

УДК 55(1/9)551.21

А.И. МАЛИНОВСКИЙ

## Островодужные комплексы Дальнего Востока России: вещественный состав и обстановки формирования

*Представлены результаты изучения минерального и химического состава терригенных пород из структурно контрастных мел-палеогеновых комплексов российского Дальнего Востока. Обобщение и геодинамическая интерпретация полученных результатов позволили установить островодужную природу этих комплексов, а также показать достаточную надежность использования вещественного состава песчаных пород для распознавания островодужных обстановок в палеобассейнах древних орогенных поясов.*

*Ключевые слова: тяжёлые минералы, химический состав, островная дуга, песчаные породы, террейн, геодинамические обстановки.*

**Island-arc complexes of the Russian Far East: substantial composition and formation settings.**  
A.I. MALINOVSKY (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*Results of the study on mineral and chemical composition of terrigenous rocks from the structurally contrasting Cretaceous-Paleogene complexes of the Russian Far East are set out. Generalization and geodynamic interpretation of the results allowed to determine the island arc origin of these complexes and made it possible to find out island-arc character of these complexes and show sufficient reliability of using substantial composition of sandstones for recognition of island-arc settings in paleobasins of ancient orogenic belts.*

*Key words: heavy minerals, chemical composition, island arc, sandstones, terrane, geodynamic settings.*

Одной из важнейших фундаментальных задач современной геологии, связанной с палеогеодинамическими и палеогеографическими реконструкциями условий и обстановок формирования вулканогенно-осадочных образований складчатых областей, является типизация бассейнов осадконакопления и выяснение особенностей их эволюции в истории Земли. Решение этой проблемы необходимо для правильного понимания геологических процессов в древних и современных седиментационных бассейнах активных континентальных окраин зоны перехода от Тихого океана к Евразийскому континенту. Особое значение в рамках этой проблемы имеют бассейны, генетически и пространственно связанные с островными вулканическими дугами и образующие с последними вулканические островодужные системы. Эти системы играют важную роль в строении континентальной части российского Дальнего Востока, а также дна окраинных морей Тихого океана, обрамляющих Азию с востока.

Современная тектоническая структура Дальнего Востока России представляет собой коллаж различных по возрасту и происхождению террейнов, причлененных в палеозое и

---

МАЛИНОВСКИЙ Александр Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток). E-mail: malinovskiy@fegi.ru

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00119-а).



Рис. 1. Схема расположения изученных террейнов

мезозое к восточной окраине Азиатского континента [1]. Среди них выделяется ряд террейнов, представляющих собой фрагменты бассейнов, связанных с раннемеловыми и раннемеловыми-кайнозойскими островными дугами [1–5]. Эти бассейны сложены мощными, сильно дислоцированными толщами терригенных, вулканических и вулканогенно-осадочных пород. Островодужная природа бассейнов обычно распознается по ряду признаков: их палеогеологическому положению, строению и составу слагающих толщ, минералогии и петрохимии вулканитов. Цель данной статьи – показать возможность использования результатов анализа минерального и химического состава терригенных пород из различных по возрасту и происхождению террейнов российского Дальнего Востока для установления островодужных обстановок в древних бассейнах.

В основу работы положен оригинальный материал, полученный в результате изучения вещественного состава песчаных пород из раннемеловых и раннемеловых-кайнозойских отложений Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов Сихотэ-Алиня, Олюторского террейна восточной Камчатки, а также Айнынского террейна обрамления Пенжинской губы (рис. 1). Естественно, что именно на этих объектах показана применимость и достоверность предлагаемого

метода распознавания островодужных обстановок по результатам изучения минерального и химического состава песчаников. Такое повышенное внимание к песчаникам объясняется тем, что они несут богатую информацию о типе и составе питающих провинций, а также о геодинамических обстановках областей питания и осадконакопления.

Тяжелые минералы песчаников извлекали бромформом после дробления проб до 0,25 мм и в дальнейшем определяли и подсчитывали под микроскопом с помощью иммерсионных жидкостей. Химический состав тяжелых минералов изучали на рентгеновских микроанализаторах JXA-5A и JXA-8100. Содержания петрогенных элементов в породах определяли традиционным весовым химическим методом. Все анализы выполнены в лабораториях ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

В Сихотэ-Алинь-Северосахалинском меловом орогенном поясе островодужные образования установлены в Кемском и Киселевско-Маноминском террейнах.

Кемский терреин располагается в восточной части хребта Сихотэ-Алинь, протягиваясь вдоль побережья Японского моря на 850 км. В строении террейна принимают участие баррем(?)–альбские вулканогенно-осадочные образования, подразделяющиеся на

структурно-вещественные комплексы [3]: нижний и верхний турбидитовые – сложены пачками турбидитов, горизонтами алевролитов, песчаников и гравелитов; грубообломочный – состоит из конгломератов, гравелитов, песчаников, микститов, туфов, пачек турбидитов и редких потоков базальтов; вулканогенный – представлен базальтами, туфами, редкими прослоями песчаников и микститов (рис. 2).

