

ПЕСЧАНИКИ МОЛАССОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ: НЕКОТОРЫЕ ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕОДИНАМИКА

© 2012 г. А. В. Маслов, Г. А. Мизенс

Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: Maslov@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 29.06.2010 г.

В статье проанализированы литохимические особенности песчаников ряда различных молассовых последовательностей (Швейцарский молассовый бассейн, Карнийские Альпы, серия Хаммамат, пермские отложения Предуральяского предгорного прогиба и др.) и показано, что при их формировании значительную роль играли локальные факторы. В указанной ситуации применение для распознавания молассовых псаммитов таких широко используемых при геодинамических реконструкциях дискриминантных диаграмм, как $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--TiO}_2$ и др., без учета структурных признаков и анализа особенностей строения слагаемых ими осадочных последовательностей, а также и соотношения последних с подстилающими и перекрывающими образованиями, часто может не иметь существенного/решающего значения.

Ключевые слова: *песчаники, молассовые последовательности, химический состав, геодинамика.*

ВВЕДЕНИЕ

В первой половине XX в. была разработана модель преобразования некоторых морских бассейнов в складчатые сооружения (орогены). В ней выделялось два этапа – *собственно геосинклинальный* и *орогенный*. Позднее тектоника литосферных плит достаточно удачно ассимилировала разработанные в рамках геосинклинальной концепции представления о формировании в ходе этого процесса осадочных ассоциаций. Собственно геосинклинальный этап в ее терминах отвечает спрединговому и островодужному этапам развития океана, а орогенный – соответствует континентальной коллизии.

Формирование конвергентных границ континентов (в случае коллизии “континент–континент”) приводит к орогенезу, появлению сложных тектонических структур и образованию мощных кластических последовательностей. По представлениям многих отечественных геологов [22 и др.] орогенный этап также включает две стадии. На первой – рельеф горной страны в основном низкий или умеренный, в результате чего в предгорных прогибах, формирующихся одновременно с началом поднятия складчатого сооружения, в морских и лагунных обстановках накапливается нижняя песчано-глинистая моласса. В то же время иногда, не получая достаточного количества обломочного материала, предгорные прогибы могут представлять относительно глубоководные “голодные” бассейны, т.е. бассейны с дефицитом обломочного материала. Вторая стадия

характеризуется ускорением воздымания складчатого сооружения и усилением погружения передовых и межгорных прогибов, в которых в компенсированных и перекомпенсированных обстановках происходит формирование грубообломочной верхней континентальной молассы, в разрезах которой преобладают полимиктовые конгломераты и грубозернистые лититовые песчаники. По мнению известного отечественного литолога, В.Т. Фролова [21], только эти, в основном или исключительно континентальные образования, формирующиеся в условиях активного тектонического режима у подножья горных сооружений, и могут быть названы молассой.

Вместе с тем, анализ многочисленных публикаций последних 15–20 лет по такому классическому региону развития предгорных прогибов как Альпийский выявляет несколько иную картину эволюции и формирования осадочного заполнения форландовых¹ бассейнов. По данным [35, 36, 49, 55, 63 и др.] на первой стадии эволюции Северо-Альпийского форландового бассейна, в позднем мелу(?)–эоцене, преобладала глубоководная турбидитовая седиментация в недо-

¹ Согласно модели альпийских геологов, на начальной стадии развития складчато-надвигового пояса, перед ним закладывается относительно узкий и глубокий передовой прогиб (vortiefe, foredeep), который впоследствии, под влиянием разрастающегося орогена, расширяется в сторону континентальной платформы и превращается в континентальный или мелководноморской молассовый бассейн. Область прогиба перед орогеном в целом определяется как форланд (foreland).

компенсированных обстановках (типичный альпийский флиш, формации Тавэйанна (Taveyan-paz), Валь-д'Илье (Val d'Illiez), Шампсор (Champsaur), Анно (Annot) и др., по [28, 61, 62]), тогда как для второй (олигоцен–миоцен) было присуще накопление мелководно-морских и континентальных отложений, которые собственно и рассматриваются как моласса.

Согласно модели [61], на первой стадии в периферических форландовых бассейнах у обращенного к кратону края накапливаются преимущественно карбонатные мелководно-морские осадки (мощность от 0 до 2500 м). Вглубь бассейна они сменяются илами с пелагической микрофауной (40–50 до 4000 м), замещающимися рядом с орогенной границей бассейна глубоководными турбидитовыми последовательностями [43, 44], средняя мощность которых оценивается в ~2000 м. Прекрасными примерами указанных образований являются разрезы палеоцена и эоцена Франции и Швейцарии [39]. Выполняющие недокомпенсированный бассейн отложения несогласно перекрывают мезозойские мергели и карбонаты осадочного чехла Северо-Европейской плиты [61, 64].

Молассовые отложения Северо-Альпийского форландового бассейна традиционно расчленяются на четыре крупные литостратиграфические единицы, образующие две регрессивные последовательности [51, 61, 63]. Первая из них включает нижнюю морскую молассу (ранний олигоцен, 34–30 млн. лет) и нижнюю пресноводную молассу (поздний олигоцен–ранний миоцен, 30–20 млн. лет). Вторая последовательность начинается мелководно-морскими песчаниками верхней морской молассы (20–16.5 млн. лет). В зонах, прилегающих к надвиговому фронту, эти образования фациально замещаются отложениями крупных дельтовых конусов выноса [42]. Завершают вторую последовательность флювиальные отложения верхней пресноводной молассы, накопление которых происходило около 13.5 млн. лет назад. Разбор обстановок формирования указанных выше образований и характеристику слагающих их литотипов можно найти также в работе Ю.Р. Беккера [4].

В середине 1980-х гг. в связи с исследованием зон перехода “континент–океан” в изучении песчаных ассоциаций наметился крен в сторону генетической/геодинамической интерпретации их химического состава с использованием разнообразных парных диаграмм [9, 30, 31, 52, 58, 59 и др.]. Хотя такие диаграммы не имеют решающего значения для установления локальных геодинамических обстановок, некоторая оценка им с их помощью все же может быть дана.

В хорошо известных публикациях [30, 31] для идентификации геодинамических обстановок накопления палеозойских граувакк Австралии был

использован ряд дискриминационных факторов². Соотношения между K_2O/Na_2O , Al_2O_3/SiO_2 , $Al_2O_3/(CaO + Na_2O)$, TiO_2 и $(Fe_2O_{3\text{общ}} + MgO)$ также позволяют выделить поля составов песчаников, формировавшихся в отдельных геодинамических обстановках [30], к числу которых относятся бассейны океанических островных дуг (oceanic island arcs, OIA), континентальных островных дуг (continental island arcs, CIA), активных континентальных границ/окраин (active continental margins, ACM) и пассивных окраин (passive margins, PM). В составе последних иногда обособляются рифтогенные континентальные окраины атлантического типа, рифтовые бассейны, бассейны, расположенные вблизи коллизионных орогенов и неактивных/отмерших конвергентных границ [30, 31]. Для этих же целей широко используется и диаграмма $SiO_2-(K_2O/Na_2O)$ [31].

Естественно, что механическое перенесение выводов, полученных для современных или мезозойских песчаниковых последовательностей на более древние ассоциации может быть не вполне корректно в силу некоторой эволюции состава осадочных пород с течением времени и наложенных процессов [7, 8, 15, 16, 19, 20, 25, 26 и др.]. Значительную неопределенность при интерпретации данных о химическом составе песчаников могут внести также вовлекаемые в диагностику (при использовании данных валовых химических составов) аутигенные компоненты. Кроме того, необходимо иметь в виду, что перечисленные выше дискриминантные диаграммы, несмотря на их широкое использование в зарубежной и отечественной литературе, не позволяют сделать однозначные выводы относительно геодинамических обстановок формирования песчаниковых ассоциаций (см. [12]).

В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть на основе литературных и оригинальных данных некоторые литохимические особенности песчаников собственно молассовых последовательностей, формировавшихся на орогенном/коллизионном этапе развития различных подвижных поясов и проанализировать положение их медианных точек на таких известных дискриминантных диаграммах как SiO_2-K_2O/Na_2O , $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$, $(Fe_2O_3^* + MgO)-TiO_2$ и F1–F2.

² $F1 = 30.638 \times TiO_2/Al_2O_3 - 12.541 \times Fe_2O_{3\text{общ}}/Al_2O_3 + 7.329 \times MgO/Al_2O_3 + 12.031 \times Na_2O/Al_2O_3 + 35.402 \times K_2O/Al_2O_3 - 6.382$; $F2 = 56.5 \times TiO_2/Al_2O_3 - 10.879 \times Fe_2O_{3\text{общ}}/Al_2O_3 + 30.875 \times MgO/Al_2O_3 - 5.404 \times Na_2O/Al_2O_3 + 11.112 \times K_2O/Al_2O_3 - 3.89$; $F3 = 0.303 - 0.0447 \times SiO_2 - 0.972 \times TiO_2 + 0.008 \times Al_2O_3 - 0.267 \times Fe_2O_3 + 0.208 \times FeO - 3.082 \times MnO + 0.14 \times MgO + 0.195 \times CaO + 0.719 \times Na_2O - 0.032 \times K_2O + 7.51 \times P_2O_5$; $F4 = 43.57 - 0.421 \times SiO_2 + 1.988 \times TiO_2 - 0.526 \times Al_2O_3 - 0.551 \times Fe_2O_3 - 1.61 \times FeO + 2.72 \times MnO + 0.881 \times MgO - 0.907 \times CaO - 0.177 \times Na_2O - 1.84 \times K_2O + 7.244 \times P_2O_5$.

МОЛАССОВЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОРОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ

Палеоген–неогеновый Швейцарский предгорный бассейн

Особенности формирования. Как уже было отмечено выше, классическим предгорным прогибом является палеоген–неогеновый Швейцарский предгорный бассейн, располагающийся вдоль северной периферии Центральных Альп [38]. Его формирование происходило в течение двух стадий. На первой (палеоцен–эоцен) – в условиях недокомпенсированного осадконакопления был сформирован глубоко-водный северогельветский флиш, тогда как на второй (олигоцен–миоцен) – уже в компенсированных и перекомпенсированных обстановках, накапливались собственно молассовые образования. Последние представлены двумя регрессивными мегациклами, каждый из которых начинается морскими отложениями (нижняя и верхняя морская моласса), сменяющимися флювиальными образованиями (нижняя и верхняя пресноводная моласса) [46, 51, 64].

Литохимические особенности псаммитов. Медианное содержание SiO_2 в псаммитах второй стадии развития Швейцарского форландового бассейна составляет ~63%. Содержание Al_2O_3 варьирует от 3.5 до 11.5%. Содержание $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ не превышает 4%. Специфической особенностью псаммитов является чрезвычайно высокое суммарное содержание карбонатов (от 11 до 81%), значительная часть которых имеет аутигенную природу [38]. Это хорошо видно и по значению $\text{CaO}_{\text{медиана}}$ ($20.64 \pm 8.21\%$). Пределы вариаций содержаний Na_2O и K_2O примерно сопоставимы, при этом медианная величина Na_2O лишь немногим меньше K_2O (табл. 1). Медианное значение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ составляет 1.28, однако для рассматриваемых нами песчаников характерен достаточно большой разброс данного параметра (минимум – 0.50, максимум – 5.78). Отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2_{\text{медиана}}$ равно 0.11 ± 0.03 . В целом химический состав молассовых песчаников Швейцарского форландового бассейна позволяет считать их преимущественно литаренитами и аркозами при подчиненной роли вакк, сублитаренитов и субаркозов (рис. 1а).

На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ точка медианного состава молассовых псаммитов Швейцарского форландового бассейна локализована в области активных континентальных окраин (рис. 2а). Напротив, на диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ она, также как и медианные точки составов всех других рассмотренных в настоящем сообщении молассовых последовательностей, расположена в классификационном поле пассивных континентальных окраин (рис. 2б).

На диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--TiO}_2$ медианная точка состава молассовых песчаников Швейцар-

ского форландового бассейна тяготеет к полю составов активной континентальной окраины, соответствуя в то же время по содержаниям TiO_2 псаммитам пассивной окраины (рис. 2в). Наиболее ярко принадлежность молассовых песчаников рассматриваемого нами бассейна к породам, сформированным в обстановках активных континентальных окраин, выступает на диаграмме F1–F2 (рис. 2г).

Неопротерозойские орогенные бассейны Восточной пустыни Египта

Особенности формирования. Еще одним примером молассовых образований является неопротерозойская серия Хаммамат (Hammamat) Восточной пустыни Египта, формирование которой связано с пан-Африканскими орогенными событиями [27, 41, 57, 60]. Она представлена незрелыми и умеренно зрелыми аргиллитами, алевролитами, кварцевыми и граувакковыми песчаниками и конгломератами, выполняющими ряд осадочных бассейнов (собственно бассейн Хаммамат, а также бассейны Карим (Karim), Эль Майа (El Mayah), Игла (Iгла), Атави (Atawi) и др.). Формирование указанных образований происходило в результате быстрого поднятия и связанной с ним интенсивной эрозии, минимальной транспортировки обломочного материала и захоронения кластики в аллювиальных конусах выноса и разветвленных речных обстановках [43]. Так, по данным [60], осадочное выполнение бассейна Эль Майа представлено тремя седиментационными последовательностями. Мощность нижней из них, объединяющей желтовато-зеленые и красноцветные вулканокластические брекчии и красноцветные массивные неслоистые песчаники, составляет около 370 м. Последовательность II (до 1800 м) сложена красноцветными песчаниками с прослоями и линзами аргиллитов и алевролитов, крупно- и грубозернистыми песчаниками с гравелитами и конгломератами, а также косо- и градиционнослоистыми зеленоцветными песчаниками с линзами гравелитов. Последовательность III объединяет валунные и галечниковые конгломераты, красноцветные песчаники с прослоями гравелитов, а также светлые желтовато-серые косо- и градиционнослоистые песчаники с подчиненными им пачками красноцветных песчаников, прослоями гравелитов внизу и алевропесчаников вверху. Мощность ее варьирует от 850 до 1100 м.

В развитии бассейна Эль Майа выделяются две фазы [60]. В течение первой он являлся полуграбеном, в котором накопились последовательности I и II. Конец данной фазы совпал с инверсией бассейна и внедрением гранитоидов с возрастом ~590–580 млн. лет. Впоследствии бассейн Эль Майа эволюционировал как структура типа пулл-апарт, контролировавшаяся крупной сдвиговой зоной, а накапливавшиеся в нем осадочные образования содер-

Таблица 1. Медианное, минимальное и максимальное содержание (мас. %) основных петрогенных оксидов в молассовых песчаниках различных регионов

Компоненты	Швейцарский молассовый бассейн [38]	Серия Хаммат [40]	Карнийские Альпы, моласса [50]	Новая Шотландия, серия Эрайсейдж [54]	Район Централ Отаго, Новая Зеландия [34]	Моласса северной части Предуральского прогиба [26]	Олоторский прогиб, корфоская свита [9]	Верхний венд Южного Урала	Шкаповско-Шиханская впадина	# [33]
SiO ₂	62.90 ± 7.65 (45.74–73.39)	64.84 ± 3.04 (60.86–73.51)	78.35 ± 11.08 (60.92–89.25)	67.61 ± 6.72 (52.60–76.01)	75.49 ± 10.87 (64.74–96.17)	64.41 ± 5.57 (50.28–69.35)	62.90 ± 3.33 (57.20–71.50)	75.47 ± 8.95 (61.19–95.57)	74.53 ± 5.43 (65.03–88.00)	91.50
TiO ₂	0.24 ± 0.09 (0.06–0.47)	0.75 ± 0.15 (0.46–0.94)	1.08 ± 0.33 (0.37–1.30)	0.74 ± 0.24 (0.20–1.19)	0.53 ± 0.26 (0.04–0.87)	0.67 ± 0.11 (0.50–0.97)	0.74 ± 0.13 (0.49–1.14)	0.66 ± 0.34 (0.13–1.78)	0.43 ± 0.18 (0.15–0.77)	0.25
Al ₂ O ₃	7.54 ± 2.37 (3.57–11.48)	14.55 ± 1.28 (11.28–16.00)	10.84 ± 5.17 (6.42–20.85)	10.46 ± 4.32 (5.00–21.19)	12.05 ± 5.64 (1.22–16.72)	13.27 ± 2.58 (8.65–17.05)	14.95 ± 1.86 (10.75–18.19)	8.04 ± 2.82 (2.17–12.61)	11.42 ± 2.33 (5.87–17.36)	3.62
Fe ₂ O ₃ обш	1.87 ± 0.74 (0.62–3.97)	4.85 ± 1.07 (3.18–7.56)	3.07 ± 2.25 (0.81–6.65)	6.54 ± 2.60 (1.54–10.17)	2.65 ± 1.66 (0.08–4.89)	4.45 ± 1.24 (2.18–8.18)	5.63 ± 1.50 (2.38–8.61)	4.44 ± 1.55 (1.67–6.78)	4.18 ± 1.27 (1.88–7.00)	1.25
MnO	0.09 ± 0.03 (0.06–0.19)	0.87 ± 0.18 (0.09–1.03)	0.03 ± 0.07 (0.01–0.19)	0.09 ± 0.16 (0.02–0.62)	0.04 ± 0.02 (0.01–0.08)	0.10 ± 0.09 (0.01–0.32)	0.08 ± 0.04 (0.01–0.17)	0.08 ± 0.05 (0.02–0.26)	0.08 ± 0.03 (0.04–0.13)	–
CaO	20.64 ± 8.21 (6.54–38.48)	3.22 ± 1.06 (1.26–4.94)	0.07 ± 1.23 (0.02–2.18)	2.52 ± 5.94 (0.07–17.88)	1.76 ± 0.91 (0.02–2.26)	1.93 ± 0.92 (0.75–5.12)	2.28 ± 0.93 (0.76–4.67)	1.85 ± 0.90 (0.05–3.18)	0.76 ± 0.36 (0.37–2.10)	1.31
MgO	1.74 ± 2.65 (0.42–9.36)	2.54 ± 1.02 (0.90–4.97)	0.77 ± 0.57 (0.12–1.48)	1.26 ± 0.44 (0.83–2.72)	0.89 ± 0.53 (0.01–1.46)	2.39 ± 3.58 (0.37–12.01)	2.10 ± 0.75 (1.17–4.40)	1.46 ± 2.51 (0.05–11.18)	1.74 ± 0.77 (0.26–3.75)	0.45
Na ₂ O	1.22 ± 0.70 (0.09–2.78)	3.61 ± 1.03 (2.13–5.61)	0.32 ± 0.12 (0.14–0.46)	0.77 ± 0.72 (0.01–1.97)	2.10 ± 1.05 (0.02–2.95)	2.73 ± 0.96 (1.29–4.57)	2.30 ± 0.52 (1.24–4.00)	1.65 ± 0.59 (0.16–2.21)	2.40 ± 0.92 (0.90–4.40)	0.42
K ₂ O	1.74 ± 0.67 (0.35–2.98)	1.90 ± 0.42 (1.11–2.52)	1.95 ± 0.95 (1.19–3.77)	1.63 ± 0.92 (0.73–3.86)	1.72 ± 0.83 (0.06–2.57)	1.67 ± 0.88 (0.45–3.82)	1.38 ± 0.28 (0.93–1.99)	1.06 ± 0.42 (0.38–2.05)	1.87 ± 0.82 (0.62–4.31)	0.91
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.13 ± 0.03	0.23 ± 0.03	0.14 ± 0.10	0.16 ± 0.07	0.16 ± 0.09	0.17 ± 0.03	0.24 ± 0.04	0.11 ± 0.04	0.16 ± 0.04	0.04
K ₂ O/Na ₂ O	1.28 ± 0.48	0.52 ± 0.20	7.47 ± 2.42	3.20 ± 3.07	0.91 ± 1.31	0.54 ± 0.16	0.66 ± 0.18	0.81 ± 0.48	0.74 ± 0.48	2.17
ГМ	0.20 ± 0.06	0.36 ± 0.05	0.20 ± 0.14	0.28 ± 0.09	0.21 ± 0.12	0.36 ± 0.07	0.37 ± 0.05	0.22 ± 0.09	0.24 ± 0.07	0.06
n	30	20	6	19	13	9	46	30	25	

Примечание. n – количество образцов в выборке. В числителе – медианное значение и величина стандартного отклонения, в знаменателе – минимальное и максимальное значения. # – фанерозойские кратонные песчаники. Прочерк – нет данных.

