

ЛИТОХИМИЯ ПАЛЕООСТРОВОДУЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

А.И. Малиновский¹, М.И. Тучкова²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159,
г. Владивосток, 690022; e-mail: malinovskiy@fegi.ru

²Геологический институт РАН, Пыжевский пер. 7, г. Москва, 119017, e-mail: mtuchkova@rambler.ru

Поступила в редакцию 12 января 2010 г.

Рассмотрены результаты изучения химического состава терригенных пород из различных по возрасту и геодинамическим обстановкам палеобассейнов российской части Дальнего Востока. Полученные данные интерпретировались на основе сравнения с химическими составами современных осадков и древних отложений, накопившихся в известных геодинамических обстановках. Обобщение и геодинамическая интерпретация полученных результатов позволили установить островодужную природу этих объектов, а также показать возможность использования литохимии, в совокупности с другими геологическими данными, для распознавания островодужных обстановок во фрагментах палеобассейнов, входящих в структуру древних орогенных поясов.

Ключевые слова: химический состав, террейн, комплекс, терригенные породы, геодинамические обстановки, островная дуга, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение вещественного состава терригенных пород имеет большое значение для установления источников обломочного материала, определения породного состава областей питания и, в конечном счете, для выяснения палеогеологических условий их формирования.

Одной из важнейших сторон вещественного состава терригенных пород является их валовый химический состав. Изучение особенностей распределения в терригенных породах породообразующих химических компонентов мы, вслед за Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [28], будем в дальнейшем называть *литохимией* (по аналогии с петрохимией вулканических пород).

Химический состав терригенных пород и в особенности песчаников, как установлено исследованиями современных и древних отложений, в значительной степени определяется вещественным составом материнских пород и их расположением в определенных тектонических обстановках. При этом, если минеральный состав осадков в процессе их постседиментационных превращений в породу меняется в сторону образования ассоциаций, наиболее устойчи-

вых в дальнейшем в зоне гипергенеза, то химический состав пород практически неизменен.

Островодужные обстановки обычно распознаются по ряду признаков: палеогеологическому положению изучаемых отложений, строению и составу слагающих их толщ, петрохимии вулканитов. Цель данной публикации – продемонстрировать особенности химического состава терригенных пород из различных по возрасту и происхождению островодужных комплексов российской части Дальнего Востока, а также, на их примере, показать возможность его использования для распознавания этих обстановок в древних бассейнах. Особую роль метод палеотектонических реконструкций по литохимии терригенных пород должен сыграть при изучении фанерозойских вулканогенно-осадочных образований, входящих в состав террейнов, происхождение которых в достаточной мере не определено.

Наиболее благоприятными объектами для таких реконструкций являются ряд известных на Дальнем Востоке террейнов, островодужная природа которых установлена, главным образом, на основании исследований вулканитов. Несомненно, одних только данных по литохимии недостаточно для всеобъем-

лющей идентификации островодужных обстановок, но в будущем, наряду с другими сведениями, они могут быть использованы как достаточно надежный критерий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу работы положен обширный оригинальный материал, полученный в результате изучения химического состава терригенных пород из разновозрастных островодужных комплексов российского Дальнего Востока. В качестве объектов исследования были выбраны четыре террейна, по которым авторы обладают богатейшим аналитическим материалом. Естественно, что именно на этих объектах была предпринята попытка показать применимость и достоверность предложенного метода распознавания островодужных обстановок в палеобассейнах древних орогенных поясов по литохимическим данным. Изучались песчаные и глинисто-алевритовые породы из раннемеловых и раннемеловых–кайнозойских отложений Олюторского террейна Восточной Камчатки, Айнынского террейна обрамления Пенжинской губы, а также Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов (Удыльского фрагмента) Сихотэ-Алиня (рис. 1). Основное внимание уделялось песчаным породам и меньше – глинисто-алевритовым, к которым мы, с определенной долей условности, относим как аргиллиты и алевроаргиллиты, так и алевролиты. Такое внимание к песчаникам объясняется тем, что они несут наиболее богатую информацию о типе и породном составе питающих провинций, а также о геодинамических обстановках областей питания и осадконакопления [29–31, 33 и др.].

Каменный материал, использованный в этой работе, был собран из естественных обнажений и горных выработок в ходе полевых работ в 1978–2005 гг. Для аналитических исследований отбирались образцы терригенных пород, наименее затронутые вторичными преобразованиями, что контролировалось петрографическими наблюдениями.

Петрографический состав пород исследовался с помощью поляризационного микроскопа. Содержания порообразующих оксидов в породах определялись традиционным весовым химическим методом в ДВГИ ДВО РАН и ГИН РАН. Всего было проанализировано 1156 образцов песчаных и глинистых пород.

При интерпретации химического состава терригенных пород применялись широко известные, достаточно апробированные методики, предложенные М. Бхатия, Ж. Мейнардом, Б. Роузером и Р. Коршем [29, 30, 33 и др.], позволяющие распознавать в геоло-

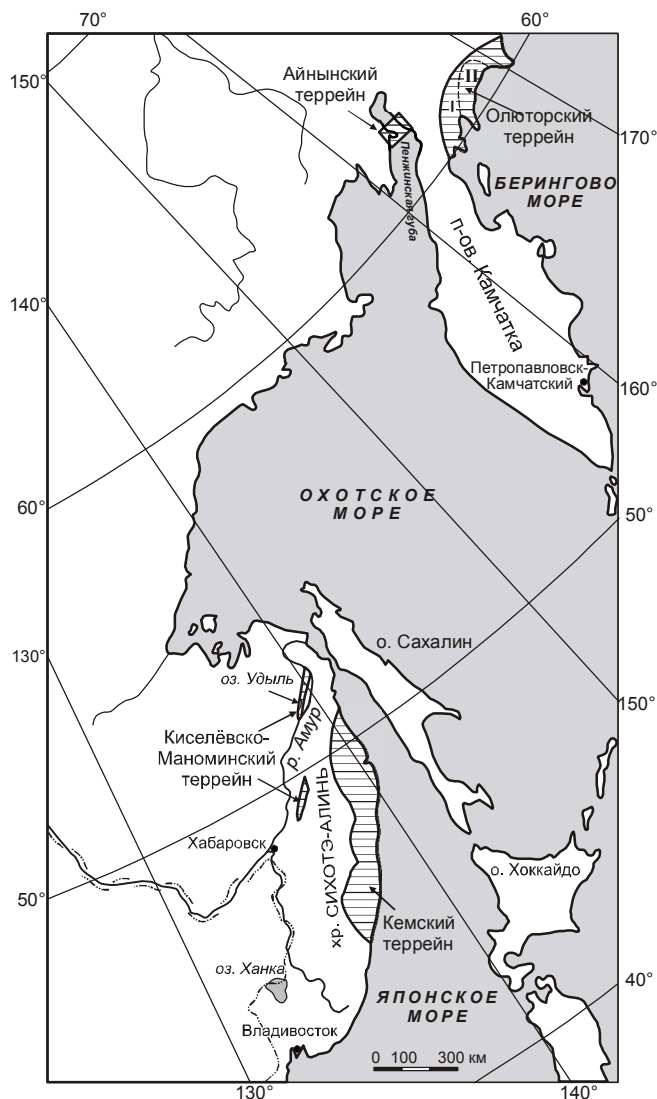


Рис. 1. Схема расположения изученных объектов.

Минералого-геохимические провинции Олюторского террейна: I – Северная, II – Южная.

гическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ИЗУЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Поскольку большинство изученных объектов имеют сложное тектоническое строение и плохо обнажены, стратиграфические колонки их отложений составлены из многочисленных фрагментов, характеризующих строение различных тектонических блоков.

Айнынский террейн расположен в обрамлении северной части Пенжинской губы (Охотское море), занимая большую часть Пенжинского хребта, и во-

дит в состав раннемелового Корякского орогенного пояса [23]. Отложения террейна изучены на полуостровах Елистратова и Маметчинском. Сложно дислоцированные меловые осадочные и вулканогенно-осадочные образования слагают систему чешуй и дуплексов и в целом интерпретируются как отложения аккреционной призмы [18]. Нижнемеловые отложения Айнынского террейна перекрываются породами верхнего мела, которые интерпретируются как осадочный чехол аккреционной призмы. Отложения террейна прослеживаются в виде отдельных разрозненных выходов или непрерывных полос и расчленяются на следующие структурно-вещественные комплексы [21, 22] (рис. 2).

Нижний турбидитовый комплекс сложен разнородными песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами, микститами, турбидитами, контуритами и отложениями подводно-оползневых горизонтов. *Туфогенно-осадочный комплекс* состоит из чередующихся горизонтов туфов, вулканических

конгломератов, гравелитов, песчаников и алевролитов. Встречаются отдельные пачки турбидитов. *Верхний турбидитовый комплекс* представлен чередованием пачек турбидитов, контуритов и алевролитов, а также горизонтами туфов, туфобрекчий, вулканических песчаников и гравелитов. В *грубообломочном комплексе* преобладают песчаники и алевролиты. В подчиненном количестве находятся конгломераты, гравелиты, встречаются горизонты туфов, пласты угля и углистых алевролитов.

