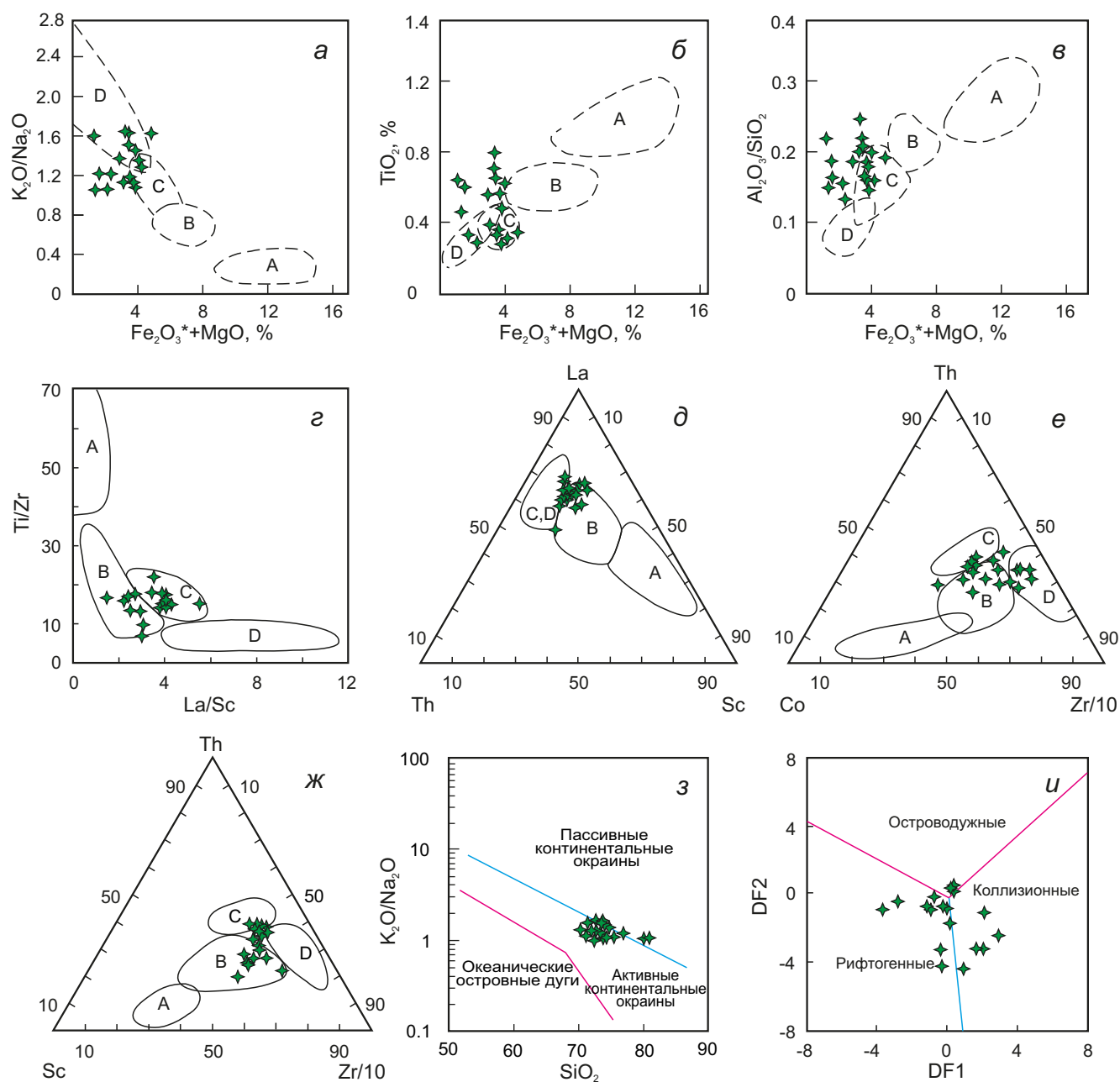


Рис. 8. Возможные палеогеодинамические обстановки формирования отложений монгугайской свиты по геохимическим данным.

а–ж – типы седиментационных бассейнов [23, 24]. Поля бассейнов, сопряженных: *A* – с океаническими, *B* – с континентальными островными дугами, *C* – с активными, *D* – с пассивными континентальными окраинами. Fe_2O_3^* – общее железо; *з* – бассейновые обстановки [39]; *и* – возможные типы геодинамических обстановок для высокремнистых пород [43].
 $\text{DF1} = -0.263 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.604 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.725 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.66 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 2.191 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.144 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.304 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.054 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.33 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.588$;
 $\text{DF2} = -1.196 \times \ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.064 \times \ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.303 \times \ln(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.436 \times \ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.838 \times \ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0.407 \times \ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1.021 \times \ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.706 \times \ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0.126 \times \ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1.068$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и интерпретация полученных данных по геохимическому составу песчаных пород монгулайской свиты Юго-Западного Приморья позволили воссоздать геодинамическую обстановку формирования ее отложений, а также определить петрографический состав материнских пород вероятных источников питания.