Киселевско-Маноминский террейн расположен в нижнем Приамурье, он протягивается прерывистой полосой вдоль р. Амур на 700 км. Валанжин-сеноманские вулканогенно-осадочные островодужные образования выявлены на северо-восточном фланге террейна в районе оз. Удыль, где развиты следующие комплексы [4]: кремнистый – сложен кремнистыми породами, базальтами и известняками; вулканогенно-осадочный – состоит из туфов, песчаников, алевролитов, пачек турбидитов, кремнистых пород, редко базальтов; граувакковый – имеет четыре толщи, различающиеся составом и строением: а) аргиллитов и кремнистых аргиллитов, б) микститов (микститы, алевролиты и песчаники), в) песчаников (песчаники, алевролиты, турбидиты), г) алевролитов (рис. 2).

Олюторский террейн входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалино-Камчатского орогенного пояса, он располагается в южной части Корякского нагорья, протягиваясь вдоль побережья Берингова моря на 500 км [1]. В разрезе раннемеловых–неогеновых образований террейна выделяются комплексы [2]: вулканогенно-кремнистый и вулканогенно-осадочный – сложены базальтами, лавобрекчиями, туфами, песчаниками, алевролитами, кремнистыми породами; турбидитовый – с преобладанием пачек турбидитов, содержащих прослои алевролитов, песчаников, туфов и микститов; обломочный – состоит из песчаников, алевролитов, гравелитов, конгломератов, туфов и углей (рис. 2).

Айнынский террейн в составе раннемелового Корякского орогенного пояса расположен в обрамлении северной части Пенжинской губы (Охотское море) на полуостровах Елистратова и Маметчинском [1]. Берриас-сантонские вулканогенно-осадочные образования террейна расчленяются на следующие комплексы [5]: нижний турбидитовый – состоит из пачек турбидитов, разделенных горизонтами песчаников, алевролитов, конгломератов, гравелитов, микститов и туфов; туфогенно-осадочный – сложен туфами, песчаниками, алевролитами, пачками турбидитов; верхний турбидитовый – представлен чередованием



Рис. 2. Сводные литолого-стратиграфические колонки островодужных образований изученных террейнов

пачек турбидитов, песчаников и алевролитов; грубообломочный – состоит из песчаников, алевролитов, конгломератов, гравелитов, туфов и углей (рис. 2).

Для минералогической и химической характеристики песчаных пород используются средние содержания тяжелых обломочных минералов, главных породообразующих оксидов и некоторых петрохимических модулей. Все данные по изученным объектам сгруппированы в соответствии с выделенными структурно-вещественными комплексами.

На рис. 3 показано **содержание и распределение тяжелых обломочных минералов** в песчаниках изученных объектов. Все минералы, с известной долей условности, разделяются на две минералогические ассоциации. В первую, фемическую, входят типичные представители островодужной вулканокластике: орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит, магнетит, эпидот и оливин. Вторую, сиалическую, составляют минералы, происходящие из кислых изверженных и метаморфических пород: циркон, гранат, турмалин, апатит, сфен, рутил, анатаз и другие, более редкие минералы.