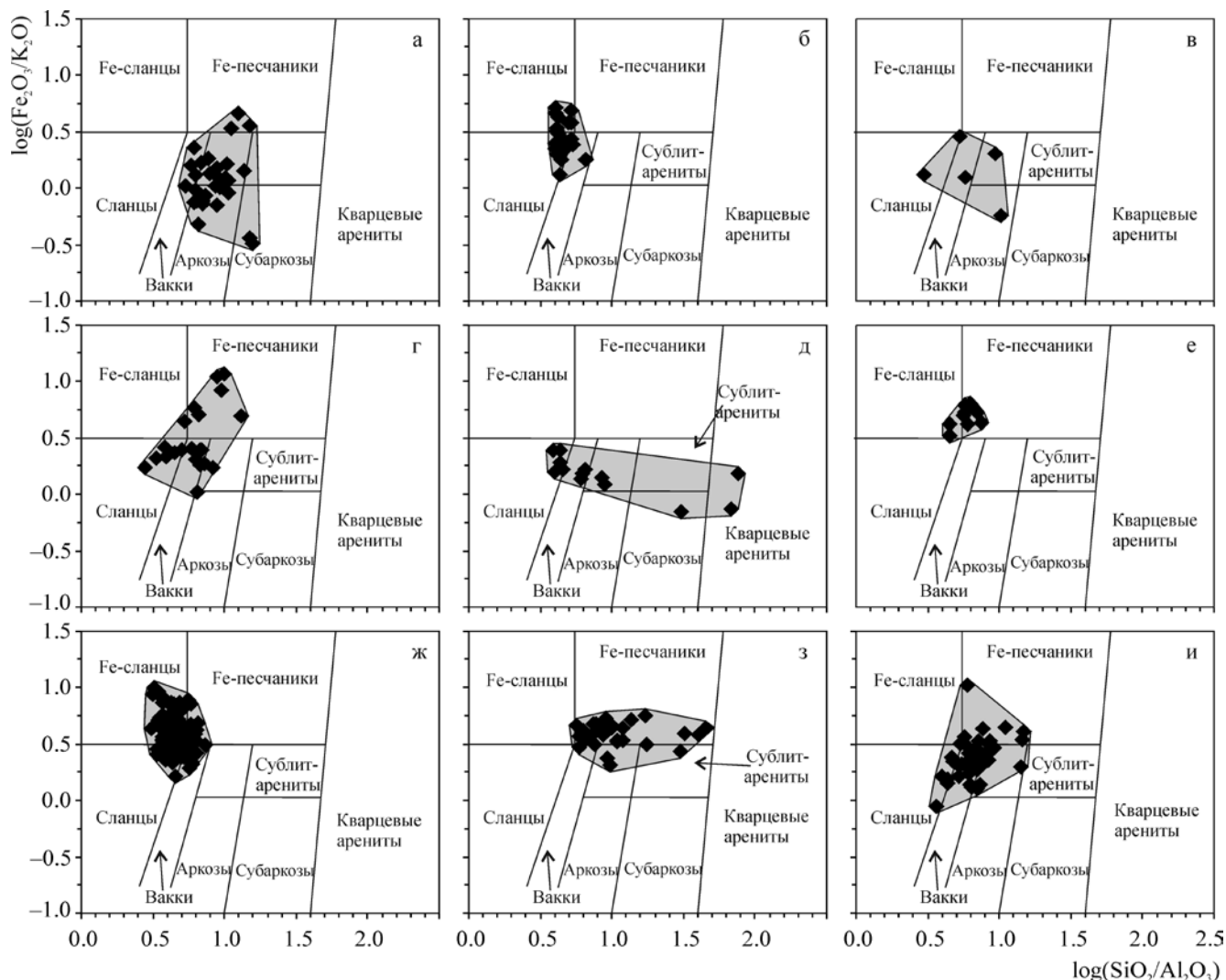


Рис. 1. Области состава песчаников различных молассовых последовательностей на классификационной диаграмме М. Хиррона [39].

а – Швейцарский молассовый бассейн; б – Восточная пустыня Египта; в – Карнийские Альпы; г – серия Эрайсейдж, Новая Шотландия, Канада; д – окрестности Сентрал Отаго, Новая Зеландия; е – пермская моласса севера Предуралья; ж – Олюторский прогиб; з – верхневендская моласса западного склона Южного Урала; и – верхневендская удаленная/нескладчатая моласса Шкаповско-Шиханской впадины.

жали значительную долю рециклированной алюмосиликокластиков.

Указанные выше особенности осадочного выполнения бассейна Эль Майя типичны и для остальных молассовых бассейнов Восточной пустыни Египта. Все они выполнены почти исключительно аллювиальными отложениями.

Литохимические особенности псаммитов. Содержание оксида кремния в молассовых песчаниках серии Хаммамат варьирует от ~61 до 74% (табл. 1). Медианное содержание оксида алюминия примерно в два раза выше, чем в псаммитах Швейцарского молассового бассейна, тогда как содержания оксидов кальция и магния существенно ниже. Медианная величина отношения Al_2O_3/SiO_2 составляет 0.23 ± 0.03 . В отличие от молассовых пес-

чаников Швейцарского форланда псаммиты серии Хаммамат имеют более высокие содержания оксида натрия, чем калия ($Na_2O_{\text{медиана}} = 3.61 \pm 1.03$, $K_2O_{\text{медиана}} = 1.90 \pm 0.42$, $K_2O/Na_2O_{\text{медиана}} = 0.52 \pm 0.20$). Медианное значение гидролизатного модуля составляет 0.36 ± 0.05 , для CIA этот же параметр равен 51 ± 4 . На классификационной диаграмме М. Хиррона [40] песчаники серии Хаммамат образуют компактную область, расположенную в полях Fe-сланцев и Fe-песчаников, вакк и обычных сланцев (рис. 1б).

На диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O медианная точка состава песчаников серии Хаммамат расположена в классификационном поле океанической островной дуги (рис. 2а). На диаграмме $(Fe_2O_3^* + MgO)-TiO_2$ она локализована в верхней, с наиболее высокими

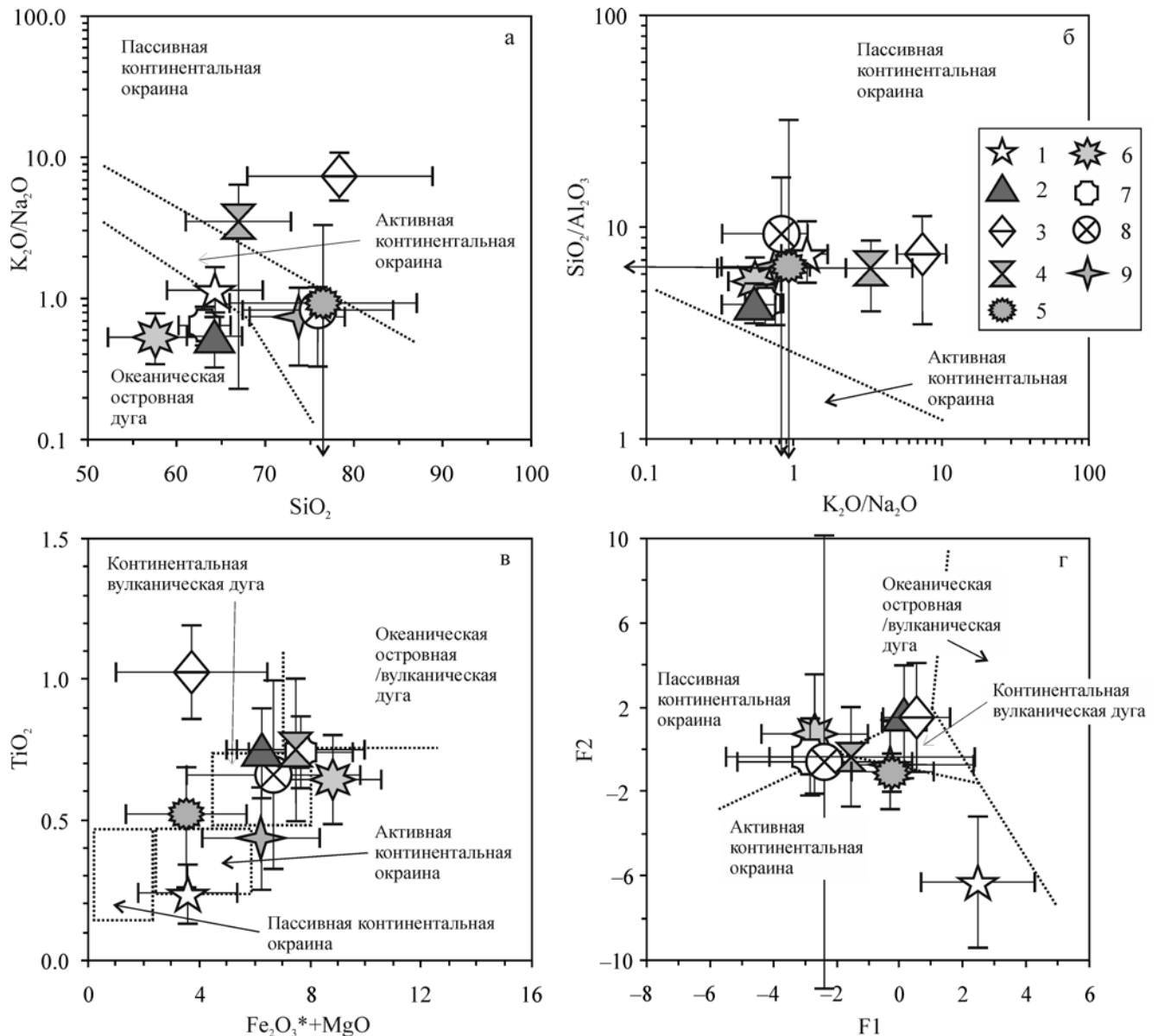


Рис. 2. Положение медианных точек составов песчаников различных молассовых последовательностей на дискриминантных палеогеодинамических диаграммах.