Олюторский терреин расположен в южной части Корякского нагорья, протягиваясь на востоко-северо-восток вдоль побережья Берингова моря на 500 км. Терреин входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалино-Камчатского орогенного пояса и с севера отделен от Корякского орогенного пояса Ватынским надвигом [1]. В геологическом разрезе террейна совмещены крупные аллохтонные пластины [24], сложенные раннемеловыми–неогеновыми комплексами, формировавшимися в различных фаціаль-

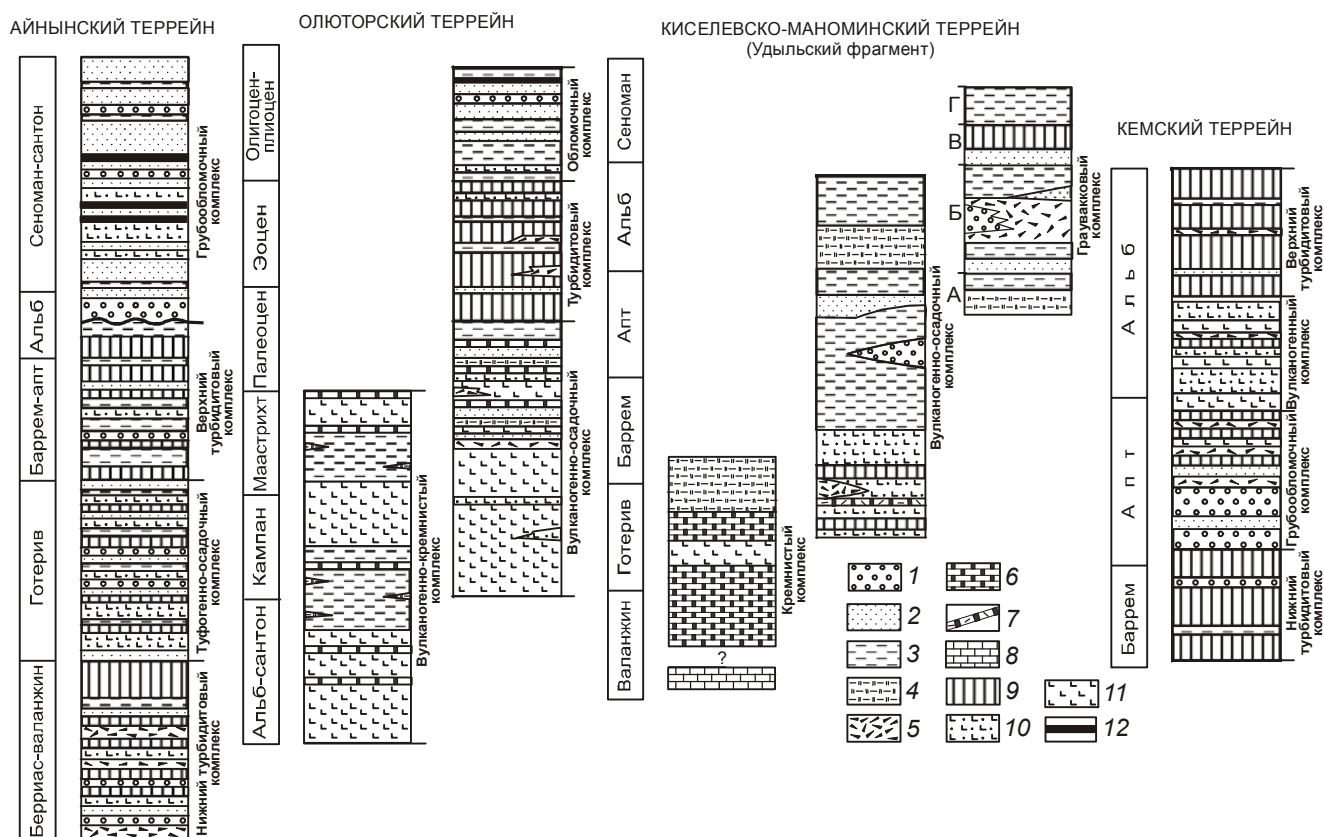


Рис. 2. Сводные литолого-стратиграфические колонки островодужных образований изученных объектов.

1 – конгломераты и гравелиты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты и аргиллиты, 4 – кремнисто-глинистые породы, 5 – микститы, 6 – кремни, 7 – туфосилициты, 8 – известняки, 9 – турбидиты, 10 – туфы и тефроиды, 11 – базальты и андезитобазальты, 12 – уголь. Для Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна, толщи: А – аргиллитов, Б – микститов, В – песчаников, Г – алевролитов.

ных обстановках и, вероятно, на значительном удалении от их современной позиции. Выделяются следующие структурно-вещественные комплексы [1, 3, 4, 10, 19, 20] (рис. 2).

Вулканогенно-кремнистый комплекс состоит из базальтов, гиалокластитов, лавобрекчий, яшм, кремней и кремнисто-глинистых пород. Более редки глинистые породы, песчаники и известняки. *Вулканогенно-осадочный комплекс* сложен базальтами, лавобрекчиями, туфами, вулканомиктовыми песчаниками, алевролитами, кремнями, глинистыми и кремнисто-глинистыми породами. *Турбидитовый комплекс* представлен мощными пачками турбидитов, прерывающимися горизонтами алевролитов, песчаников, гравелитов, туфов и микститов. *Обломочный комплекс* состоит из песчаников, алевролитов, гравелитов, конгломератов, туфов и углей.

Киселевско-Маноминский террейн альб-сеноманской аккреционной призмы расположен в Нижнем Приамурье, протягиваясь прерывистой полосой шириной 20–40 км в северо-восточном направлении вдоль обоих берегов р. Амур на 700 км. Террейн образован пакетами тектонических пластин, сложенными юрскими и раннемеловыми кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами с телами базальтов и известняков, а также раннемеловыми алевролитами и турбидитами [2, 11, 12] (рис. 2). Готерив-сеноманские вулканогенно-осадочные островодужные образования установлены на северо-восточном фланге террейна в районе оз. Удыль (*Удыльский фрагмент*). Здесь тектонически совмещены фрагменты структурно-вещественных комплексов островных дуг, океана и окраины континента. Это позволяет рассматривать террейн как сложную аккреционную призму с чешуйчато-надвиговой структурой. Все отложения разделены на следующие комплексы [11, 12].

Кремнистый комплекс представляет собой фрагмент океанического основания дуги. Он сложен пелагическими радиоляриевыми яшмами и кремнями, их глинистыми разновидностями, реже щелочными базальтами и известняками. Обломочные породы в комплексе практически не встречаются. *Вулканогенно-осадочный комплекс* состоит из переслаивающихся туфов, тефроидов, вулканомиктовых песчаников, алевролитов, турбидитов, микститов, туфосилицитов, глинистых и кремнисто-глинистых пород, редко базальтов. Отложениям *грауваккового комплекса* свойственна заметная фациальная изменчивость. Среди них распознаются четыре толщи, различающиеся составом и строением: 1) аргиллитов (аргиллиты и кремнистые аргиллиты), 2) микститов (микститы, глинистые породы, песчаники, туфы, редкие

пачки турбидитов и подводнооползневых образований), 3) песчаников (песчаники, глинистые породы, турбидиты, редко микститы, подводнооползневые образования, туфы), 4) алевролитов (алевролиты и аргиллиты с тонкими прослоями песчаников, редко микститы).

Кемский террейн расположен в восточной части хребта Сихотэ-Алинь, протягиваясь полосой шириной до 80 км вдоль побережья Японского моря на 850 км. Доступные для наблюдения участки Кемского террейна обнажаются в эрозионных окнах среди вулканитов позднемелового Восточно-Сихотэ-Алинского пояса. В строении террейна принимают участие баррем(?)–альбские образования, среди которых широко развиты турбидиты, горизонты алевролитов и микститов, а также пласты основных вулканитов и их пирокластов (рис. 2). Эти образования рассматриваются как отложения задугового бассейна раннемеловой Монероно-Самаргинской островодужной системы [5–7]. Отложения террейна подразделяются на следующие структурно-вещественные комплексы.

Нижний турбидитовый комплекс сложен пачками турбидитов, разделяющимися горизонтами алевролитов, песчаников, гравелитов и подводнооползневых образований. *Грубообломочный комплекс* состоит из мелкогалечных конгломератов, гравелитов, песчаников, микститов, редких пачек турбидитов, горизонтов подводнооползневых образований и туфов, единичных потоков базальтов. *Вулканогенный комплекс* представлен, в основном, базальтами, их туфами и тефроидами. Редко встречаются вулканомиктовые песчаники, пачки турбидитов, горизонты подводнооползневых образований и микститов. *Верхний турбидитовый комплекс* состоит мощных пачек турбидитов, редких горизонтов песчаников, алевролитов, микститов и подводнооползневых образований.

СОСТАВ И ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Для каждого изученного объекта ниже приведено краткое описание петрографического состава терригенных пород, поскольку именно он во многом определяет их литохимические особенности.