Особенности геохимического состава песчаников свиты свидетельствуют, что по своим параметрам они достаточно однородны, являются петрогенными или «first cycle» породами, прошедшими один цикл переотложения, относятся к грауваккам и, частично, лититовым аренитам, характеризуются довольно значительной степенью химической зрелости кластического материала, что свидетельствует об их образовании за счет размыва существенно выветрелых исходных пород областей денудации.

Исходя из установленных геохимических особенностей пород и локализации точек их состава на ряде дискриминантных диаграмм, можно сделать вывод о том, что в поздне триасовое время в юго-западной части Приморья палеогеодинамические обстановки формирования отложений соответствовали обстановкам активной континентальной окраины, по всей вероятности осложненной сдвиговыми дислокациями по трансформным разломам. Примером подобных обстановок может служить Калифорнийская окраина Америки [26].

Судя по относительно высокому содержанию в песчаниках кварца и кремнекислоты, незначительному преобладанию K_2O над Na_2O , заметной обогащенности их легкими РЗЭ элементами по сравнению с тяжелыми, четко выраженной отрицательной Eu аномалии, а также расположению точек состава на диаграммах, доминирующим источником вещества была континентальная суша, сложенная гранитно-метаморфическими комплексами и осадочными породами, обогащенными древними обломочными компонентами. Осуществленное ранее U-Pb датирование обломочных цирконов из песчаников свиты показывает, что источниками подавляющей части силикатической кластики были широко распространенные вдоль восточной окраины Евразии, в том числе и в юго-западной части Приморья, массивы пермских и пермско-среднетриасовых гранитоидов [12]. Они часто располагались в непосредственной близости от бассейна накопления отложений свиты, в том числе входя в состав самого Лаоелин-Гродековского террейна. Дополнительными источниками кластики были гранитоиды корневой части практически полностью эродированной энсиалической дуги, а также средние

и основные вулканиты из подстилающих свиту пермских отложений.

Работа выполнена по госзаданию ДВГИ ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурий И.В. Угленосные отложения триаса Южного Приморья // Осадочные и вулканогенно-осадочные формации Дальнего Востока. Владивосток: ДВФ СО АН СССР, 1968. С. 83–87.
2. Волынец Е.Б., Шорохова С.А. Поздне триасовая (монгулайская) флора Приморья и ее положение среди разновозрастных флор Евразии // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 5. С. 88–100.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / Под ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
4. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. Н.И. Погребнова. М.: Недра, 1973. Т. 9. Кн. 1. 692 с.
5. Геология СССР. Приморский край / Под ред. И.И. Берсенева. М.: Недра, 1969. Т. XXXII. Ч. 1. 696 с.
6. Каплан М.Е. Минералогический состав и условия осадконакопления и диагнеза триасовых отложений Южного Приморья // Петрографические исследования в нефтяной геологии: Бюлл. НТИ. Сер. Геол. месторождений полезных ископаемых, региональная геология. 1968. № 18. С. 8–12.
7. Корж М.В. Петрография триасовых отложений Южного Приморья и палеогеография времени их образования. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 83 с.
8. Корж М.В. Литологическая характеристика триасовых отложений в Южном Приморье // Материалы по стратиграфии и литологии мезозойских отложений Дальнего Востока. Магадан: Магаданское книжное изд-во, 1960. С. 5–58.
9. Криштофович А.Н. Юрские растения Уссурийского края // Тр. Геол. ком. 1910. Вып. 56. С. 1–23.
10. Крук Н.Н., Голозубов В.В., Киселев В.И., Крук Е.А., Руднев С.Н., Серов П.А., Касаткин С.А., Москаленко Е.Ю. Палеозойские гранитоиды южной части Вознесенского террейна (Южное Приморье): возраст, вещественный состав, источники расплавов и обстановки формирования // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 3. С. 32–53.
11. Малиновский А.И., Голозубов В.В. Нижнесилурийские терригенные отложения Лаоелин-Гродековского террейна (Южное Приморье): вещественный состав и обстановки формирования // Тихоокеан. геология. 2021. Т. 40, № 1. С. 25–44.
12. Малиновский А.И., Чашин А.А., Хубанов В.Б. Первые результаты U-Pb датирования детритовых цирконов из палеозойско-раннемезозойских отложений Лаоелин-Гродековского террейна (Западное Приморье) // Успехи современного естествознания. 2023. № 4. С. 89–95.
13. Маслов А.В., Мизенс Г.А., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Сорокин А.А., Смирнова Ю.Н., Сокур Т.М. Синорогенные псаммиты: основные черты литохимии // Литология и полез. ископаемые. 2013. № 1. С. 70–96.
14. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Гареев Э.З., Ножкин А.Д. Синрифтовые песчаники и глинистые породы: валовый хи-