1 – Швейцарский молассовый бассейн; 2 – Восточная пустыня Египта; 3 – Карнийские Альпы; 4 – серия Эрайсэйдж, Новая Шотландия, Канада; 5 – окрестности Сентрал Отаго, Новая Зеландия; 6 – пермская моласса севера Предуральяского краевого прогиба; 7 – Олжоторский прогиб; 8 – верхневендская моласса западного склона Южного Урала; 9 – верхневендская удаленная/нескладчатая моласса Шкаповско-Шиханской впадины. Горизонтальными и вертикальными линиями показаны величины стандартных отклонений для каждой из медианных точек.

значениями TiO_2 , части поля континентальной вулканической дуги (рис. 2в), тогда как на диаграмме $F1-F2$ она занимает положение на границе полей пассивной континентальной окраины и континентальной вулканической дуги (рис. 2г).

Позднекарбонный молассовый бассейн Карнийских Альп

Особенности формирования. В Карнийских Альпах (Австрия) в раннем карбоне существовал

синорогенный флишевый трог, в котором накапливались отложения серии Хохвипфел (Hochwipfel), объединяющей турбидиты и олистостромы, отвечающие началу варисской орогении [50, 65]. В позднем карбоне здесь появился молассовый бассейн, выполненный серией Ауерниг (Auenig), включающей мелководно-морские карбонатные породы, а также песчаники и конгломераты, имеющие преимущественно континентальный генезис [50].

Литохимические особенности псаммитов. Медианное содержание SiO_2 в песчаниках молассовой

формации несколько выше 78%. Содержание Al_2O_3 в них варьирует от 6.42 до 20.85%. Значительный разброс содержаний (0.81–6.65%) характерен и для $Fe_2O_{3\text{общ}}$. Содержания CaO и MgO в псаммитах, в отличие от песчаников Швейцарского форландового бассейна, весьма незначительны (соответственно, $CaO_{\text{медиана}} = 0.07$ и 20.64%, $MgO_{\text{медиана}} = 0.77$ и 1.74%). Величина отношения $K_2O/Na_2O_{\text{медиана}}$ в псаммитах серии Ауерниг составляет 7.47 ± 2.42 , а медианная величина $Al_2O_3/SiO_2 = 0.14 \pm 0.10$. Значения гидrolизатного модуля варьируют от 0.09 до 0.46. Медианное значение индекса химического изменения для молассовых псаммитов составляет 80 ± 7 . Точки составов песчаников молассовых фаций на классификационной диаграмме М. Хиррона [40] сосредоточены в основном в полях аркозов, вакк и литаренитов (рис. 1в).

На диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O медианная точка составов песчаников серии Ауерниг локализована в области составов, характерных для остановок пассивной окраины. На диаграмме $(Fe_2O_3^* + MgO)-TiO_2$ она попадает в область неопределенности, так как характеризуется достаточно низкими значениями $Fe_2O_3^* + MgO$ при повышенном содержании оксида титана. На диаграмме F1–F2 медианная точка состава псаммитов расположена в непосредственной близости от аналогичной точки составов песчаников серии Хаммат, на границе между классификационными полями составов псаммитов континентальной вулканической дуги и пассивной окраины.

Среднепалеозойские синколлизийные бассейны Новой Шотландии

Особенности формирования. На северо-востоке Канады, в Поднятиях Антигонииш (Новая Шотландия), примером осадочного выполнения синколлизийных бассейнов является серия Эрайсэйдж (Arisaig) (силур-нижний девон) [54]. Формирование отложений названной серии происходило на фоне косої коллизии Авалонского террейна и палеоконтинента Лаврентия-Балтика, приведшей в конечном счете к образованию каледонского Аппалачского орогена [47, 53, 67]. Серия Эрайсэйдж объединяет формации Бичайл Кав (Beechill Cove), Росс Брук (Ross Brook), Френч Ривер (French River), Докторс Брук (Doctors Brook), МакАдам (MacAdam), Мойдарт (Moydart), Стоунхаус (Stonehouse) и Нойдарт (Knoydart). Формация Бичайл Кав представлена конгломератами, глинистыми сланцами и песчаниками [56]. Вверх по разрезу она сменяется черными сланцами, глинистыми алевролитами и песчанистыми известняками с прослоями туфов, объединяемыми в формацию Росс Брук [29, 32, 45]. Залегающая выше формация Френч Ривер включает зеленые сланцы, алевролиты, песчаники и подчиненные им ожелезненные терригенные породы.

Верхневенлокская формация Докторс Брук сложена глинистыми сланцами, алевролитами и песчанистыми известняками. Указанные образования перекрыты породами формации МакАдам – переслаиванием глинистых сланцев, известковистых алевролитов и известняков. Далее разрез серии Эрайсэйдж надстраивается формациями Мойдарт и Стоунхаус. Первая представлена чередованием алевролитов, глинистых сланцев и известняков, перекрываемых субаэральными красноцветными аргиллитами с каличе [48, 66]. Вторая сложена чередованием аргиллитов, глинистых сланцев, алевролитов и песчаников. Венчается разрез серии Эрайсэйдж красно- и зеленоцветными грубо- и тонкозернистыми кластическими породами формации Нойдарт, накапливавшимися в дельтовых и флювиальных обстановках [32, 37].

Литохимические особенности псаммитов. Медианное содержание SiO_2 в песчаниках серии Эрайсэйдж составляет $\sim 67.6 \pm 6.7\%$. При этом минимальное и максимальное содержания оксида кремния различаются более чем на 20% (табл. 1). Медианное содержание Al_2O_3 в песчаниках ($10.5 \pm 4.3\%$) почти в точности равно тому, что характерно для молассовых псаммитов Карнийских Альп ($10.8 \pm 5.2\%$). Величина отношения Al_2O_3/SiO_2 варьирует от 0.08 до 0.36 ($Al_2O_3/SiO_{2\text{медиана}} = 0.16 \pm 0.07$), что сопоставимо со значениями данного параметра в песчаниках Швейцарского молассового бассейна и Карнийских Альп). Для песчаников характерно значительное медианное содержание суммарного Fe_2O_3 ($6.5 \pm 2.6\%$). Содержание оксида кальция в них варьирует от 0.07 до 17.88%, что сближает песчаники серии Эрайсэйдж с молассовыми песчаниками Швейцарского форландового бассейна. Параметр $K_2O/Na_2O_{\text{медиана}}$ для рассматриваемых псаммитов составляет 3.20 ± 3.07 (минимум – 0.53, максимум – 12.17). Минимальное значение ГМ составляет 0.18, максимальное – 0.51. На диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3)$ и $\log(Fe_2O_3/K_2O)$ М. Хиррона область фигуративных точек составов песчаников расположена в полях глинистых сланцев, вакк и Фепесчаников (рис. 1г).

На диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O медианная точка состава песчаников серии Эрайсэйдж локализована в поле пассивных окраин (рис. 2а), но с учетом значений стандартных отклонений, особенно для параметра K_2O/Na_2O , можно предполагать, что существенная часть составов псаммитов на данной диаграмме сосредоточена и в поле активных континентальных окраин. На диаграмме М. Бхатия $(Fe_2O_3^* + MgO)-TiO_2$ медианная точка состава рассматриваемых нами песчаников расположена в пограничной между континентальной и океанической дугой области (рис. 2в), тогда как на диаграмме F1–F2 она тяготеет к границе классификационных полей пассивных и активных континентальных окраин, будучи локализованной все же в последнем (рис. 2г).

Мел-плиоценовые молассовые бассейны Новой Зеландии

Особенности формирования. На Южном острове Новой Зеландии молассовые мел-плиоценовые отложения известны в районе Централ Отаго (Central Otago), где они сохранились в ряде бассейнов (Мануэрикия (Manuherikia), Ида (Ida), Маньотото (Maniototo) и др.), контролируемых разломами. Подстилаются они флишевыми образованиями (Otago Schist) [34]. В указанном районе молассовая последовательность объединяет Брекчии Кайбёрн (Kyebrun), формации Хогбёрн (Hogburn), Данстэн (Dunstan), Бэннокбёрн (Bannockburn), Вэдабёрн (Wedderburn) и конгломераты Маньотото, разделенные поверхностями несогласий. Преобладающие типы пород здесь – лититовые и кварцевые грубо- и тонкозернистые песчаники, полимиктовые конгломераты и алевролиты, накапливавшиеся в аллювиальных, флювиальных и озерных обстановках. Вверх по разрезу песчаники обогащаются угловатыми и относительно хорошо окатанными зернами кварца, что связано, по представлениям [34], с усилением процессов химического выветривания и рециклинга в областях сноса.