Для литохимической характеристики песчаных и глинисто-алевролитовых пород используются средние содержания главных породообразующих оксидов и некоторые петрохимические коэффициенты (модули), приведенные в таблице. Все данные по изученным объектам сгруппированы в соответствии с выделенными структурно-вещественными комплексами.

Песчаники *Айнынского террейна* по породообразующим компонентам, несмотря на некоторые различия в составе, в целом относятся к полимиктовым. Обломочная их часть представлена кварцем, полевыми шпатами, обломками терригенных, кремневых, метаморфических, кислых и ультраосновных интрузивных, а также кислых и средних, реже основных эффузивных пород, вулканическим стеклом и рудными минералами. По классификации В.Д. Шутова [26], песчаники относятся, главным образом, к собственно грауваккам, полевошпатовым, полевошпатово-кварцевым и кварцево-полевошпатовым грауваккам и, реже, кварцевым грауваккам. Различия между комплексами прежде всего видны в содержании кварца: в нижнем турбидитовом его от 18 до 33 %, а в остальных – редко превышает 10 %. Полевых шпатов – 7–20 % и 3–60 %, соответственно. В нижнем турбидитовом комплексе преобладают (в сумме до 95 %) кислые плагиоклазы (альбит и олигоклаз) и калиевые полевые шпаты (ортоклаз и микроклин). В других комплексах больше всего основных и средних плагиоклазов (иногда до 90 % всех полевых шпатов), реже встречаются кислые плагиоклазы (до 55 %) и калиевые полевые шпаты (до 50 %). Среди обломков пород, составляющих в нижнем турбидитовом комплексе 55–70 %, преобладают осадочные и метаморфические породы (до 50 %), а также кислые и средние вулканиты (до 40 %). В незначительном количестве встречаются основные вулканиты и серпентинизированные породы (не более 5 %). В породах более молодых комплексов количество обломков пород достигает 90 %. Среди них главная роль принадлежит основным и средним вулканитам (до 70 %). Кроме того, встречаются терригенные, кислые интрузивные и метаморфические породы, габброиды, ультраосновные породы, кремни, туфы и вулканическое стекло, содержания которых изменяются в значительных пределах.

В зависимости от литологического типа глинисто-алевритовых пород (алевролиты, аргиллиты, алевроаргиллиты) насыщенность их алевритовым обломочным материалом варьирует от 3 до 60–80 % объема. По составу обломочная часть глинистых пород близка к песчаникам, но в них больше кварца и полевых шпатов, а среди обломков пород встречаются обломки кремней, основных и средних вулканитов, ультраосновных пород и тяжелых минералов. Глинистая составляющая пород представлена, главным образом, смектитом и хлоритом, реже смешанослойными минералами типа слюда-смектит и смектит-хлорит, иногда встречается гидрослюда.

По химическому составу терригенных пород нижний турбидитовый и вышележащие комплексы

существенно различаются [10, 21, 22] (табл.). Наиболее хорошо эти различия видны в составе песчаников. Так, изначально относительно высокое среднее содержание SiO_2 (61.47 %) в породах нижнего турбидитового комплекса существенно снижается до 57.92 % в туфогенно-осадочном, 55.93 % в верхнем турбидитовом и 57.01 % в грубообломочном комплексах. Кроме того, заметны различия по суммарному содержанию железа (6.86 % и 7.36–8.92 %, соответственно), MgO (1.78 % и 2.78–3.59 %) и CaO (4.63 % и 5.16–5.65 %). Наблюдающиеся различия объясняются значительно большим содержанием в песчаниках готерива–сантона кластики основных и средних вулканитов, а также полевых шпатов. Обращает на себя внимание близость айнынских песчаников по химическому составу к “средним” грауваккам по Ф. Петтиджону [15], от которых они отличаются лишь несколько пониженным содержанием SiO_2 , но повышенными – Al_2O_3 , суммарного железа Fe_2O_3 и щелочей, что в целом позволяет относить их к типичным грауваккам.

Глинисто-алевритовые породы по химическому составу близки песчаникам (табл.), при этом различия между комплексами также заметны. Наибольшие они по кремнезему (в среднем 61.29 % для нижнего турбидитового и 55.53 %–58.64 % для остальных комплексов), довольно значительны по Al_2O_3 (17.50 % и 16.13–19.03 %, соответственно) и несколько меньшие по суммарному железу (5.94 % и 7.04–7.78 %), Na_2O (1.61 % и 1.66–1.97 %) и K_2O (1.66 % и 0.84–1.47 %).

В *Олюторском террейне* по вещественному составу терригенных пород выделяются две минералого-литохимические провинции: Северная и Южная [4, 10] (рис. 1).

По породообразующим компонентам песчаники террейна относятся к типичным грауваккам. Обломочная их часть состоит из обломков терригенных, кремнистых и эффузивных пород, полевых шпатов, кварца, хлорита, пироксенов и рудных минералов. По классификации В.Д. Шутова [26], они относятся к кварц-полевошпатовым, полевошпатовым и собственно грауваккам. Различия между провинциями террейна выражаются в большем содержании а песчаниках *Южной* провинции кварца (до 23 %), обломков кремнистых и терригенных пород (до 65 %), кислых плагиоклазов (до 50 %) и калишпатов (до 20 %), а в *Северной* – эффузивов (до 60 %), основных и средних плагиоклазов (до 60 %). Меньше всего кварца в вулканомиктовых песчаниках вулканогенно-кремнистого и вулканогенно-осадочного комплексов – до 8 %, зато больше плагиоклазов – до 60 % – и об-

Таблица. Средний химический состав (% массы) терригенных пород из различных комплексов Дальнего Востока России.

Комплекс	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	H ₂ O	Сумма	ГМ	ТМ	ФМ	НКМ
Песчаные породы																			
Айнынский 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
Олоторский террейн																			
Северная провинция																			
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	21	57.49	0.56	15.36	4.11	3.78	0.22	3.57	4.87	3.83	0.79	н.а.	5.48	н.а.	100.06	0.41	0.036	0.20	0.30
Турбидитовый	28	58.67	0.69	14.96	3.19	4.00	0.12	3.71	4.38	3.62	1.44	н.а.	5.16	н.а.	99.94	0.39	0.046	0.19	0.34
Обломочный	310	61.53	0.68	14.51	3.89	2.22	0.09	2.88	3.19	2.53	1.48	н.а.	6.89	н.а.	99.89	0.35	0.047	0.15	0.28
Южная провинция																			
Вулканогенно-осадочный	19	58.56	0.76	17.19	2.60	4.53	0.21	3.30	2.87	3.27	1.14	н.а.	5.05	н.а.	99.48	0.43	0.044	0.18	0.26
Турбидитовый	29	65.02	0.59	14.64	2.16	3.77	0.09	1.90	2.47	3.72	1.56	н.а.	4.05	н.а.	99.97	0.33	0.040	0.12	0.36
Обломочный	82	65.11	0.64	13.69	2.58	3.16	0.08	2.44	2.12	2.66	1.54	н.а.	5.88	н.а.	99.90	0.31	0.047	0.13	0.31
Киселевско-Маноминский террейн (Удыльский фрагмент)																			
Вулканогенно-осадочный	8	58.14	0.65	19.16	4.32	1.56	0.33	2.71	2.41	6.87	0.96	0.30	2.04	0.31	99.77	0.45	0.034	0.15	0.41
Граувакковый, толщи:																			
микститов	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
песчаников	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
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

Примечание. n – количество анализов, н.а. – не анализировалось. Анализы выполнены в ДВГИ ДВО РАН В.Н. Каминской, Г.И. Макаровой, Л.А. Авдвинной и Л.А. Вржко-сек, и в ГИН РАН М.В. Рудченко. ГМ – гидролизатный модуль, ТМ – титановый модуль, ФМ – фемический модуль, НКМ – модуль нормированной щелочности.

Таблица. (Продолжение).