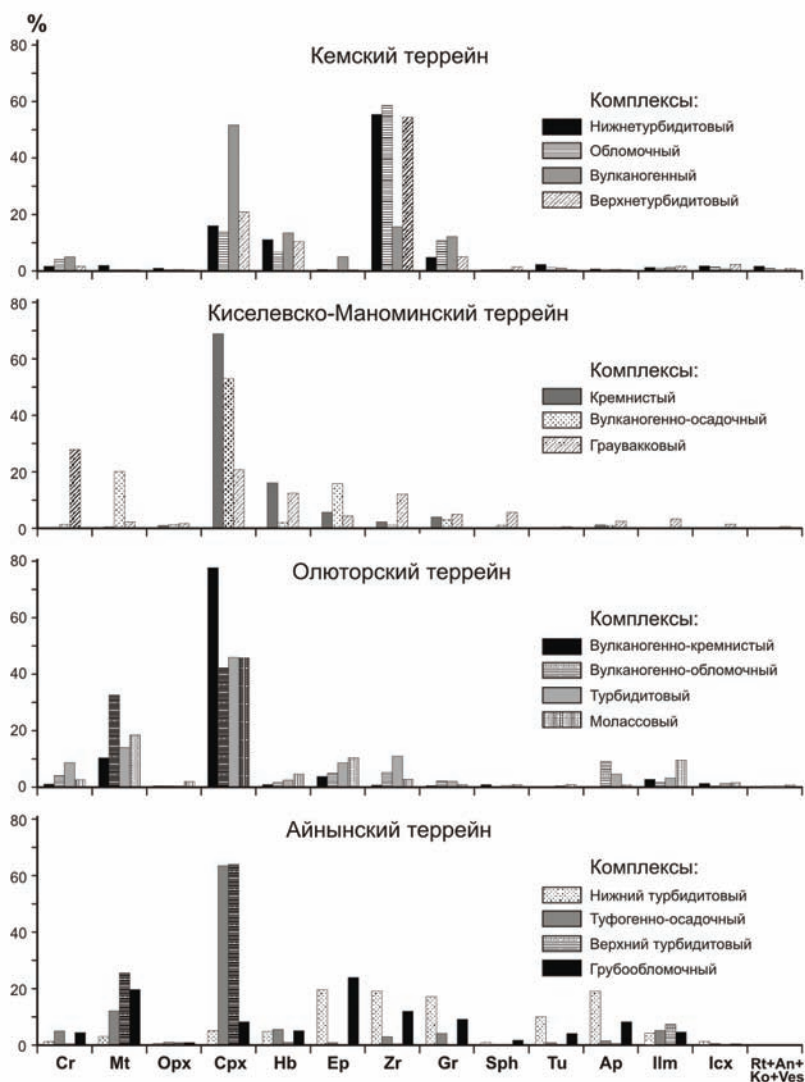


Рис. 3. Характер распределения тяжелых минералов в песчаных породах. Минералы: Cr – хромит, Mt – магнетит, Opх – ортопироксен, Срх – клинопироксен, Hb – амфибол, Ep – эпидот, Zr – циркон, Gr – гранат, Sph – сфен, Tu – турмалин, Ap – апатит, Ilm – ильменит, Lcx – лейкоксен, Rt – рутил, An – анатаз, Ko – корунд, Ves – везувиан

В Кемском террейне содержания отдельных минералов и пропорции между ними в различных комплексах значительно варьируют [3]. Фемических минералов больше всего в отложениях вулканогенного комплекса – до 80 % от всех тяжелых минералов. В основном преобладает клинопироксен (до 60 %), меньше амфиболов (до 44 %), ортопироксена (до 16 %) и эпидота (до 11 %). В других комплексах превалируют сиалические минералы (в среднем до 70 % всех минералов). Здесь доминируют циркон (до 50 %) и гранат (до 20 %), в меньших количествах присутствуют апатит, рутил, сфен, везувиан, анатаз и корунд. Минералов фемической ассоциации в этих комплексах значительно меньше – в сумме в среднем до 40 %.

В Киселевско-Маноминском террейне содержания тяжелых минералов в комплексах также различаются [4]. В кремнистом комплексе преобладают типичные представители островодужной вулканокластике – клинопироксен (до 79 %), ортопироксен (до 5 %), амфибол (до 25 %) и магнетит (до 2 %). Таким же преобладанием фемических минералов характеризуется вулканогенно-осадочный комплекс – больше всего в нем клинопироксена (до 96 %), меньше магнетита (до 36 %), амфибола (до 5 %) и ортопироксена (до 2 %). Вместе с тем здесь довольно много эпидота (до 43 %), граната (до 23 %), хромита (до 16 %), циркона (до 12 %). В различных частях грауваккового комплекса соотношения между тяжелыми минералами заметно меняются. В одних случаях преобладают пироксены (до 56 %), амфиболы (до 22 %) и эпидот (до 12 %), в других высоки содержания хромита (50–94 %), ассоциирующего с пироксеном (до 37 %), и, наконец, в третьих – относительно много циркона (до 40 %), граната (до 22 %), сфена (до 11 %) и апатита (до 7 %).

В Олюторском террейне по составу и содержанию тяжелых минералов выделяется вулканогенно-кремнистый комплекс. В нем резко преобладают фемические минералы, в среднем достигающие до 90 % всех тяжелых минералов [2]. Больше всего среди них клинопироксена (в отдельных пробах до 100 %), меньше магнетита (до 55 %), амфибола (до 30 %) и ортопироксена (до 7 %). В остальных комплексах роль фемической ассоциации также велика. Здесь по-прежнему доминирует клинопироксен (в среднем до 46 %), довольно много магнетита (до 35 %), хромита (до 10 %), амфибола (до 5 %) и эпидота (до 11 %). В то же время в этих комплексах, особенно в южной части террейна, значительно больше сиалических минералов – циркона (в среднем до 11 %, а в отдельных пробах до 30 %), апатита (до 9 %), граната (до 2 %), сфена (до 3 %). Кроме того, встречаются такие редкие минералы, как корунд, везувиан, анатаз, ортит, брукит, силлиманит, ставролит, андалузит, дистен и флюорит.

В Айнынском террейне различия между комплексами по содержанию тяжелых минералов довольно значительны [5]. В туфогенно-осадочном и верхнем турбидитовом комплексах преобладают минералы фемической ассоциации – до 100 % всей фракции. Среди них доминирует клинопироксен (до 90 %), меньше магнетита (до 40 %), амфибола (до 23 %), хромита (до 16 %), эпидота (до 6 %). Содержания сиалических минералов невысоки: циркона до 7 %, граната до 6, апатита до 2 %. Значительно больше их в нижнем турбидитовом и грубообломочном комплексах: циркона – до 30 %, граната – до 25, турмалина – до 24 и апатита – до 33 %. Содержания же фемических минералов меньше: клинопироксена и магнетита – до 30 %, хромита – до 10, амфибола – до 9 %. Иногда довольно много эпидота (до 63 %).