Брекчии Кайбёрн сложены аллювиальными красноцветными конгломератами, гальки в которых представлены преимущественно кристаллическими сланцами и граувакковыми песчаниками, а также лититовыми аркозовыми песчаниками. Формация Хогбёрн представлена флювиальными конгломератами с кварцевыми гальками. В середине кайнозоя на рассматриваемой территории была сформирована низкорельефная эрозионная поверхность, на которой накапливались флювиально-озерные отложения формаций Данстэн и Бэннокбёрн. Первая сложена флювиальными отложениями, среди которых преобладают плохо сортированные тонкозернистые субаркозовые песчаники, вторая представлена озерными аргиллитами и алевролитами. Позднемиоцен-плиоценовая фаза поднятий обусловила появление вдоль северной и южной границ области Централ Отаго серии относительно пологих хребтов, разрушение которых и рециклинг подстилающих образований привели к накоплению отложений формации Вэдабёрн и конгломератов Маньотото. Формация Вэдабёрн объединяет средне- и/или грубозернистые субаркозовые песчаники, обладающие умеренной или хорошей сортировкой, и конгломераты³; формирование их происходило в основном в обстановках аллювиальных конусов выноса. Сходный состав и генезис имеют и конгломераты Маньотото.

³ Обломки пород в песчаниках формации Вэдабёрн представлены исключительно осадочными разностями, а конгломераты сложены гальками жильного кварца, граувакковых песчаников и кристаллических сланцев.

Литохимические особенности псаммитов.

Медианное содержание оксида кремния в молассовых песчаниках Централ Отаго примерно такое же, как и в песчаниках Карнийских Альп (соответственно, $75.49 \pm 10.87\%$ и $75.38 \pm 11.08\%$). Для оксидов алюминия и железа характерен существенный разброс минимальных и максимальных значений. Al_2O_3/SiO_2 медиана = 0.16 ± 0.09 . Медианное содержание оксида калия несколько меньше, чем оксида натрия. Соответственно, медианное значение K_2O/Na_2O равно 0.91 ± 1.31 , а максимальная величина данного параметра (5.50) почти на порядок больше минимальной. Медианные значения ГМ и CIA равны 0.21 ± 0.12 и 63 ± 12 . На диаграмме М. Хиррона фигуративные точки составов песчаников Централ Отаго сосредоточены в полях вакк, литаренитов, сублитаренитов, субаркозов и кварцевых аренитов (рис. 1д).

На диаграмме SiO_2-K_2O/Na_2O медианная точка псаммитов Централ Отаго попадает в поле активных континентальных окраин (рис. 2а) и расположена рядом с аналогичными точками псаммитов венда Шкаповско-Шиханской впадины (т.н. удаленная нескладчатая моласса, [11]) и западного склона Южного Урала (см. ниже). На диаграмме $(Fe_2O_3^* + MgO)-TiO_2$ она расположена несколько выше стандартного поля активных континентальных дуг (рис. 2в). На диаграмме F1–F2 медианная точка составов рассматриваемых нами псаммитов находится в классификационном поле активных континентальных окраин (рис. 2г), однако с учетом величины стандартных отклонений можно предполагать, что ряд точек составов псаммитов Централ Отаго сосредоточен и в поле континентальных вулканических дуг.

Позднепалеозойский Предуральский предгорный бассейн

Особенности формирования. В Предуральском предгорном прогибе в течение карбона и почти всей ранней перми в условиях некомпенсированного прогибания формировались флишевые отложения [13]. В конце ранней перми прогибание на территории Южного и Среднего Урала замедлилось, и флиш постепенно сменился более мелководными отложениями (шлировая формация), которые замещались на западе эвапоритами. В поздней перми и раннем триасе на смену шлиру пришли красноцветные континентальные (преимущественно аллювиальные и пролювиальные) молассовые образования. Они широко развиты в южной части Предуральского прогиба, на широте Бельской и Актюбинской впадин, где их суммарная мощность превосходит 5–6 км. В среднеуральском сегменте предгорного прогиба достоверные молассовые образования отсутствуют; считается, что это связано, скорее всего, с последующим их

размывом. На Северном Урале (Соликамская впадина) в разрезах уфимского и, частично, казанского ярусов верхней перми красноцветные континентальные образования появляются вновь, но мощность их почти на порядок ниже, чем в Бельской и Актюбинской впадинах. На Приполярном и Полярном Урале флиш сменяется шпиром уже во второй половине артинского века, однако континентальные образования здесь появляются тоже только в верхней перми. В южной части Приполярного Урала (Верхнепечорская впадина) это чередующиеся красноцветные и сероцветные образования, севернее преобладают сероцветные угленосные отложения. Суммарная мощность верхнепермских и триасовых отложений составляет здесь 2–4 км и более. Таким образом, по стилю своего развития Предуральский предгорный прогиб весьма близок к Северо-Альпийскому форланду – синорогенные псаммиты присутствуют здесь и в составе флишевых, и в составе молассовых последовательностей. Только источники обломочного материала в какой-то мере различаются. Если на Урале это исключительно складчато-надвиговый пояс, то в Альпах размывались также отдельные массивы в пределах прилегающей Европейской платформы. Специфическая особенность песчаников – высокая первичная карбонатность, также сближает псаммиты Предуральского прогиба с синорогенными псаммитами Швейцарского предгорного бассейна. Ниже нами, по данным, приведенным в работе Я.Э. Юдовича [26], кратко рассмотрены литохимические особенности молассовых песчаников северной части Предуральского прогиба.

Литохимические особенности псаммитов. Медианное содержание SiO_2 в синорогенных песчаниках Предуральского прогиба сопоставимо с аналогичным параметром в псаммитах Швейцарского форландового бассейна и серии Эрайсэйдж Новой Шотландии (табл. 1), тогда как Al_2O_3 медиана несколько выше. Медианное значение отношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ составляет 0.17 ± 0.03 . Медианное содержание оксида кальция близко к значению данного параметра в песчаниках Централ Отаго, тогда как MgO медиана примерно в 2.5 раза выше. Максимальное содержание оксида кальция в рассматриваемых нами псаммитах достигает 5.1%, оксида магния – 12.0%. Содержание Na_2O варьирует от 1.3 до 4.6%; минимальное содержание K_2O составляет 0.45%, а максимальное – почти на порядок больше. Медианная величина отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ равна 0.54 ± 0.16 . Медианное значение ГМ в молассовых песчаниках северной части Предуральского прогиба составляет 0.36 ± 0.07 . На диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ фигуративные точки составов рассматриваемых нами песчаников сосредоточены в полях сланцев и Fe-сланцев, вакк и Fe-песчаников (рис. 1е), что существенно отличает их от псаммитов Централ Отаго.

Специфика валового химического состава рассматриваемых образований проявлена и на диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, где медианная точка пермских псаммитов севера Предуральского прогиба расположена в поле океанических островных дуг. На диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO}) - \text{TiO}_2$ она попадает в поле неопределенности между классификационными полями континентальных и океанических/вулканических дуг, тогда как на диаграмме F1–F2 локализована в поле пассивной континентальной окраины рядом с медианной точкой состава песчаников Олюторского прогиба.

Кайнозойский Олюторский предгорный прогиб

Особенности формирования. Наиболее представительные данные о валовом химическом составе песчаников имеются для молассы Олюторского прогиба Корякско-Камчатской складчатой области [9]. Указанный прогиб расположен в юго-восточной части Корякского нагорья и вытянут вдоль побережья Берингова моря. Ряд авторов рассматривают его как структуру, наложенную на мезозойское складчатое основание, другие – как унаследованную впадину, преобразованную на последних этапах в предгорный прогиб. Слагающие нижние части разреза Олюторского прогиба вытынская и ачайваямская серии принадлежат раннегеосинклинальному комплексу [9]. Позднегеосинклинальный комплекс включает терригенные песчано-глинистые отложения ильпинской серии, а также морскую (алугинская и пахачинская свиты) и континентальную (корфская и ветровая свиты) молассу миоценового возраста. Приводимая ниже информация как раз и характеризует корфскую свиту (мощность до 1600 м), в основании которой залегает 200-метровая толща мелкогалечных конгломератов с прослоями и линзами грубозернистых песчаников и гравелитов, а выше наблюдается чередование различных по зернистости песчаников, кислых туфов, бурых углей и аргиллитов.

Литохимические особенности псаммитов. Песчаники корфской свиты характеризуются медианными содержаниями SiO_2 , сходными с содержаниями названного оксида в псаммитах Швейцарского и Предуральского предгорных бассейнов. В песчаниках Олюторского и Предуральского прогибов близкими являются также медианные содержания Al_2O_3 . Значение отношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ медиана в корфских песчаниках составляет 0.24 ± 0.04 . Медианное содержание Fe_2O_3 общ. равно 5.63 ± 1.50 и по этому показателю песчаники корфской свиты близки к песчаникам серии Эрайсэйдж. Медианное содержание оксида натрия (2.30 ± 0.52) в рассматриваемых нами псаммитах выше, чем аналогичный параметр для оксида калия (1.38 ± 0.28), что определяет значение отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ медиана на уровне 0.70. Значение ГМ для всей имеющейся в на-

шем распоряжении выборки данных по песчаникам корфской свиты достаточно высокое (0.37 ± 0.05), вместе с тем, медианная величина CIA составляет всего 61 (минимум – 48, максимум – 72). Также как и песчаники Предуральского прогиба псаммиты корфской свиты, характеризующиеся довольно высоким суммарным содержанием оксидов железа, на диаграмме М. Хиррона сосредоточены в основном в полях Fe-песчаников и Fe-сланцев, при подчиненной роли вакк (рис. 1ж).

На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ медианная точка песчаников корфской свиты расположена вместе с точками псаммитов серии Хаммамат и пермскими песчаниками севера Предуральского краевого прогиба в поле составов, типичных для OIA (рис. 2а). На диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}\text{--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ она, как и все остальные здесь точки, попадает в поле пассивных континентальных окраин (рис. 2б). На диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--TiO}_2$ медианная точка псаммитов корфской свиты занимает положение на границе полей континентальных и океанических островных дуг (рис. 2в), а на факторной диаграмме F1–F2 ей свойственна также промежуточная позиция, но между классификационными полями пассивных и активных континентальных обстановок (рис. 2г).