Комплекс	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	п.п.п.	H ₂ O ⁺	Сумма	ГМ	ТМ	ФМ	НКМ
Глинисто-алевритовые породы																			
<i>Айнынский террейн</i>																			
Нижний турбидитовый	3	61.29	0.85	17.50	3.05	2.89	0.10	2.09	2.40	1.61	1.66	н.а.	5.97	н.а.	99.40	0.40	0.049	0.13	0.19
Туфогенно-осадочный	5	58.54	0.92	16.13	3.39	3.65	0.11	2.53	3.58	1.97	1.47	0.12	5.01	2.75	100.17	0.41	0.057	0.17	0.21
Верхний турбидитовый	7	58.64	0.92	16.93	4.50	2.59	0.11	2.75	3.41	1.66	1.20	н.а.	6.85	н.а.	99.56	0.43	0.054	0.17	0.17
Грубообломочный	2	55.53	0.94	19.03	3.67	4.11	0.09	3.77	3.94	1.85	0.84	н.а.	5.85	н.а.	99.62	0.50	0.049	0.21	0.15
<i>Олоторский террейн</i>																			
<i>Северная провинция</i>																			
Вулканогенно-кремнистый	6	56.16	0.71	16.76	2.88	4.75	0.20	4.16	5.23	3.64	2.02	н.а.	3.23	н.а.	99.74	0.45	0.042	0.21	0.34
Вулканогенно-осадочный	10	59.58	0.71	15.60	3.44	3.99	0.25	2.83	3.94	2.83	1.13	н.а.	5.62	н.а.	99.92	0.40	0.046	0.18	0.25
Турбидитовый	94	60.26	0.72	15.22	2.96	4.05	0.11	3.17	2.76	2.39	2.08	н.а.	6.08	н.а.	99.80	0.38	0.047	0.17	0.29
Обломочный	110	60.34	0.76	15.23	4.06	2.38	0.09	2.57	2.67	2.03	1.76	н.а.	7.75	н.а.	99.64	0.37	0.050	0.15	0.25
<i>Южная провинция</i>																			
Вулканогенно-осадочный	8	63.12	0.65	15.47	1.63	4.32	0.17	2.08	1.23	4.04	2.01	н.а.	5.13	н.а.	99.85	0.35	0.042	0.13	0.39
Турбидитовый	32	62.23	0.78	16.14	2.96	4.13	0.08	2.15	1.56	2.80	2.33	н.а.	4.86	н.а.	100.02	0.39	0.048	0.15	0.32
Обломочный	55	62.45	0.76	14.85	3.22	2.90	0.07	2.40	1.75	2.16	1.73	н.а.	7.73	н.а.	100.02	0.35	0.051	0.14	0.26
<i>Киселевско-Маноминский террейн (Удильский фрагмент)</i>																			
Вулканогенно-осадочный	16	62.54	0.61	14.27	4.56	2.34	0.27	3.41	1.66	3.00	1.74	0.22	3.84	1.13	99.57	0.35	0.043	0.17	0.33
<i>Грауваксовый, толщи:</i>																			
аргиллитов	5	66.50	0.76	14.49	2.46	2.59	0.12	2.13	1.45	2.88	2.21	0.22	3.35	0.51	99.67	0.31	0.052	0.11	0.35
микститов	31	66.26	0.64	14.25	2.92	2.43	0.13	2.08	1.16	2.59	2.45	0.20	4.02	0.58	99.69	0.31	0.045	0.11	0.35
песчаников	12	66.41	0.60	13.55	3.35	1.93	0.09	2.00	2.10	2.42	2.25	0.43	4.26	0.39	99.77	0.29	0.044	0.11	0.35
алевролитов	11	65.42	0.62	15.24	3.73	1.88	0.08	1.76	0.80	2.35	2.47	0.21	4.65	0.47	99.69	0.33	0.041	0.11	0.32
<i>Кемский террейн</i>																			
Нижний турбидитовый	17	67.08	0.54	13.89	2.21	2.82	0.06	1.39	1.60	2.07	2.49	0.22	4.89	0.50	99.75	0.29	0.039	0.10	0.33
Грубообломочный	14	67.23	0.61	14.08	1.72	2.94	0.05	1.80	1.26	1.70	3.11	0.17	4.35	0.58	99.60	0.29	0.043	0.10	0.34
Вулканогенный	11	65.10	0.57	14.11	3.46	1.55	0.09	1.64	2.16	1.55	2.46	0.21	6.02	0.78	99.70	0.30	0.040	0.10	0.28
Верхний турбидитовый	18	64.75	0.62	14.52	1.73	2.63	0.05	2.02	1.58	2.06	2.77	0.14	6.13	0.65	99.65	0.30	0.043	0.10	0.33

ломков эффузивов – до 60 %. Среди обломков пород преобладают основные и средние эффузивы, несколько меньше пирокластических, терригенных и кремнистых пород. Интрузивные и метаморфические породы редки и встречаются лишь в Южной провинции.

Обломочная часть глинисто-алевритовых пород, занимающая до 70 % их объема, в целом сходна с таковой песчаников, хотя в них меньше обломков пород, но несколько больше полевых шпатов и кварца. Основной составляющей глинистой части пород Северной провинции являются агрегаты тонкочешуйчатых глинистых минералов, главным образом смектита, хлорита, смешанослойного смектит-хлорита. В Южной провинции преобладает гидрослюда.

По химическому составу наибольшие различия между провинциями наблюдаются в песчаниках [4, 10]. Прежде всего, они отличаются по кремнезему: в *Северной провинции* его в среднем по комплексам от 55.12 до 61.53 %, а в *Южной провинции* – от 58.56 до 65.11 %. Также заметны различия по Fe_2O_3 (2.88–4.06 % и 1.63–3.22 %, соответственно), MgO (2.57–4.16 % и 2.08–2.40 %), CaO (2.67–5.23 % и 1.23–1.75 %). Все это свидетельствует о большей фемичности отложений Северной провинции по сравнению с Южной. В целом, по химическому составу песчаники обеих провинций относятся к типичным грауваккам, что демонстрируется их близостью к “средним” грауваккам, по Ф. Петтиджону [15], грауваккам и туфопесчаникам францисканской формации Калифорнии [26], от которых они отличаются пониженными содержаниями SiO_2 , FeO и K_2O , но повышенными Al_2O_3 , Fe_2O_3 и MgO .

Глинисто-алевритовые породы по химическому составу в целом близки песчаникам (табл.), но в связи с тем, что в них, по сравнению с песчаниками, больше глинистых минералов и меньше обломочных компонентов, они содержат больше Al_2O_3 (14.85–16.76 %), TiO_2 (0.65–0.78 %) и K_2O (1.13–2.33 %), но меньше SiO_2 (56.16–63.12 %) и Na_2O (2.03–4.04 %). По химическому составу глинистых пород также довольно хорошо заметны различия между провинциями. Для пород *Северной провинции* характерны более низкие содержания SiO_2 и K_2O и более высокие Al_2O_3 , MgO , CaO и суммарного железа.

В *Удыльском фрагменте Киселевско-Маноминского террейна* песчаники встречаются только в вулканогенно-осадочном и граувакковом комплексах. Они представляют собой полимиктовые, часто вулканокластические образования, относящиеся, по классификации В.Д. Шутова [26], к полевошпатово-кварцевым, кварцево-полевошпатовым и собственно

грауваккам. Особое положение занимают полевошпатовые граувакки вулканогенно-осадочного комплекса, состоящие преимущественно из пирокластических продуктов извержений и вулканомиктового материала. Различия между комплексами видны в содержаниях порообразующих компонентов. Наибольшие они по содержанию кварца: в вулканогенно-осадочном комплексе его не более 7 %, а в граувакковом от 10 до 40 %. Полевых шпатов – 60–80 % и 10–50 %, соответственно. Среди них преобладают (до 95 %) альбит и олигоклаз. Калиевых полевых шпатов не более 5 %, это в основном ортоклаз. Среди обломков пород, составляющих в вулканогенно-осадочном комплексе 15–30 %, преобладают основные и средние вулканыты (до 70 %), значительно меньше осадочных пород (до 30 %) и измененного вулканического стекла (до 15 %). В граувакковом комплексе среди обломков пород (в сумме 40–55 %) преобладают тонкозернистые осадочные (30–50 %) и кремнистые (20–40 %) породы, значительно меньше эффузивов (5–15 %), иногда встречаются кислые интрузивные и метаморфические породы.

Обломочная часть глинисто-алевритовых пород, занимающая 5–80 % их объема, состоит из алевритовых и редких псаммитовых зерен плагиоклаза, кварца, основных вулканытов и стекла. Иногда встречаются обломки кремней, средних вулканытов, пироксенов и рудных минералов. Глинистые минералы всех комплексов очень однообразны и представлены практически двумя минералами – гидрослюдой и хлоритом. Лишь иногда в вулканогенно-осадочном комплексе присутствует смектит и смектит-хлорит.

Содержания главных порообразующих оксидов в различных комплексах террейна существенно различаются [12]. Песчаники вулканогенно-осадочного комплекса отличаются, прежде всего, заметно более низким, чем в породах грауваккового комплекса, содержанием кремнекислоты (58.56 % и 66.90–67.05 %, соответственно). Кроме того, в них меньше FeO (1.56 % и 2.40–2.87 %) и K_2O (0.96 % и 1.93–2.00 %), но значительно больше Al_2O_3 (19.16 % и 12.99–13.26 %) и Na_2O (6.87 % и 2.61–3.15 %), а также Fe_2O_3 (4.32 % и 2.82–3.04 %), MgO (2.71 % и 2.29–2.55 %) и CaO (2.41 % и 1.56–1.92 %). Такие различия объясняются большим содержанием в песчаниках вулканогенно-осадочного комплекса обломков основных вулканытов и полевых шпатов. Следует отметить, что песчаники грауваккового комплекса по составу хорошо сопоставляются со “средними” граувакками, по Ф. Петтиджону [15], а также граувакками и туфопесчаниками францисканской формации.

Различия между составами глинисто-алевритовых пород комплексов также довольно велики. Наи-

большие они по кремнезему (в среднем 62.54 % для вулканогенно-обломочного и 65.42–66.50 % для грауваккового) и несколько меньше по Fe_2O_3 (4.56% и 2.46–3.73 %), MnO (0.27 % и 0.08–0.13 %), MgO (3.41 % и 1.76–2.13%) и K_2O (1.74 % и 2.21–2.47 %).