Данные по **химическому составу** песчаных пород рассматриваемых объектов приведены в таблице.

По содержанию породообразующих оксидов песчаники Кемского террейна довольно однородны. Заметны лишь некоторые различия в составе пород вулканогенного комплекса, выражающиеся в меньшем, по сравнению с другими комплексами, содержании  $\text{SiO}_2$  (в среднем 73,26 и 74,34–77,30 % соответственно), но большем  $\text{TiO}_2$  (0,38 и 0,25–0,35 %) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,76 и 8,18–10,24 %).

Песчаники Киселевско-Маноминского террейна по химическому составу существенно различаются. В кремнистом комплексе песчаники отсутствуют. А в вулканогенно-

осадочном у них, по сравнению с граувакковым, значительно более низкие содержания  $\text{SiO}_2$  (в среднем 58,14 и 66,90–67,05 % соответственно),  $\text{FeO}$  (1,56 и 2,40–2,87 %) и  $\text{K}_2\text{O}$  (0,96 и 1,93–2,00 %), но более высокие  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (19,16 и 12,99–13,26 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (6,87 и 2,61–3,15 %) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,32 и 2,82–3,04 %).

В химическом составе песчаников Олюторского террейна наибольшие различия наблюдаются по  $\text{SiO}_2$ : его среднее содержание варьирует от 55,12 % в вулканогенно-кремнистом комплексе до 62,28 % в обломочном. Также заметны различия по  $\text{TiO}_2$  (от 0,76 % до 0,64 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (от 16,37 % до 14,34 %),  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  (от 8,50 % до 6,04 %),  $\text{MgO}$  (от 4,67 до 2,79 %).

Различия в химическом составе песчаных пород имеются и среди комплексов Айнынского террейна. Наибольшие они между породами нижнего турбидитового и породами всех вышележащих комплексов. Так, среднее содержание  $\text{SiO}_2$  в песчаниках нижнего турбидитового комплекса (61,47 %) относительно высокое, заметно выше, чем в остальных (57,92–55,93 %). Также видны различия по суммарному содержанию железа (6,86 % и 7,36–8,92 % соответственно), содержанию  $\text{MgO}$  (1,78 % и 2,78–3,59 %) и  $\text{CaO}$  (4,63 % и 5,16–5,65 %).

Черты сходства и различия химического состава песчаных пород изученных объектов хорошо видны при рассмотрении ряда наиболее информативных петрохимических модулей [6] (см. таблицу). По этим показателям все песчаники близки друг другу и характеризуются: невысоким уровнем зрелости, что свидетельствует об их образовании за счет преимущественно механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания; довольно высокими фемичностью и титанистостью, свидетельствующими о значительной доле участия в их составе основной вулканокластике; относительно низкой нормативной щелочностью за счет незначительной примеси сиалического материала. По всем этим показателям большинство песчаников относится к типичным грауваккам и лишь кемские занимают промежуточное положение между граувакками и аркозами.

Таким образом, минеральный и химический состав песчаных пород изученных объектов дает основание утверждать, что основным источником обломочного материала во всех случаях была островодужная вулканокластика, к которой иногда примешивалось то или иное количество сиалического материала с близко расположенных участков континентальной окраины.

Полученные минералогические и химические данные интерпретировались на основе актуалистического подхода, т.е. сравнения результатов изучения древних терригенных пород и современных глубоководных осадков. По данным многих авторов, проводивших подобные исследования, существует тесная связь между вещественным составом пород и геодинамическими обстановками областей питания и бассейнов седиментации [8–10 и др.].

Палеодинамическая интерпретация состава тяжелых минералов песчаников приведена на диаграммах MF–MT–GM и Crx–Hb–Orx, позволяющих распознавать материалы различного, в том числе островодужного, происхождения [10]. Генетическая интерпретация химического состава песчаных пород осуществлена по известным методикам с использованием ряда диаграмм, дающим возможность определять обстановки осадконакопления [8, 9]. Анализ полученных данных позволил прийти к следующим выводам.

В терригенных отложениях Кемского террейна сосуществуют две ассоциации тяжелых минералов – фемическая и сиалическая. Анализ этих ассоциаций на диаграммах MF–MT–GM и Crx–Hb–Orx показывает, что источником первой могла быть энсиалическая островная дуга и (или) активная континентальная окраина при малом угле конвергенции плит (рис. 4). Источником же сиалической ассоциации, смещающим фигуративные точки в область трансформной окраины, вероятно, был выдвинутый в сторону океана фрагмент континентальной коры, слагавший фундамент дуги. Тип вулканического источника питания можно определить по микрохимическому составу некоторых тяжелых обломочных минералов: клинопироксенов, роговой обманки, хромита и граната. На дискриминацион-

Средний химический состав песчаных пород из островодужных комплексов Дальнего Востока России, % массы