Поздневендский Южноуральский предгорный прогиб

Особенности формирования. Как молассовые образования на западном склоне Южного Урала рассматриваются не только пермско-триасовые, но и вендские отложения (ашинская серия) [3, 4, 18, 23, 24]. В настоящей работе мы относим к молассе не всю ашинскую серию, а только верхнюю ее часть в объеме басинской, куккараукской и зиганской свит. Басинская свита представлена преимущественно серыми и зеленовато-серыми песчаниками, переслаивающимися с пестроцветными алевролитами и глинистыми сланцами. Куккараукская свита складывается мелко- и среднегалечниковыми конгломератами и, в подчиненном количестве, песчаниками и алевролитами. Зиганская свита объединяет неравномерно переслаивающиеся серо- и зеленоцветные песчаники, алевролиты и аргиллиты. Подчиненную роль в разрезах свиты играют гравелиты и мелкогалечниковые конгломераты. Песчаники всех трех названных свит являются, как это следует из данных петрографических наблюдений [3], преимущественно литаренитами и сублитаренитами.

Литохимические особенности псаммитов. Взятые в совокупности песчаники басинской, куккараукской и зиганской свит характеризуются SiO_2 медиана $\sim 75.5\%$; примерно такие же величины названного параметра свойственны молассовым песчаникам серии Хаммамат, Централ Отаго и бижбулякского комплекса Шкаповско-Шиханской впадины

(см. далее). Медианное содержание Al_2O_3 в них сопоставимо с тем, что характерно для молассовых песчаников Швейцарского форландового бассейна, молассы Карнийских Альп и серии Эрайсэйдж. Медианное значение отношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ относительно невелико (0.11 ± 0.04). Содержания CaO и MgO примерно соответствуют тем, что характерны для большинства рассмотренных нами выше примеров (за исключением Швейцарского форландового бассейна). Параметр Na_2O медиана в псаммитах верхней части ашинской серии выше, чем K_2O медиана. Соответственно, медианное значение $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ составляет 0.74 ± 0.48 . Величина индекса химического изменения для псаммитов верхней части ашинской серии варьирует от 51 до 74 при весьма низком медианном значении – 53 ± 6 . Относительно невелико и свойственное песчаникам медианное значение ГМ (0.24 ± 0.07). По соотношению $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ преобладающая часть псаммитов верхневендской молассы Южного Урала принадлежит Fe-песчаникам; в состав общей выборки входят также вакки, литарениты и сублитарениты (рис. 1з).

На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ медианная точка состава песчаников верхней части ашинской серии находится в поле составов активных континентальных окраин (рис. 2а). На диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})\text{--TiO}_2$ она попадает в поле составов песчаников, тяготеющих к континентальным вулканическим дугам (рис. 2в), а на факторной диаграмме F1–F2 расположена на границе классификационных полей пассивных и активных континентальных окраин (рис. 2г).

Поздневендская Шкаповско-Шиханская впадина с нескладчатой молассой

Особенности формирования. С вендом на Восточно-Европейской платформе связано расширение областей осадконакопления, активный принос кластического материала и формирование ряда впадин, в том числе Шкаповско-Шиханской, Верхнекамской и Мезенской [5, 6], выполненных т.н. нескладчатой или аллохтонной молассой [4, 11]. Одним из источников обломочного материала для названных впадин, являлись прилежащие к ним орогенные области [1, 2]. Вместе с тем, как считает А.В. Сочава [17], исходя из петрохимических, данных можно предполагать, что формирование вендских отложений чехла платформы происходило преимущественно за счет размыва богатых K_2O гранитоидов внутриплатформенных областей сноса. Сходство петрохимического состава граувакковых отложений верхней части венда Южного (басинская и зиганская свиты) и Среднего Урала (чернокаменная свита), с одной стороны, и Варангер-Тиманского пояса – с другой, позволило А.В. Сочаве сделать вывод о генетической близости

сти указанных отложений и принадлежности всех их к турбидитовым осадкам континентального склона. Однако выполненный позднее Д.В. Гражданкиным с соавторами [10] анализ общей архитектуры осадочного выполнения среднеуральского сегмента поздневендского палеобассейна показал, что сыльвицкая серия отвечает дистальным обстановкам Мезенского предгорного палеобассейна и по ряду характерных особенностей напоминает шпировую формацию.

В Шкапово-Шиханской впадине верхневендские отложения представлены байкибашевской и старопетровской (каировская серия), а также салиховской и карлинской свитами (шкаповская серия), объединяемыми в бижбулякский комплекс [18]. В составе всех перечисленных свит заметную роль играют полимиктовые, кварц-полевошпатовые, полевошпато-кварцевые и лититовые песчаники. По представлениям Ю.Р. Беккера [4], каировская серия отвечает нижнемолассоидной формации. Нижняя ее часть сложена зеленовато-серыми и серыми полевошпато-кварцевыми, часто грубозернистыми песчаниками с подчиненными прослоями пестроцветных аргиллитов, гравелитов и алевролитов, а в верхней преобладают зеленоцветные алевролиты и песчаники. Верхняя молассоидная формация (шкаповская серия) также разделяется на две части. В разрезах ее нижней части преобладают коричневые среднезернистые песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов. Верхняя часть сложена красно- и зеленоцветными аргиллитами и алевролитами.

Литохимические особенности псаммитов. Содержания SiO_2 и Fe_2O_3 в псаммитах верхнего венда Шкапово-Шиханской впадины сопоставимы с теми, что характерны для песчаников верхневендской молассы Южного Урала. Несколько выше, по

сравнению с песчаниками басинской, куккараукской и зиганской свит, здесь величина Al_2O_3 (медиана). Максимальные содержания Na_2O и K_2O заметно выше, чем в псаммитах верхнего венда Южного Урала, что в какой-то мере подтверждает мнение А.В. Сочавы о привносе части кластики во впадину с Восточно-Европейской платформы; это же свойственно и медианным содержаниям названных оксидов. Величина отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (медиана) для псаммитов верхнего венда Шкапово-Шиханской впадины составляет ~ 0.77 . Значение $\text{GM}_{\text{медиана}}$ равно 0.24 ± 0.07 , $\text{CIA}_{\text{медиана}}$ составляет 60 ± 5 . На диаграмме М. Хиррона точки составов псаммитов образуют достаточно компактную область и локализованы в основном в полях вакк, литаренитов и сублитаренитов (рис. 1и).

На диаграмме SiO_2 –($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$) медианная точка состава песчаников бижбулякского комплекса расположена в поле активных континентальных окраин (рис. 2а). На диаграмме $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ – TiO_2 она занимает промежуточное положение между полями активных окраин и континентальных вулканических дуг (рис. 2в); такое же положение свойственно ей на диаграмме F1–F2 (рис. 2г).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение и анализ литохимических особенностей песчаников молассовых последовательностей можно было бы, продолжить, но уже из приведенных примеров вытекает, как нам представляется, ряд выводов. Во-первых, достаточно очевидно, что в разрезах молассовых образований наблюдается весьма пестрый по составу спектр песчаников, среди которых преобладают аркозы, литарениты и сублитарениты, при той или иной роли субаркозов, кварцевых и Fe-песчаников, а также вакк (рис. 3). Значительное содержание матрикса в песчаниках приводит в ряде случаев к тому, что на классификационных литохимических диаграммах они позиционируются, в том числе, и как сланцы или Fe-сланцы.

Химический состав песчаников проанализированных нами молассовых последовательностей несколько варьирует, но все же имеет достаточно много общих черт. По медианному содержанию SiO_2 среди указанных образований можно выделить две группы. Первая, включающая псаммиты Швейцарского и Предуральского форландовых бассейнов, Олюторского прогиба, а также серий Хаммамат и Эрайсэйдж характеризуется медианными содержаниями оксида кремния от 63 до 68%. Вторая имеет несколько более высокие его концентрации – от 75 до 78%. В отличие от приведенных данных, для кратонных песчаников фанерозоя величина SiO_2 , по оценке К. Конди [33], составляет 91.5%. Медианное содержание Al_2O_3 меньше или равно $\sim 8\%$ в

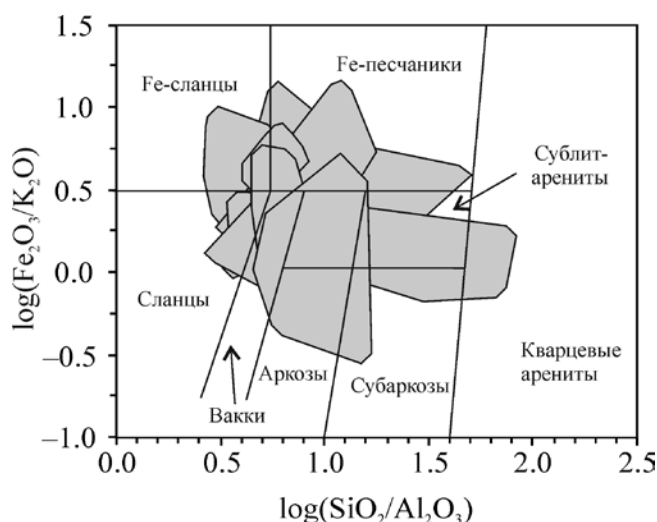


Рис. 3. Обобщенная область состава псаммитов молассовых песчаников на диаграмме М. Хиррона [39].