Песчаники *Кемского террейна* по породообразующим компонентам довольно однообразны и в целом относятся к полимиктовым. Обломочная их часть представлена кварцем, полевыми шпатами, обломками терригенных, кремневых и эффузивных пород, вулканическим стеклом и рудными минералами. По классификации В.Д. Шутова [26] песчаники относятся главным образом к полевошпатово-кварцевым и кварцево-полевошпатовым грауваккам и, меньше – полевошпатовым аркозам. Кварц – наиболее часто встречающийся компонент песчаников, его содержание колеблется от 30 до 52 %. Больше всего кварца в нижнем турбидитовом комплексе (35–52 %), а меньше – в вулканогенном (31–42 %). Полевых шпатов в песчаниках 22–41 %. Это преимущественно плагиоклазы (60–95 %), среди которых преобладают альбит и олигоклаз. Калиевых полевых шпатов до 20%, это в основном ортоклаз, редко микроклин. Обломки пород, составляющие 17–42 % объема песчаников, представлены кремневыми (в среднем 30–45 %) и осадочными (25–35 %) породами, в меньшей мере основными эффузивами (15–30 %). Наибольшее количество обломков эффузивов – в песчаниках нижнего турбидитового комплекса (до 70 %). Обломки интрузивных и метаморфических пород редки.

В глинисто-алевритовых породах, в зависимости от их литологического типа, алевритовый обломочный материал занимает от 5 до 70–80 % объема. Среди обломков чаще всего встречаются кварц, полевые шпаты, реже кремни, эффузивы, тонкообломочные породы, биотит, вулканическое стекло и рудные минералы. Глинистая составляющая пород представлена главным образом гидрослюдой и, в меньшей мере, смектитом и хлоритом. Исключение составляет вулканогенный комплекс, где преобладают смектит и хлорит.

По химическому составу песчаники довольно однородны [6, 7]. Заметны лишь некоторые отличия в составе песчаников из вулканогенного комплекса, выражающиеся в меньшем, по сравнению с другими комплексами, содержании кремнекислоты (73.26 % и 74.34–77.30 % соответственно), но большем TiO_2 (0.38 % и 0.25–0.35 %) и Al_2O_3 (10.76 % и 8.18–10.24 %). В целом, по основным породообразующим оксидам, кемские песчаники занимают промежуточное положение между аркозами и граувакками. От

“среднего” аркоза они отличаются более низким содержанием SiO_2 , повышенным Al_2O_3 , MgO и суммарного железа, а также преобладанием Na_2O над K_2O , что характерно для граувакк [15].

Химический состав глинисто-алевритовых пород в целом близок во всех комплексах и отличается от состава песчаников меньшими содержаниями SiO_2 (от 64.75 до 67.23 %) и CaO (1.26–2.16 %), но большими – TiO_2 (0.54–0.62 %), Al_2O_3 (13.89–14.52 %) и $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ (4.36–5.03 %), а также преобладанием K_2O над Na_2O .

На диаграмме, предложенной А.А. Предовским [16] (рис. 3), алюмосиликатные кластические осадочные образования подразделяются по частной глиноземистости (А) и фемичности (F). Изученные нами песчаники осадочных комплексов Дальнего Востока по этим показателям имеют определенные сходства и различия. Все фигуративные точки песчаников Айнинского, Олюторского и Киселевско-Маноминского террейнов по частной глиноземистости расположены в полях глинистых и высокоглинистых пород, а по показателю фемичности – в граувакковой их части. При этом точки песчаников Южной провинции Олю-

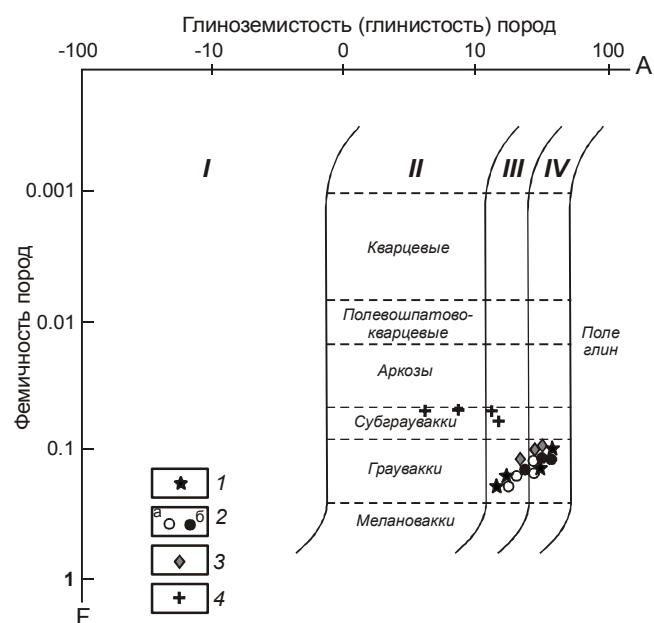


Рис. 3. Диаграмма А–F для песчаных пород изученных объектов [16].

$A = \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$; $F = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$ (молекулярные веса).

I–IV – песчаные породы: I – переходные к туффитам и туффи-ты, II – малоглинистые, III – глинистые, IV – высокоглинистые.

I–4 – террейны: 1 – Айнинский; 2 – Олюторский, провинции: а – Северная, б – Южная; 3 – Киселевско-Маноминский, Удильский фрагмент; 4 – Кемский.

торского террейна по фемичности располагаются несколько ближе к полю субграувакк, чем пород Северной. Еще ближе к этому полю расположены точки песчаников Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна, а также нижнего турбидитового комплекса Айнынского террейна. Значительно больше по предложенным показателям отличаются породы Кемского террейна. По фемичности они соответствуют субграуваккам и даже приближаются к аркозам, а по глиноземистости их точки ложатся в поля глинистых и малоглинистых пород. В целом, разброс точек средних составов песчаников изученных террейнов по глиноземистости объясняется различной долей участия в их составе глинистого матрикса или примесью пирокластического материала.

На диаграмме Si–Al–Fe Б. Мура и В. Деннена [32] (рис. 4) фигуративные точки песчаников изученных объектов совпадают с линией гранит–базальт, либо выстраиваются примерно параллельно ей. По этой классификации песчаники Айнынского, Олюторского и Киселевско-Маноминского террейнов относятся к грауваккам. При этом песчаники Айнынского террейна, а также вулканогенно-осадочного комплекса Киселевско-Маноминского террейна занимают крайне правое, наиболее близкое к составу базальта, положение, а породы двух провинций Олюторского террейна довольно хорошо обособляются друг от друга. Кроме того, на этой диаграмме резко выделяются песчаники Кемского террейна: их точки попадают в поле субграувакк, а состав близок граниту.

На диаграмме Ф. Петтиджона и его соавторов [14] (рис. 5), основанной на логарифмах отноше-

ний $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, фигуративные точки всех песчаников Айнынского, Олюторского и Киселевско-Маноминского террейнов компактно группируются в поле граувакк. При этом, как и на предыдущих диаграммах, наиболее “граувакковый” состав имеют песчаники Айнынского террейна и вулканогенно-осадочного комплекса Киселевско-Маноминского террейна, а породы двух провинций Олюторского террейна заметно отличаются. В свою очередь, фигуративные точки песчаников Кемского террейна, выходя за пределы поля граувакк, попадают в поле литоидных аренитов, которые по существу являются субграувакками, т.е. породами, переходными к аркозам [15].

Поскольку абсолютные содержания породообразующих оксидов отражают состав не только обломочной части терригенных пород, но и их цемента, более объективные выводы о сходстве и различии между отложениями изученных объектов можно сделать, рассматривая ряд наиболее информативных отношений оксидов и их сумм (петрохимических модулей) (табл.), а также модульные диаграммы (рис. 6), предложенные Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [27, 28].

Гидролизатный модуль ($\text{ГМ} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$) предназначен для количественной оценки химического выветривания пород, т.е. их “зрелости”. Его значение зависит, с одной стороны, от количества в них обломочного кварца или богатых кремнеземом обломков пород, а с другой – от доли и состава полевых шпатов, а также глинистых компонентов, входящих в состав цемента.

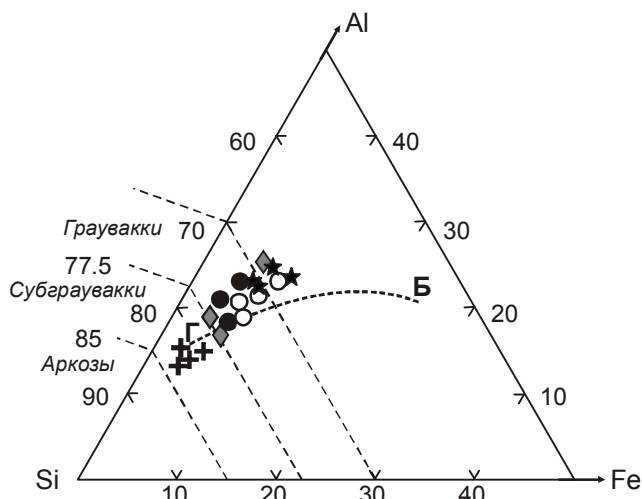


Рис. 4. Диаграмма Si–Al–Fe для песчаных пород изученных объектов [32] (атомные веса).