Комплексы	n	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п.	H <sub>2</sub> O	Сумма	ГМ	ГМ	ФМ	НКМ
Кемский террейн																			
Нижний турбидитовый	21	74,34	0,30	9,82	1,91	1,78	0,07	1,19	2,12	2,34	1,60	0,13	3,89	0,30	99,79	0,19	0,031	0,07	0,40
Грубообломочный	30	74,62	0,35	10,24	1,33	2,03	0,06	1,65	1,79	2,12	1,93	0,12	3,11	0,33	99,67	0,19	0,034	0,07	0,40
Вулканогенный	10	73,26	0,38	10,76	1,83	1,35	0,07	1,33	2,24	2,25	1,60	0,31	4,15	0,37	99,89	0,20	0,035	0,06	0,36
Верхний турбидитовый	20	77,30	0,25	8,18	1,21	0,98	0,06	1,09	2,70	2,02	1,52	0,08	3,94	0,40	99,73	0,14	0,031	0,04	0,43
Киселевско-Маноминский террейн																			
Вулканогенно-осадочный	8	58,14	0,65	19,16	4,32	1,56	0,33	2,71	2,41	6,87	96	0,30	2,04	0,31	99,76	0,45	0,034	0,15	0,41
Граувакковый, толщи: микститов песчаников	20	67,05	0,67	13,26	3,04	2,40	0,15	2,29	1,56	3,15	1,93	0,22	3,46	0,39	99,56	0,29	0,051	0,12	0,38
	20	66,90	0,67	12,99	2,82	2,87	0,09	2,55	1,92	2,61	2,00	0,29	3,80	0,20	99,73	0,29	0,051	0,13	0,36
Олиторский террейн																			
Вулканогенно-кремнистый	11	55,12	0,76	16,37	3,94	4,56	0,35	4,67	5,11	3,06	1,28	н.а.	4,92	н.а.	100,14	0,47	0,046	0,25	0,27
Вулканогенно-осадочный	40	58,00	0,66	16,23	3,39	4,14	0,22	3,44	3,92	3,56	0,96	н.а.	5,28	н.а.	99,78	0,42	0,040	0,19	0,28
Турбидитовый	57	61,90	0,64	14,80	2,67	3,88	0,10	2,79	3,41	3,67	1,50	н.а.	4,63	н.а.	99,99	0,36	0,043	0,15	0,35
Обломочный	392	62,28	0,67	14,34	3,62	2,42	0,09	2,79	2,97	2,56	1,49	н.а.	6,68	н.а.	99,89	0,34	0,047	0,14	0,28
Айынский террейн																			
Нижний турбидитовый	6	61,47	1,01	16,93	4,29	2,57	0,14	1,78	4,63	2,98	1,02	н.а.	3,34	н.а.	100,16	0,41	0,059	0,14	0,24
Туфогенно-осадочный	24	57,92	0,83	15,47	3,75	3,61	0,15	2,78	5,16	2,76	1,53	0,16	5,89	н.а.	100,01	0,41	0,054	0,18	0,28
Верхний турбидитовый	19	55,93	1,00	16,54	5,24	3,68	0,15	3,59	5,17	2,95	0,94	н.а.	4,47	н.а.	99,66	0,48	0,060	0,23	0,24
Грубообломочный	15	57,01	0,89	17,03	4,23	3,30	0,11	3,36	5,65	2,49	0,93	н.а.	4,98	н.а.	99,98	0,45	0,052	0,19	0,20

Примечания. n – количество анализов, н.а. – не анализировалось. Модули: ГМ = (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO + MnO) / SiO<sub>2</sub>, ФМ = (FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MnO + MgO) / SiO<sub>2</sub>, ГМ = TiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, НКМ = (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Анализы выполнены в ДВГИ ДВО РАН В.Н. Каминской, Г.И. Макаровой, Л.А. Авдвинной и Л.А. Вржосек.

ной диаграмме Е. Нисбета и Дж. Пирса [11] большинство клинопироксенов соответствуют клинопироксенам базальтов островных дуг и, частично, клинопироксенам базальтов океанического дна (рис. 5а). Кроме того, они полностью соответствуют клинопироксенам из кемских базальтов, по своим показателям характерным для тыловых частей островных дуг [3]. На преимущественно островодужный характер источников материала указывают также составы хромитов и амфиболов, соответствующие минералам из вулканических пород островных дуг [7, 10] (рис. 5 б, в). О составе сиалического источника можно судить по составу обломочных гранатов [12] (рис. 5г). Они происходили, скорее всего, из размывавшихся метаморфических и кислых интрузивных пород, слагавших фундамент самой дуги. Генетическая интерпретация химического состава песчаников террейна не всегда однозначна. На диаграммах М. Бхатиа [8] (рис. 6а) они попадают (либо приближаются) в поля бассейнов активных континентальных окраин, а также бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре (например, Японские острова). На диаграмме Дж. Мейнарда с соавторами [9] (рис. 6б) поле песчаников занимает промежуточное положение между полями бассейнов, связанных с пассивными континентальными окраинами и окраинно-континентальными дугами. Такое положение фигуративных точек песчаников объясняется их низкой фемичностью, относительно высокой зрелостью, а также несвойственным данному типу песчаников преобладанием К над Na, что обусловлено содержанием в них обломков высококальциевых базальтов [3].