молассовых псаммитах Швейцарского форландового бассейна и песчаниках верхнего венда западного склона Южного Урала. Для остальных рассмотренных нами выше примеров молассовых последовательностей этот параметр составляет более 10–11%, тогда как в фанерозойских кратонных песчаниках содержание оксида алюминия равно 3.62%. Наблюдаются определенные различия между молассовыми песчаниками различных регионов и по суммарному содержанию Fe_2O_3 . Наименьшее медианное содержание $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ (1.87%) присуще псаммитам Швейцарского форланда. Для песчаников Карнийских Альп и района Сентрал Отаго величина $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ несколько выше и варьирует от 2.6 до ~3%, тогда как псаммиты остальных рассмотренных нами объектов характеризуются медианными значениями $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}$ от ~4.2 (бижбулакский комплекс венда Шкаповско-Шиханской впадины) до 6.5% (серия Эрайсэйдж). Песчаники Швейцарского форландового бассейна отличаются от всех других чрезвычайно высоким медианным содержанием оксида кальция. По медианному содержанию оксида магния намечаются две группы. В первую, характеризующуюся значениями $\text{MgO}_{\text{медиана}} < 2\%$, попадают псаммиты Швейцарского форландового бассейна, Карнийских Альп, серии Эрайсэйдж, района Сентрал Отаго, а также верхневендские песчаники западного склона Южного Урала и Шкаповско-Шиханской впадины. Для песчаников второй группы (серия Хаммамат, пермские песчаники Предуралья форландового бассейна и Олюторского прогиба) параметр $\text{MgO}_{\text{медиана}}$ составляет более 2%. Медианные содержания оксида натрия в имеющейся у нас выборке данных заметно варьируют. Для молассовых песчаников Карнийских Альп и серии Эрайсэйдж величина $\text{Na}_2\text{O}_{\text{медиана}}$ не превышает 0.8%; псаммиты Швейцарского форланда и западного склона Южного Урала характеризуются несколько более высокими медианными содержаниями Na_2O (соответственно, 1.2 и ~1.7%), тогда как для остальных примеров песчаников молассовых последовательностей этот параметр составляет более 2% (максимальное значение $\text{Na}_2\text{O}_{\text{медиана}}$ присуще песчаникам серии Хаммамат Восточной пустыни Египта и составляет ~3.6%). Медианное содержание оксида калия в рассмотренных нами примерах молассовых песчаников, напротив, довольно постоянно (1.4–1.9%) и только в верхневендских песчаниках Южного Урала оно несколько ниже (~1.1%) и достаточно сопоставимо с содержанием K_2O в фанерозойских кратонных псаммитах (0.91%, [33]). Использование отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ для разграничения аркозов и граувакк, как это предложено в [14], показывает, что к аркозам, в понимании Ф.Дж. Петтиджона с соавторами, могут быть отнесены только молассовые песчаники Швейцарского форландового бассейна, Карнийских Альп и серии Эрайсэйдж. В разрезах других рассмотренных нами молас-

сов последовательностей преобладают песчаники, сходные по составу с граувакками.

Диаграмма М. Хиррона и приведенный выше обзор общих особенностей химического состава песчаников различных молассовых последовательностей достаточно хорошо демонстрируют, что синорогенные песчаники имеют разный вещественный состав и, следовательно, разнородные источники обломочного материала. В то же время, некоторые молассовые бассейны имеют сходные черты. Так, фигуративные точки песчаников позднедокембрийской формации Хаммамат Восточного Египта, пермской молассы Западного Урала и кайнозойской – Олюторского прогиба Камчатки (в меньшей степени среднепалеозойской серии Эрайсэйдж) локализованы на диаграмме М. Хиррона приблизительно одинаково. Для них характерно высокое содержание общего железа и Al_2O_3 , очевидно, в составе обломочного материала значительную роль играют компоненты основных пород. Более низкое содержание Al_2O_3 характерно для вендских песчаников Западного Урала. Промежуточное положение занимают образования серии Эрайсэйдж. Обнаруживается сходство каменноугольных песчаников Карнийских Альп и мел-плиоценовых – Новой Зеландии с низким содержанием общего железа. Самостоятельное поле на рассматриваемой диаграмме образуют псаммиты третичной молассы Швейцарских Альп, среди которых преобладают породы с высоким содержанием K_2O и SiO_2 , и относительно низким – общего железа.

Обратимся теперь к сопоставлению положения медианных точек состава псаммитов молассовых последовательностей на различных дискриминантных геодинамических диаграммах. Из использованных нами четырех подобных диаграмм какое-либо разграничение псаммитов не наблюдается только на диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, где все точки сосредоточены в поле пассивной континентальной окраины. На диаграмме $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, напротив, часть медианных точек составов локализована в поле пассивной континентальной окраины, часть сосредоточена в поле активной континентальной окраины, а часть сконцентрирована в классификационном поле островных дуг. Диаграмма $(\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})-\text{TiO}_2$ как-будто бы выявляет несколько иную геодинамическую природу рассматриваемых нами образований. Здесь основная часть медианных точек составов песчаников сосредоточена в пограничной между полями океанических и континентальных вулканических островных дуг области. Точки псаммитов Швейцарского молассового бассейна, района Сентрал Отаго и верхневендской нескладчатой молассы Шкаповско-Шиханской впадины расположены по периферии поля активных континентальных окраин, а точка молассовых песчаников Карнийских Альп, обладая весьма высоким медианным содержанием TiO_2 , локализована в об-

ласти неопределенности выше указанного поля. Некоторая дифференциация медианных точек песчаников молассовых последовательностей присутствует и на диаграмме F1–F2. Совершенно определенное положение в классификационном поле активных континентальных окраин имеет здесь медианная точка песчаников Швейцарского молассового бассейна. Точки песчаников серии Хаммамат и Карнийских Альп расположены на границе полей пассивных окраин и континентальных вулканических дуг. Песчаники пермской молассы Предуральского краевого прогиба на данной диаграмме соответствуют составам, типичным для пассивной континентальной окраины. Песчаники Сентрал Отаго и верхневендские песчаники Шкаповско-Шиханской впадины тяготеют к границе между полями активной континентальной окраины и континентальной вулканической дуги, тогда как остальные медианные точки составов расположены на границе пассивных и активных континентальных окраин.

Все сказанное выше показывает, что при формировании песчаников молассовых последовательностей, как и во многих других случаях, значительную роль играют локальные факторы, ведущие к появлению в областях осадконакопления весьма разнообразных по петрографическому и химическому составу ассоциаций. В указанной ситуации использование для распознавания молассовых псаммитов стандартных геодинамических дискриминантных диаграмм без учета структурных признаков и анализа как особенностей строения слагаемых ими осадочных последовательностей, так и соотношения последних с подстилающими и перекрывающими образованиями часто может не иметь существенного/решающего значения.

Следует, однако, иметь в виду, что эти диаграммы созданы, прежде всего, для перисубдукционных бассейнов (островодужных и активных континентальных окраин), а также пассивных континентальных окраин, в большей степени относящихся к режиму дивергентному. Для песчаников, накапливавшихся в бассейнах коллизионных обстановок поля расположения фигуративных точек пока не определены, что связано как с объективными (разнородные источники), так и субъективными (мало обобщенных данных) причинами. Возможно здесь, как и в случае с субдукционными обстановками, нужен дифференцированный подход, например, рассматривать отдельно передовые прогибы, форландовые (разных типов), межгорные, остаточные бассейны и др. На всех четырех проанализированных нами в статье дискриминантных диаграммах хорошо видно, что песчаники позднедокембрийской формации Хаммамат Восточного Египта, пермской молассы Западного Урала и кайнозойской Олюторского прогиба, как и на диаграмме М. Хиррона, образуют единое поле. Вероятно, оно может быть зафиксировано как поле передовых прогибов и фор-

ландов в целом, для которых источником обломочного материала является складчато-надвиговый ороген. На диаграммах $TiO_2/Fe_2O_3 + MgO$ и особенно F1–F2 резко выделяются песчаники Швейцарской молассы с разнообразными источниками обломочного материала (коллизионный ороген и различные области на платформе). На трех диаграммах выделяются песчаники из карбонового молассового (форландового) бассейна Карнийских Альп, источником, которых, в значительной мере были гранитоиды платформы (много K_2O), но, по видимому, не только, так как, в отличие от швейцарской молассы, имеет место исключительно высокая концентрация TiO_2 . Эти данные (пусть сугубо предварительные) показывают, что для образований коллизионного режима могут и должны быть выявлены собственные закономерности распределения фигуративных точек на дискриминантных диаграммах, собственные признаки классификации пород по химическому составу.

Исследования выполнены при поддержке проекта УрО РАН 09-Т-5–1019.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Е.М. Венд Восточно-Европейской платформы // Вендская система. Т. 2. М.: Наука, 1985. С. 3–34.
2. Аксенов Е.М. История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук в форме научного доклада. СПб.: ИГГД РАН, 1998. 106 с.
3. Беккер Ю.Р. Позднедокембрийская моласса Южного Урала. Л.: Недра, 1968. 160 с.
4. Беккер Ю.Р. Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
5. Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: Звезда, 2001. 108 с.
6. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы / Отв. ред. Б.С. Соколов, М.А. Федонкин. М.: Наука, 1985. 237 с.
7. Виноградов А.П., Ронов А.Б. Состав осадочных пород Русской платформы в связи с историей ее тектонических движений // Геохимия. 1956. № 6. С. 3–27.
8. Гаррелс Р.М., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974. 272 с.
9. Геосинклинальный литогенез на границе континент–океан. М.: Наука, 1987. 176 с.
10. Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд, Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
11. Карта докембрийских формаций Русской платформы и ее складчатого обрамления (со снятыми фанерозойскими отложениями). М-б 1 : 2 500 000. Объяснительная записка. Л.: ВСЕГЕИ, 1983. 172 с.
12. Маслов А.В., Гареев Э.З., Подковыров В.Н. Песча-