Линия Г-Б – гранит-базальтовый тренд. Условные обозначения см. рис. 3.

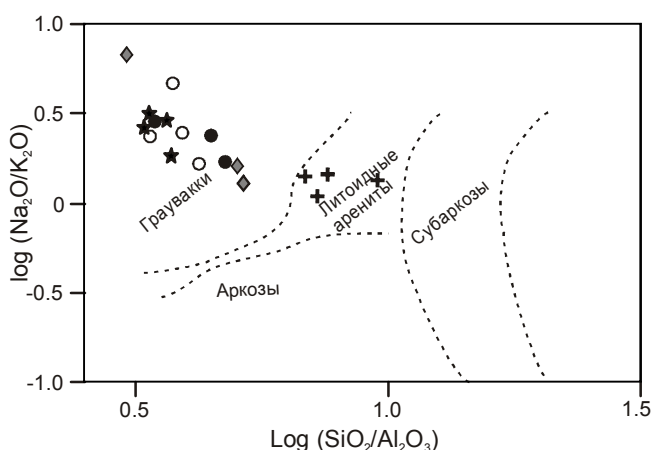


Рис. 5. Диаграмма $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ – $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ для песчаных пород изученных объектов [14].

Условные обозначения см. рис. 3.

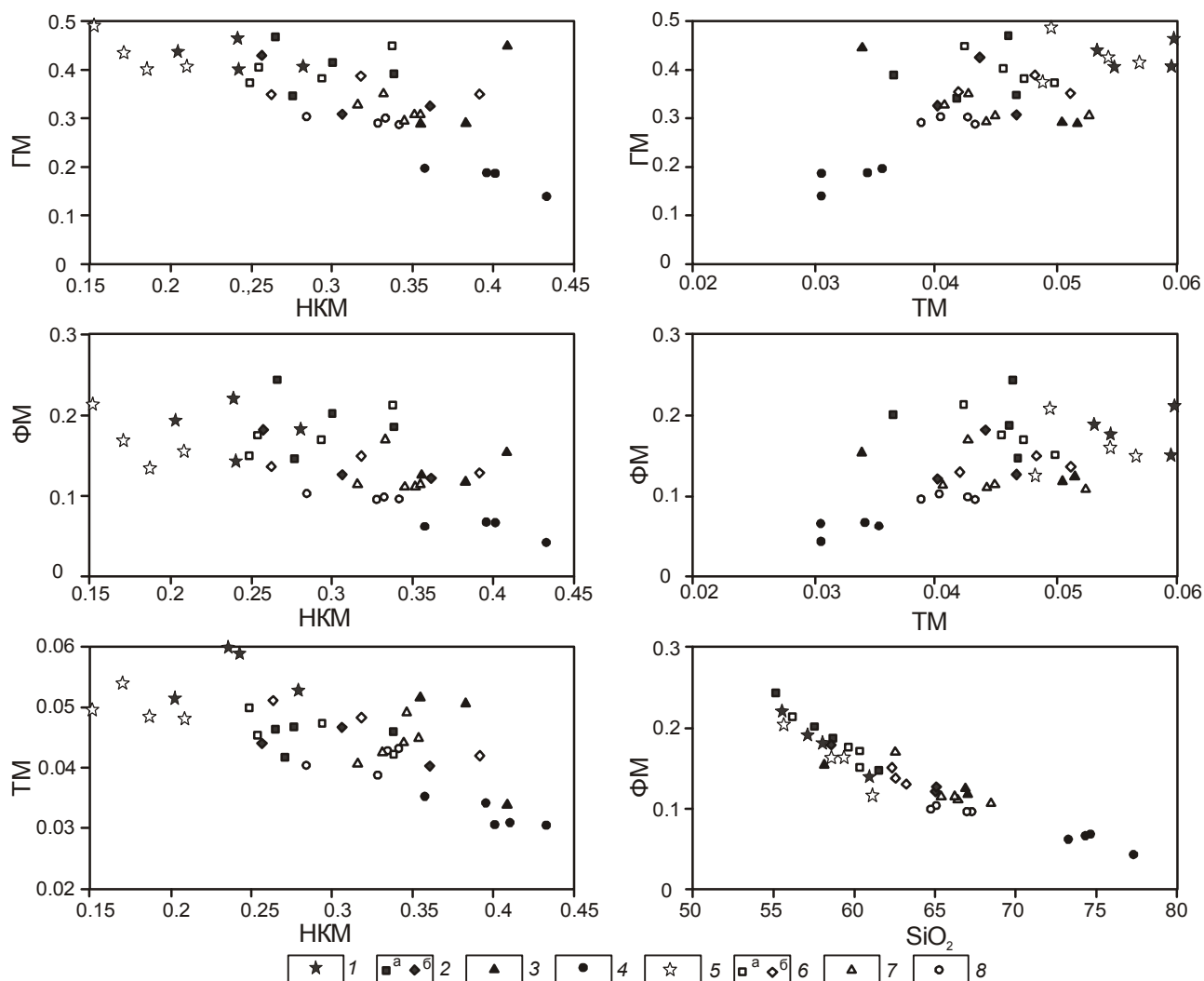


Рис. 6. Модульные диаграммы для песчаных и глинисто-алевритовых пород изученных объектов [27, 28].

1–4 – песчаные породы; 5–8 – глинисто-алевритовые породы. Террейны: 1, 5 – Айнынский; 2, 6 – Олюторский, провинции: а – Северная, б – Южная; 3, 7 – Киселевско-Маноминский, Удыльский фрагмент; 4, 8 – Кемский.

По этому показателю песчаники всех изученных объектов характеризуются невысоким уровнем зрелости, что свидетельствует об их образовании за счет преимущественно механического разрушения материнских пород при подчиненной роли химического выветривания, а также за счет разрушения пород основного и среднего состава.

Значения модуля ГМ изменяются от 0.48–0.41 для наименее зрелых пород Айнынского террейна до 0.14–0.19 для наиболее зрелых Кемского террейна. Относительно высокая зрелость кемских песчаников обусловлена, вероятно, повышенным содержанием в них обломочного кварца и кремнистых пород и пониженным – полевыми шпатами и глинистым цементом. В глинисто-алевритовых породах, как правило, значения модуля ГМ выше, чем в песчаниках, что связано

с меньшим содержанием в них кварца и полевых шпатов и большим – глинистого вещества. Исключение составляют породы верхнего турбидитового комплекса Айнынского террейна, а также вулканогенно-кремнистого и вулканогенно-осадочного комплексов Олюторского и Киселевско-Маноминского террейнов, поскольку в песчаниках этих комплексов довольно мало кварца, но многочисленны обломки основных эффузивов, а также обильно глинистое вещество цемента и матрикса.

Фемический модуль ($FM = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$) весьма удобен для идентификации граувакк и аркозов [15]. Наиболее высокие его значения свойственны вулканокластическим грауваккам [28], что обычно связано с содержанием в них большого количества обогащенных железом и магнием облом-

ков вулканических пород и стекол, а также глинисто-цементного матрикса. В целом же, фемический модуль отражает интенсивность и скорость выветривания и захоронения вещества: чем больше фемических элементов в результате выветривания переходит в раствор, тем меньше значение модуля, а следовательно, больше отличие песчаников от типичных граувакк.

По фемическому модулю к типичным грауваккам относятся песчаники Киселевско-Маноминского (0.12–0.15), Айнынского (0.14–0.23) и Олюторского (0.12–0.25) террейнов. При этом отчетливо заметны различия между породами Северной (0.12–0.18) и Южной (0.15–0.25) провинций последнего. Кроме того, обращают на себя внимание высокие значения модуля ФМ в песчаниках его вулканогенно-кремнистого и вулканогенно-осадочного комплексов, а также верхнего турбидитового комплекса Айнынского террейна, что позволяет относить их к разряду вулканокластических граувакк. Значительно менее фемичны песчаники Кемского террейна (0.04–0.07), что хорошо согласуется с меньшим содержанием в них обломков основных вулканитов, но большим – кварца, кремнистых пород, гранитоидов. По этому показателю они занимают промежуточное положение между граувакками и аркозами. По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [28], глинистым породам, по сравнению с песчаными, присущи, как правило, более высокие значения фемического модуля. В нашем случае это правило хорошо подтверждается для отложений Кемского террейна. В глинисто-алевритовых породах Айнынского, Олюторского и Киселевско-Маноминского террейнов значения этого модуля ниже, чем в песчаниках, либо они равны. Сходные результаты были получены П.В. Маркевичем [9] для флишевых отложений Ильпинского полуострова Восточной Камчатки.

Модуль нормированной щелочности (НКМ = $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$), введенный еще Г. Миддлтоном [31], позволяет распознавать примесь вулканического материала в осадочных породах [28]. Как правило, значение этого модуля выше в аркозах за счет широкого развития в них слюд и полевых шпатов, в том числе калиевых, и ниже в граувакках – как результат обилия глинистого цемента, обломков основных эффузивов и глинисто-алевритового матрикса.