Полученные данные позволяют предполагать, что областью питания Кемского террейна была раннемеловая Монероно-Самаргинская островная дуга [3]. В тыловой бассейн этой дуги поставлялись как синхронная осадконакоплению вулканокластита, так и продукты разрушения фундамента самой дуги, сложенного гранитно-метаморфическими породами.

Интерпретация минерального состава песчаников Киселевско-Маноминского террейна, основанная на выше описанных принципах, позволяет предполагать несколько источников питания и обстановок седиментации. Преобладание в кремнистом и вулканогенно-осадочном комплексах террейна фемической ассоциации тяжелых минералов, среди которых главенствует клинопироксен, указывает на прямое влияние на осадконакопление энсиматической дуги с косой субдукцией типа Идзу-Бонинской [4]

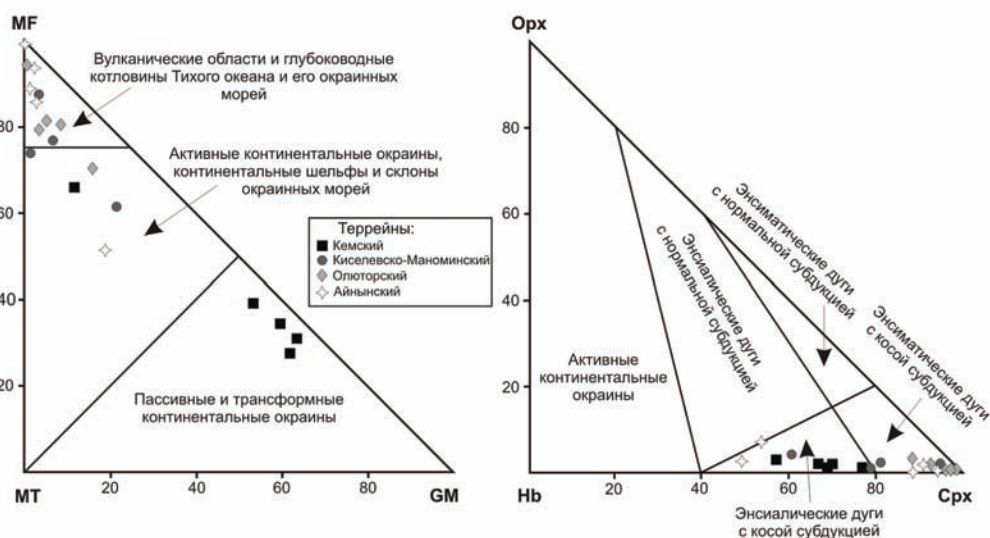


Рис. 4. Сравнение соотношения тяжелых минералов в песчаниках и современных осадках из различных геодинамических обстановок [10] (средние содержания). Суммы содержаний: MF – оливина, пироксенов, зеленой роговой обманки; MT – эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; GM – циркона, турмалина, ставролита, дисфена, силлиманита и андалузита