- мический состав и положение на ряде дискриминантных палеогеохимических диаграмм // Литология и полез. ископаемые. 2019. № 5. С. 439–465.
15. Маслов А.В., Подковыров В.Н., Ковач В.П., Загорная Н.Ю. Литогеохимические особенности отложений венда севера Патомского нагорья // Литология и полез. ископаемые. 2022. № 6. С. 543–569.
 16. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 6. С. 7–41.
 17. Скороход В.З. Основные черты геологического строения южной части Советского Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Прим. геогр. об-ва, 1941. 265 с.
 18. Сребродольская И.Н. О расчленении монгулайской свиты Южного Приморья по палеоботаническим данным // ДАН СССР. 1958. Т. 118, № 1. С. 171–173.
 19. Триас и юра Сихотэ-Алиня. Терригенный комплекс. Под ред. П.В. Маркевича и Ю.Д. Захарова. Владивосток: Дальнаука, 2004. Кн. 1. 417 с.
 20. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.
 21. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 22. Bahlburg H., Dobrzinski N.A. Review of the chemical index of alteration (CIA) and its application to the study of Neoproterozoic glacial deposits and climate transitions // Geol. Soc. London. 2011. Vol. 36. P. 81–92.
 23. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical compositions of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91, N 6. P. 611–627.
 24. Bhatia M.R., Crook K.A.W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. V. 92. P. 181–193.
 25. Boynton W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare Earth element geochemistry. Ed. P. Henderson. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.
 26. Christie-Blick N., Biddle K.T. Deformation and basin formation along strike-slip faults // Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation: The society of economic paleontologists and mineralogists. Special publication. / Ed. K.T. Biddle, N. Christie-Blick. 1985. V. 37. P. 1–34.
 27. Condie K.C., Wronkiewicz D.A. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth Planet. Sci. Lett. 1990. V. 97. No. 3–4. P. 256–267.
 28. Cullers R.L., Podkovyrov V.N. Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda shales in Southeastern Yakutia, Russia: implications for mineralogical and provenance control, and recycling // Precambrian Research. 2000. V. 104, 77–93.
 29. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions. And metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem. Geol. 2002. V. 191. P. 305–327.
 30. Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London. 1987. V. 144. P. 531–542.
 31. Hayashi K., Fujisawa H., Holland H., Ohmoto H. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61. P. 4115–4137.
 32. Johnson M.J. The system controlling the composition of clastic sediments // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 1993. V. 284. P. 1–19.
 33. 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. / Ed. J.K. Leggett. Oxford: Blackwell, 1982. P. 551–561.
 34. McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geol. Soc. Amer. 1993. Spec. Pap. 284. P. 21–40.
 35. 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.
 36. Parker A. An index of weathering for silicate rocks // Geol. Magazine. 1970. V. 107. N, 6. P. 501–504.
 37. Pettijohn F.J. Sedimentary rocks. 2nd edn. New York: Harper and Row, 1975. 628 p.
 38. Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstones. 2nd edn. Heidelberg: Springer-Verlag, 1987. 553 p.
 39. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // J. Geol. 1986. V. 94, N. 5. P. 635–650.
 40. Roser B.P., Korsch R.J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data // Chem. Geol. 1988. V. 67. P. 119–139.
 41. Sengör A.M.C., Natal'in B.A. Rifts of the world // Mantle plumes: their Identification through time. / Ed. R.E. Ernst, K.L. Buchan. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2001. V. 352. P. 389–482.
 42. Taylor S.R., McLennan S.M. Planetary crusts: Their composition, origin and evolution. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 378 p.
 43. Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins // Chem. Geol. 2013. V. 355. P. 117–133.

Рекомендована к печати А.И. Ханчуком

после доработки 18.02.2025 г.

принята к печати 13.03.2025 г.

GEOCHEMISTRY OF UPPER TRIASSIC DEPOSITS OF SOUTHWESTERN PRIMORYE AS AN INDICATOR OF SOURCE AREAS AND TECTONIC SETTINGS OF FORMATION

A.I. Malinovsky

*Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;
e-mail: malinovsky@fegi.ru*

In the southwestern part of Primorye, the Upper Triassic is represented by the continental, often coal-bearing Mongugai Formation, which is part of the Laoeling–Godekovo terrane, a fragment of the eastern edge of the Central Asian fold belt. The lithological composition of terrigenous rocks of the Mongugai Formation has been poorly studied therefore the purpose of the publication is to study in detail the geochemical composition of its sandy rocks and, based on genetic interpretation, to clarify geodynamic environments of deposition and to determine the type and composition of rocks in source areas. As a result of the studies carried out, it was established that in terms of their geochemical parameters, sandstones are homogeneous and belong to graywackes and, in part, lithic arenites. The rocks are petrogenic having gone through one cycle of resedimentation, and are characterized by a significant degree of chemical maturity of the clastic material suggesting their formation due to the erosion of significantly weathered rocks of denudation areas. The features of the geochemical composition of sandy rocks, as well as the results of its paleogeodynamic interpretation, indicate that in the Late Triassic in the southwestern part of Primorye, terrigenous deposits accumulated in an active continental margin setting, most likely complicated by strike-slip dislocations along transform faults. The main source area was a continental land composed of granite-metamorphic complexes and sedimentary rocks. Additional sources of clastics were the granitoids of the root part of the deeply eroded ensialic arc, as well as the intermediate and basic volcanites from the underlying Permian deposits.

Key words: Upper Triassic, sandstones, geochemistry, source areas, formation settings, Primorye.