По этому модулю ближе всего к аркозам песчаники Кемского террейна (0.36–0.43), в которых вулканомиктовый материал, вероятно, смешивался с некоторым количеством сиалической кластики. Несколько ниже значения модуля в песчаниках Киселевско-Маноминского террейна (0.35–0.41), а наи-

меньшими обладают типичные граувакки Олюторского (0.26–0.36) и Айнынского (0.20–0.28) террейнов, в которых главной обломочной составляющей являются основные и средние высокоглиноземистые вулканиты и обилён глинистый материал, представленный в основном хлоритом и смектитом. В глинисто-алевритовых породах изученных объектов значения НКМ, как правило, ниже, чем в песчаниках, что, очевидно, связано с меньшим содержанием в них полевых шпатов, но большим количеством глинистого вещества. Исключение составляют вулканогенно-кремнистый и вулканогенно-осадочный комплексы Олюторского террейна, поскольку глинистые породы этих комплексов часто практически нацело (до 90%) сложены смектитом [4].

Титановый модуль ($\text{ТМ} = \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$), введенный А.А. Мигдисовым [13], позволяет, главным образом, судить о составе пород (в частности, об их титанистости) в областях сноса и о динамике среды седиментации, приводящей к сортировке титаносодержащих минералов и глинистого вещества [28].

Как правило, высокие значения титанового модуля в песчаниках обусловлены примесью основной вулканокластики. Для песчаников всех изученных объектов, несмотря на значительную долю среди обломочной составляющей вулканомиктового и пирокластического материала, значения модуля относительно невелики. Значения модуля колеблются в песчаниках Айнынского террейна от 0.052 до 0.060, несколько меньше они в породах Олюторского (0.036–0.047) и Киселевско-Маноминского (0.034–0.052) террейнов. Объяснением этому служит, вероятно, образование материала за счет разрушения островодужных вулканитов низкотитанистых (но высокоглиноземистых) серий. Наиболее низкие значения модуля – в приближающихся к аркозам кемских песчаниках (0.031–0.035), что связано с примесью в них обломков кислых изверженных пород, в свою очередь, отличающихся низкими значениями ТМ. Характерной особенностью глинисто-алевритовых пород большинства изученных отложений является их повышенная титанистость по сравнению с песчаниками, что в целом свойственно вулканомиктовым породам, при образовании которых не происходит существенной механической дифференциации пелитовой и псаммитовой фракций [28].

Закономерности изменения среднего химического состава песчаных и глинисто-алевритовых пород всех изученных объектов, а также существующие черты их сходства и различия наилучшим образом видны при нанесении фигуративных точек на модульные диаграммы Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис

[27, 28]: ГМ–НКМ, ФМ–НКМ, ТМ–НКМ, ГМ–ТМ, ФМ–ТМ и ФМ– SiO_2 (рис. 6). На всех приведенных диаграммах рассматриваемые отложения выстраиваются в следующую последовательность: Айнынский террейн – Северная и Южная провинции Олюторского террейна – Киселевско-Маноминский террейн – Кемский террейн. Наблюдающаяся при этом положительная корреляция между парами ФМ–ТМ, ГМ–ТМ, и отрицательная ГМ–НКМ, ФМ–НКМ, ТМ–НКМ и ФМ– SiO_2 свидетельствует о петрогенной (вулканомиктовой) природе пород и, соответственно, об их принадлежности к грауваккам.

Вместе с тем, на всех диаграммах фигуративные точки изученных отложений образуют два самостоятельных, хорошо разделяющихся поля. Первое образуют приближающиеся к аркозам песчаники Кемского террейна, характеризующиеся повышенными содержаниями кремнезема и наибольшими значениями НКМ, но более низкими ГМ, ФМ, ТМ. Такое своеобразие кемских песчаников объясняется, вероятно, их образованием как за счет островодужной вулканокластике, так и продуктов разрушения сиалических блоков континентальной коры. Второе, большее, поле объединяет породы всех остальных объектов, хотя и здесь заметны определенные различия. Общим же для них является принадлежность к типичным грауваккам и тесная генетическая связь с островодужными вулканитами, а также возможное поступление незначительного количества сиалического материала.

Таким образом, литохимический состав терригенных пород изученных объектов указывает на их низкую химическую зрелость, слабую литодинамическую переработку, а также высокую скорость физического выветривания и захоронения вещества. Основными источниками обломочного материала во всех случаях была островодужная вулканокластика, к которой иногда примешивалось то или иное количество сиалического материала с поднятых блоков континентальной коры.

ПАЛЕОГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Полученные литохимические 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 химическим составом пород и геодинамическими обстановками областей питания и бассейнов седиментации [29, 30, 33 и др.].

На рис. 7А показаны диаграммы генетической интерпретации химического состава песчаников

М. Бхатиа [29], применяющиеся для разделения песчаников из бассейнов различных тектонических обстановок. Используемые на них параметры $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$, TiO_2 и Fe_2O_3 (общее)+ MgO отражают минералогический состав пород питающей провинции и геохимическое поведение ряда элементов в морской воде. По этим показателям песчаники *Айнынского террейна* соответствуют, главным образом, обстановкам океанических островных дуг, и лишь породы берриас-валанжинского комплекса смещены в направлении поля континентальных островных дуг. Геотектонические обстановки самих бассейнов седиментации реконструируются при помощи диаграммы Дж. Мейнарда и его соавторов [30] (рис. 7Б), на которой глубоководные пески разделены по отношениям $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$. Айнынские песчаники на этой диаграмме группируются в обстановках преддуговых (FA) бассейнов океанических островных дуг.

Палеотектоническая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород, полученная при анализе диаграммы $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [30] (рис. 8), в целом не противоречит сделанной по составу песчаников. Все фигуративные точки располагаются в полях островодужных обстановок, больше тяготея к обстановкам преддуговых (FA) бассейнов океанических островных дуг, и лишь породы нижнего турбидитового комплекса попадают в поле континентальных островных дуг.

Несколько иную тектоническую интерпретацию химического состава песчаных и глинистых пород предложили Б. Роузер и Р. Корш [33]. На их диаграмме $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (рис. 9) выделены бассейны океанических островных дуг (ARC), а также пассивных (PM) и активных (ACM) континентальных окраин. Фигуративные точки песчаных и глинисто-алевритовых пород Айнынского террейна группируются в поле бассейнов, связанных с океаническими островными дугами, и только точки глинисто-алевритовых пород нижнего турбидитового комплекса попадают в поле активных континентальных окраин, в состав которых входят континентальные островные дуги.

Вероятно, основным источником обломочного вещества для отложений Айнынского террейна были основные и средние вулканические породы, а также продукты синседиментационной вулканической деятельности, и лишь для пород нижнего турбидитового комплекса можно предположить участие размывавшихся гранитно-метаморфических пород зрелой континентальной окраины, что подтверждается присутствием в тяжелой фракции песчаников заметного количества сиалических тяжелых минералов (циркон, гранат, турмалин, сфен) [21, 22].