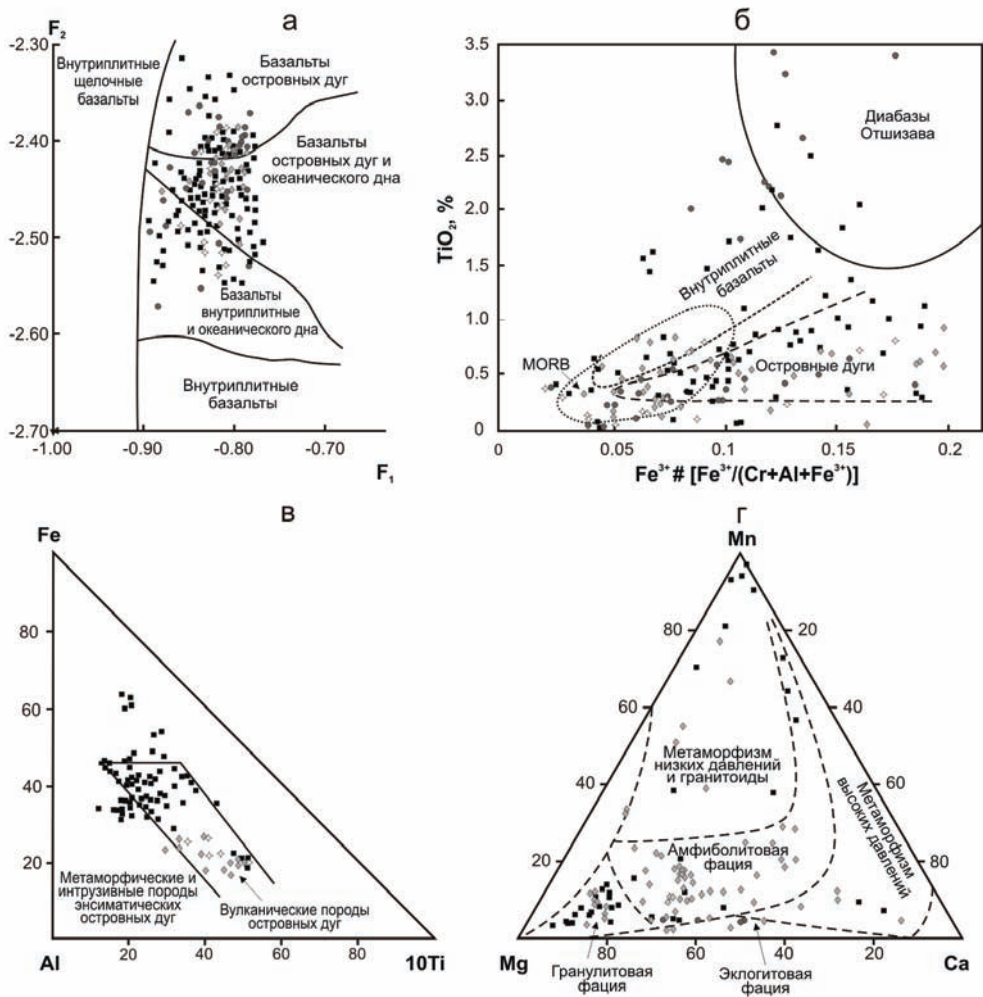


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы составов тяжелых обломочных минералов из песчаных пород и их вероятных вулканических источников. а – для клинопироксенов [11]:  $F_1 = -0,012SiO_2 - 0,0807TiO_2 + 0,0026Al_2O_3 - 0,0012FeO - 0,0026MnO + 0,0087MgO - 0,0128CaO - 0,0419Na_2O$ ;  $F_2 = -0,0496SiO_2 - 0,0818TiO_2 - 0,02126Al_2O_3 - 0,0041FeO - 0,1435MnO - 0,0029MgO - 0,0085CaO + 0,0160Na_2O$ ; б – для хромитов [7]; в – для амфиболов [10]; г – для гранатов [12]. Обозначения террейнов см. на рис. 4

(рис. 4). Это хорошо подтверждается составами клинопироксенов и хромитов (рис. 5 а, б). Вместе с тем часть хромитов происходит из офиолитов внутриплитных поднятий, вероятно входивших в состав основания дуги. Положение фигуративных точек химического состава песчаников на дискриминационных диаграммах (рис. 6) также соответствует океанической островной дуге, при этом они попадают в поле преддуговых бассейнов. В граувакковом комплексе соотношения между минеральными ассоциациями соответствуют энсиалической дуге и (или) активной континентальной окраине при малых углах схождения литосферных плит. При этом на островодужный характер обломочного материала указывает состав клинопироксенов и хромитов (рис. 5а, б). Вместе с тем заметное количество в отложениях комплекса сиалических минералов свидетельствует о том, что на этом отрезке времени дуга находилась достаточно близко к размывавшейся континентальной окраине. Судя по составу гранатов, в ее строении участвовали как метаморфические породы, так и гранитоиды (рис. 5г). На формирование отложений комплекса в обстановках, связанных с окраинно-континентальной островной дугой, указывает и химический состав песчаников (рис. 6).