- ники верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория // Литология и полез. ископаемые. 2010. № 3. С. 320–338.
13. Мизенс Г.А. Об этапах формирования Предуральского прогиба // Геотектоника. 1997. № 5. С. 33–46.
 14. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.
 15. Ронов А.Б. Эволюция состава пород и геохимических процессов в осадочной оболочке Земли // Геохимия. 1972. № 2. С. 137–147.
 16. Ронов А.Б., Мигдисов А.А. Эволюция химического состава пород щитов и осадочного покрова Русской и Североамериканской платформ // Геохимия. 1970. № 4. С. 403–421.
 17. Сочава А.В. Петрохимия вендских терригенных отложений Русской платформы и ее складчатого обрамления // Палеогеография венда-раннего палеозоя (ПВРП-96). Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1996. С. 146–149.
 18. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
 19. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. II. Закономерности состава и размещения гумидных отложений. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 573 с.
 20. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 535 с.
 21. Фролов В.Т. Молассовые формации: современное понимание // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1993. № 4. С. 3–12.
 22. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: МГУ, 1995. 480 с.
 23. Шатский Н.С. Об отношении кембрия к протерозою и о байкальской складчатости // Избранные труды. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 581–587.
 24. Шатский Н.С. Рифейская эра и байкальская складчатость // Избранные труды. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 600–619.
 25. Шванов В.Н. Главные изменения химического состава осадочных пород в результате эпигенеза // Вестник МГУ. Сер. 7. Геол. геогр. 1989. Вып. 4/28. С. 14–19.
 26. Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
 27. Akaad M.K., Noweir A.M. Lithostratigraphy of the Hammamat – Urn Seleimat District, Eastern Desert, Egypt // Nature. 1969. V. 223. P. 284–285.
 28. Allen P.A., Crampton S.L., Sinclair H.D. The inception and early evolution of the North Alpine foreland basin, Switzerland // Basin Research. 1991. V. 3. P. 143–163.
 29. Bergström S.H., Huff W.D., Kolata D.R., Melchin M.J. Occurrence and significance of Silurian K-bentonite beds at Arisaig, Nova Scotia, eastern Canada // Canad. J. Earth Sci. 1997. V. 34. P. 1630–1643.
 30. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. 1983. V. 91. P. 611–627.
 31. 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.
 32. Boucot A.J., Dewey J.F., Dineley D.L. et al. Geology of the Arisaig area, Antigonish County, Nova Scotia // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 1974. № 139. 191 p.
 33. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.
 34. Corcoran P.L. Recycling and chemical weathering in tectonically controlled Mesozoic-Cenozoic basins of New Zealand // Sedimentology. 2005. V. 52. P. 757–774.
 35. Covey M. The evolution of foreland basins to steady state: Evidence from the western Taiwan foreland basin // Foreland basins / P.A. Allen, P. Homewood (Eds). International Association of Sedimentologists Spec. Publ. № 8. 1986. P. 77–90.
 36. DeCelles P.G., Giles K.A. Foreland basin systems // Basin Research. 1996. V. 8. P. 105–123.
 37. Dineley D.L. Knoydart Formation (Lower Devonian) of Nova Scotia // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 1963. № 73. P. 138–139.
 38. Eynatten H.V. Petrography and chemistry of sandstones from the Swiss Molasse Basin: an archive of the Oligocene to Miocene evolution of the Central Alps // Sedimentology. 2003. V. 50. P. 703–724.
 39. Gupta S., Allen P.A. Implications of foreland paleotopography for stratigraphic development in the Eocene distal Alpine foreland basin // GSA Bulletin. 2000. V. 112. № 4. P. 515–530.
 40. Herron M.M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
 41. Holail H.M., Moghazi A.-K.M. Provenance, tectonic setting and geochemistry of greywackes and siltstones of the Late Precambrian Hammamat Group, Egypt // Sed. Geol. 1998. V. 116. P. 227–250.
 42. Homewood P., Allen P.A., Williams G.D. Dynamics of the Molasse basin of western Switzerland // Foreland Basins. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 1986. V. 8. P. 199–217.
 43. Homewood P.W., Caron C. Flysch of the Western Alps // Mountain building processes / K.J. Hsu (Ed.). London, Academic Press, 1982. P. 157–168.
 44. Homewood P.W., Lateltin O. Classic Swiss clastics (flysch and molasse): The Alpine connection // Geodinamica Acta. 1988. V. 2. P. 1–11.
 45. Hurst J.M., Pickerill R.K. The relationship between sedimentary facies and faunal associations in the Llandovery siliciclastics Ross Brook Formation, Arisaig, Antigonish County, Nova Scotia // Canad. J. Earth Sci. 1986. V. 23. P. 711–716.
 46. Kempf O., Matter A., Burbank D.W., Mange M. Depositional and structural evolution of a foreland basin margin in a magnetostratigraphic framework: the eastern Swiss Molasse Basin // Int. J. Earth Sci. 1999. V. 88. P. 253–275.
 47. Keppie J.D. Synthesis of Palaeozoic deformational events and terrane accretion in the Canadian Appalachians // Geologische Rundschau. 1993. V. 82. P. 381–431.
 48. Lane T.E., Jensen L.R. Stratigraphy of the Arisaig Group // Maritime Sediments. 1975. V. 11. P. 119–140.
 49. Lihou J.C., Allen P.A. Importance of inherited rift margin structures in the early North Alpine foreland basin, Switzerland // Basin Research. 1996. V. 8. P. 425–443.
 50. Mader D., Neubauer F. Provenance of Palaeozoic sandstones from the Carnic Alps (Austria): petrographic and geochemical indicators // Int. J. Earth Sci. 2004. V. 93. P. 262–281.
 51. Matter A., Homewood P.W., Caron C. et al. Flysch and molasse of central and western Switzerland //

- Geology of Switzerland, a guide book / R. Trümpy (Ed.). Schweizerische Geologische Kommission, 1980. P. 261–293.
52. Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin // J. Geol. Soc. Am. Spec. Publ. 1982. № 10. P. 551–561.
 53. McKerrow W.S., Scotese C.R. Palaeozoic palaeogeography and biogeography: Geol. Soc. London Mem. 12. 1990. P. 1–24.
 54. Murphy J.B., Fernandez-Suarez J., Jeffries T.E. Lithogeochemical and Sm-Nd and U-Pb isotope data from the Silurian-Lower Devonian Arisaig Group clastic rocks, Avalon terrane, Nova Scotia: A record of terrane accretion in the Appalachian-Caledonide orogen // GSA Bull. 2004. V. 116. № 9/10. P. 1183–1201.
 55. Pfiffner O.A., Schlunegger F., Buiter S.J.H. The Swiss Alps and their peripheral foreland basin: Stratigraphic response to deep crustal processes // Tectonics. 2002. V. 21. № 2. P. 156–172.
 56. Pickerill R.K., Hurst J.M. Sedimentary facies, depositional environments, and faunal associations of the lower Llandovery (Silurian) Beechill Cove Formation // Can. J. Earth Sci. 1983. V. 20. P. 1761–1779.
 57. Rice A.H.N., Osman A.F., Abdeen M.M. et al. Preliminary comparison of six late- to post-Pan-African molasse basins, E. Desert, Egypt // Geoscientific Research in Northeast Africa / U. Thorweihe, H. Schandelmeier (Eds). Balkema: Rotterdam, 1993. P. 41–45.
 58. Roser B.D., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // J. Geol. 1986. V. 94. P. 635–650.
 59. Roser B. D., 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.
 60. Shalaby A., Stuwe K., Fritz H., Makroum F. The El Mayah molasse basin in the Eastern Desert of Egypt // J. African Earth Sci. 2006. V. 45. P. 1–15.
 61. Sinclair H.D. Tectonostratigraphic model for underfilled peripheral foreland basins: An Alpine perspective // GSA Bulletin. 1997. V. 109. № 3. P. 324–346.
 62. Sinclair H.D. Flysch to molasse transition in peripheral foreland basins: The role of the passive margin versus slab breakoff // Geology. 1997. V. 25. № 12. P. 1123–1126.
 63. Sinclair H.D., Allen P.A. Vertical versus horizontal motions in the Alpine orogenic wedge: Stratigraphic response in the foreland basin // Basin Research. 1992. V. 4. P. 215–232.
 64. Sinclair H.D., Coakley B.J., Allen P.A., Watts A.B. Simulation of foreland basin stratigraphy using a diffusion model of Mountain belt uplift and erosion: An example from the central Alps, Switzerland // Tectonics. 1991. V. 10. № 3. P. 599–620.
 65. Spalletta C., Venturini C. Conglomeratic sequences in the Hochwipfel Group: a new palaeogeographic hypothesis on the Hercynian flysch stage of the Carnic Alps // Jb. Geol. Bundesanst. 1988. V. 131. P. 637–647.
 66. Waldron J.W.F., Murphy J.B., Melchin M., Davis G. Silurian tectonics of western Avalonia: Strain corrected subsidence history of the Arisaig Group, Nova Scotia // J. Geol. 1996. V. 104. P. 677–694.
 67. Williams H., Hatcher R.D. Appalachian suspect terranes // Contributions to the tectonics and geophysics of mountain chains / R.D. Hatcher, H. Williams, I. Zietz (Eds). Geol. Soc. Amer. Mem. 158. 1983. P. 33–53.

Рецензент М.И. Тучкова

Sandstones of molasse sequences: Some lithochemical peculiarities and geodynamics

A. V. Maslov, G. A. Mizens

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Lithochemical characteristics of sandstones from various molasse sequences (Swiss Molasse Basin, Carnic Alps, Hammamat Group, Cisuralian foredeep etc.) are discussed. It is established that the formation of the molasse sandstones in above mentioned regions were controlled mainly by local factors. In such situation well-known discriminant diagrams (e.g. SiO₂–K₂O/Na₂O, K₂O/Na₂O–SiO₂/Al₂O₃, (Fe₂O₃* + MgO)–TiO₂) will have no decisive importance for reconstruction of synorogenic sandstone sequences without structural and sedimentary data, as well as information on time and spatial correlations of these deposits and underlying and overlying rocks.

Key words: *sandstones, molasse sequences, chemical composition, geodynamics.*