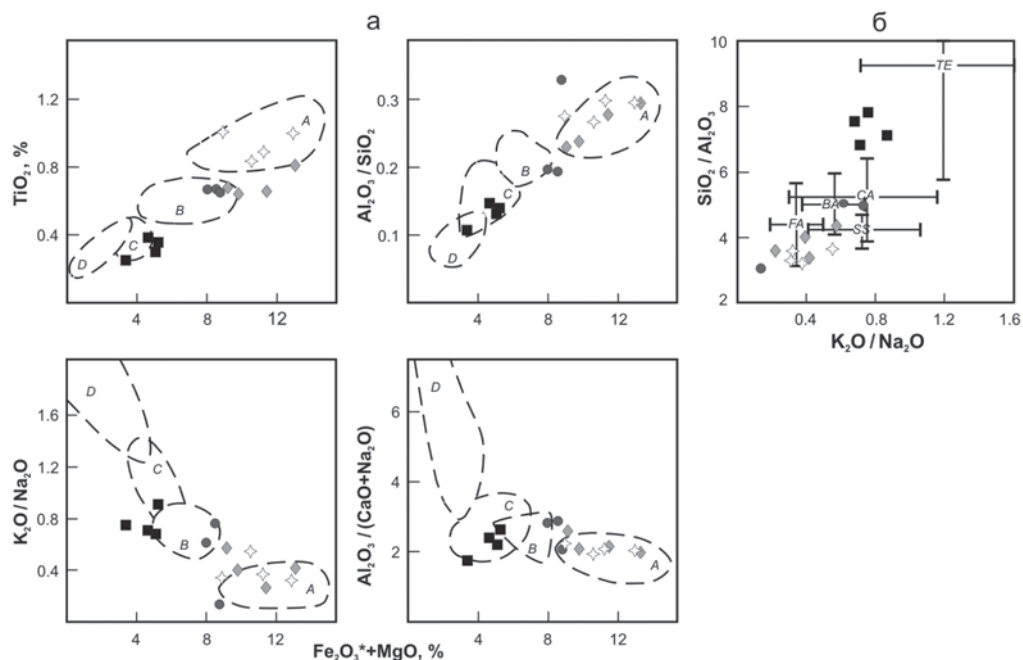


Рис. 6. Диаграммы химического состава песчаных пород из различных геодинамических обстановок. а – типы бассейнов [8]. Поля песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, D – с пассивными континентальными окраинами.  $Fe_2O_3^*$  – общее железо; б – бассейновые обстановки [9]. Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от средних составов современных песков из бассейнов: пассивных континентальных окраин (TE); активных континентальных окраин, сопряженных: со сдвигами дислокациями по трансформным разломам (SS), с окраинно-континентальной магматической дугой (CA), с океанической вулканической дугой (FA – преддуговые и ВА – задуговые бассейны). Обозначения террейнов см. на рис. 4

Очевидно, область питания седиментационных бассейнов Киселевско-Маноминского террейна была гетерогенной. Основным источником вещества была вулканокластика, поступавшая с меловой Удыльской островной дуги [4], к которой примешивался материал с размывавшейся континентальной окраины.

В терригенных породах Олюторского террейна господствует фемическая ассоциация тяжелых минералов. Судя по положению точек на диаграммах (рис. 4), отложения накапливались под прямым влиянием энсиматической островной дуги, сопряженной с острым углом схождения плит. Островодужная природа этого источника подтверждается составом клинопироксенов, роговых обманок и хромитов (рис. 5). В то же время присутствие среди тяжелых минералов южной части прогиба некоторого количества сиалических минералов, в том числе гранатов, происходящих из метаморфических пород и гранитоидов, свидетельствует о существовании и дополнительного, континентального источника материала. Интерпретация химического состава песчаников свидетельствует об их формировании в обстановках преддуговых и задуговых бассейнов океанической островной дуги (рис. 6).

Таким образом, главным источником обломочного материала для осадочных толщ Олюторского террейна была мел-палеогеновая Ачайваямская энсиматическая островная дуга [2]. Существовал и дополнительный – сиалический источник, влиявший на седиментацию в южной части бассейна. Вероятно, им были блоки континентальной коры, располагавшиеся на месте современного Берингова моря.

Судя по соотношениям ассоциаций тяжелых минералов в отложениях Айнынского террейна, на их формирование оказывали влияние два источника питания. Преобладание фемической ассоциации однозначно свидетельствует, что основным источником были вулканы энсиматической островной дуги, сопряженной с острым углом схождения

литосферных плит (рис. 4). Островодужная природа материала подтверждается составом клинопироксенов, хромитов и роговых обманок (рис. 5). В то же время присутствие в отложениях нижнего турбидитового и грубообломочного комплексов сиалических минералов дает основание говорить, что во время их накопления в бассейн поступали и продукты размыва гранитно-метаморфических пород континентальной окраины. Реконструируемые по химическому составу обстановки осадконакопления соответствуют главным образом преддуговому бассейну океанической островной дуги, и лишь породы нижнего турбидитового комплекса несколько смещены в направлении поля континентальных островных дуг (рис. 6).

Анализ полученных результатов показывает, что основная масса обломочного материала в седиментационные бассейны Айнынского террейна поступала с размывавшейся позднеюрско-раннемеловой энсиматической Удско-Мургальской островной дуги [5]. Вместе с тем на некоторых этапах развития бассейна ощущалось влияние сиалического материала со зрелой континентальной окраины.

Итак, установлено, что анализ минерального и химического состава песчаных пород из разновозрастных и структурно контрастных комплексов российской части Дальнего Востока и интерпретация полученных результатов позволяют достаточно уверенно распознавать островодужные обстановки в палеобассейнах древних орогенных поясов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
2. Малиновский А.И. Кайнозойская моласса юга Корякского нагорья. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.
3. Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П. Состав и обстановки накопления нижнемеловых терригенных пород бассейна р. Кемы (Восточный Сихотэ-Алинь) // Литология и полез. ископаемые. 2005. Т. 40, № 5. С. 495–514.
4. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
5. Тучкова М.И., Крылов К.А., Григорьев В.Н., Маркевич П.В. Особенности раннемеловой терригенной седиментации в Пенжинском преддуговом бассейне // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 3. С. 93–106.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
7. Arai S. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // Mineral. Mag. 1992. Vol. 56. P. 173–184.
8. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // J. Geology. 1983. Vol. 91, N 6. P. 611–627.
9. Maynard J.B., Valloni R., Yu H.S. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins // Trench-Forearc Geology. Sedimentation and tectonics of modern and ancient plate margins. Oxford; London; Edinburgh; Melbourne: Blackwell Scientif. Publ., 1982. P. 551–561.
10. Nechaev V.P. Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Mar. Geol. 1991. Vol. 97. P. 167–190.
11. Nisbet E.G., Pearce J.A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contrib. Mineral. Petrol. 1977. Vol. 63. P. 149–160.
12. Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2003. Vol. 54, N 5/6. P. 171–192.