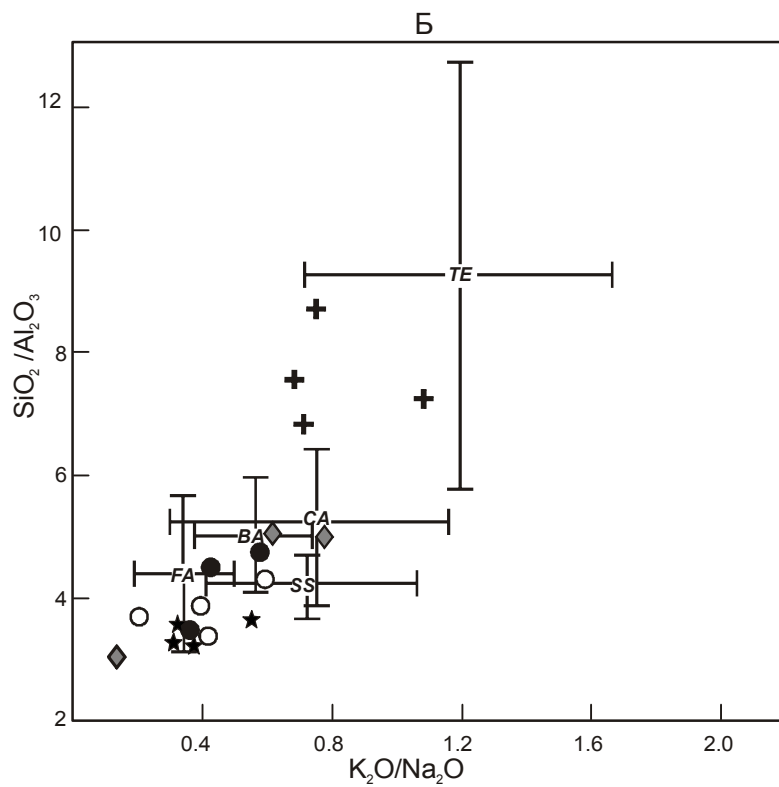
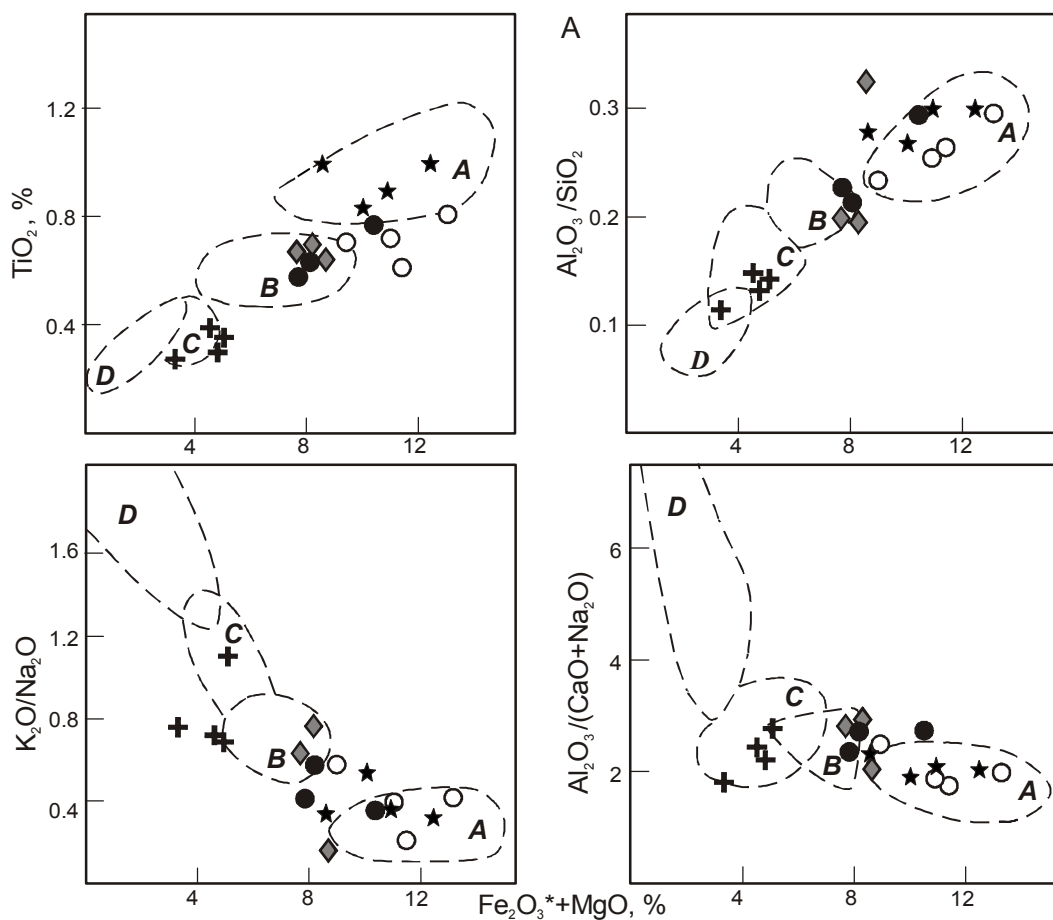


Рис. 7. Диаграммы химического состава песчаных пород из различных геодинамических обстановок.

А – типы бассейнов [29]. Пунктирные линии – поля значений геохимических параметров древних песчаников из бассейнов, сопряженных: А – с океаническими, В – с континентальными островными дугами, С – с активными, Д – с пассивными континентальными окраинами. $Fe_2O_3^*$ – общее железо.

Б – бассейновые обстановки [30]. Пересекающиеся линии – стандартные отклонения от среднего состава современных глубоководных песков из бассейнов пассивных континентальных окраин (ТЕ); активных континентальных окраин, сопряженных: со сдвиговыми дислокациями (SS); с окраинно-континентальными магматическими дугами (СА); с океаническими вулканическими дугами (ФА – преддуговые и ВА – задуговые бассейны). Условные обозначения см. рис. 3.

Генетическая интерпретация химического состава песчаников *Олюторского террейна* на диаграммах М. Бхатиа (рис. 7А) свидетельствует о том, что они формировались в геодинамических обстановках, соответствующих либо близким к обстановкам океанических островных дуг типа Марианской, и, в меньшей мере, континентальных островных дуг. В свою очередь, на диаграмме Дж. Мейнарда и его соавторов (рис. 7Б) олюторские песчаники близки к пескам из преддуговых (FA) и задуговых (BA) бассейнов океанических островных дуг. Вероятно, основным источником обломочного вещества для них была островодужная вулканокластика и продукты синседиментационного вулканизма. Вместе с тем, на диаграммах видны определенные различия в составе песчаников двух провинций террейна, что позволяет предполагать существование дополнительного сиалического (континентального) источника обломочного материала, оказывавшего постоянное влияние на седиментацию Южной провинции. Этим источником могли быть блоки с зрелой континентальной земной корой, в строении которых участвовали гранитоиды и метаморфизованные породы [4].

Палеотектоническая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород на диаграмме Дж. Мейнарда и его соавторов (рис. 8) не противоречит интерпретации, сделанной по составу песчаников. Все фигуративные точки пород располагаются в полях островодужных обстановок, больше тяготея к обстановкам преддуговых (FA) и задуговых (BA) бассейнов океанических островных дуг.

На диаграмме Б. Роузера и Р. Корша [33] (рис. 9) песчано-глинистые породы Олюторского террейна группируются в поле бассейнов, связанных с океаническими островными дугами, что хорошо согласуется с приведенными выше данными.

Интерпретация химического состава терригенных пород *Удильского фрагмента Киселевско-Манинско-го террейна*, основанная на вышеописанных принципах, позволяет предполагать несколько источников питания и обстановок седиментации. В кремнистом комплексе террейна, как уже упоминалось, обломочные породы практически не встречаются, поэтому о его геодинамической природе можно судить лишь по косвенным признакам, в частности по набору тяжелых минералов, выделенных из глинистых пород. Преобладание в комплексе фемической ассоциации минералов, среди которых главенствует клинопироксен, характерно для глубоководных впадин окраинных морей Тихого океана, где основным источником обломочного вещества была островодужная вулканокластика, поставляемая океани-

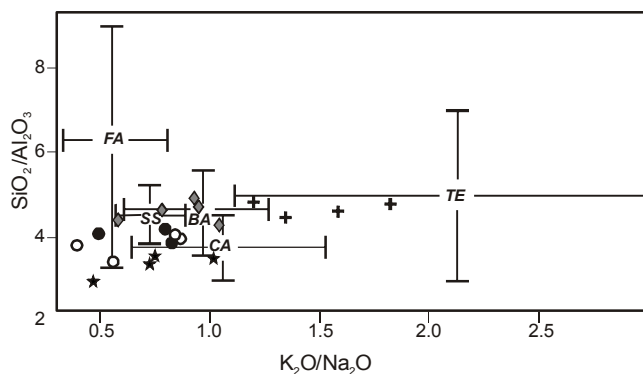


Рис. 8. Диаграмма химического состава глинисто-алевритовых пород из различных бассейновых обстановок [30].

Условные обозначения и аббревиатуры см. рис. 3 и 7.

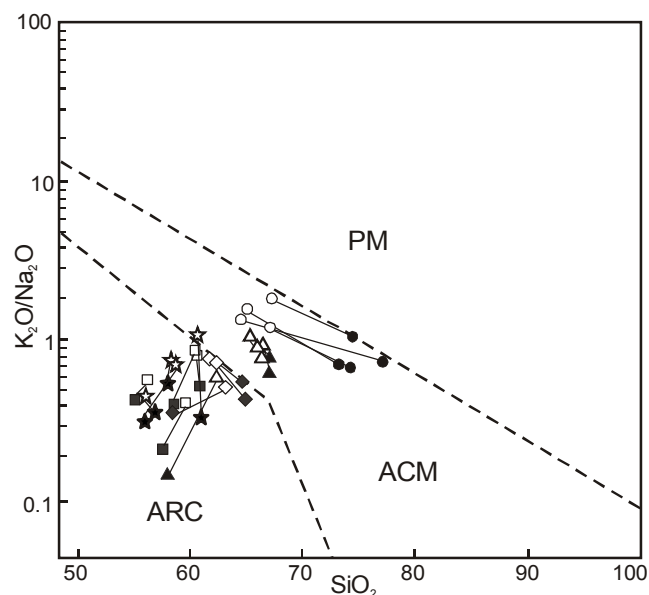


Рис. 9. Диаграмма K_2O/Na_2O-SiO_2 для песчаных и глинисто-алевритовых пород изученных объектов [33].

Бассейны тектонических обстановок: PM – пассивных континентальных окраин, ACM – активных континентальных окраин, ARC – океанических островных дуг.

Линии соединяют песчаные и глинисто-алевритовые породы из одного комплекса. Условные обозначения см. рис. 6.

ческой дугой типа Идзу-Бонинской [8]. Фигуративные точки пород вулканогенно-осадочного комплекса на всех приведенных диаграммах (рис. 7, 8, 9) также соответствуют океанической островной дуге, попадая в поле преддуговых бассейнов (FA). Точки песчаных и глинисто-алевритовых пород грауваккового комплекса на диаграммах М. Бхатиа и Дж. Мейнарда с соавторами (рис. 7, 8) смещены в сторону полей бассейнов окраинно-континентальных вулканических островных дуг, а на диаграмме Б. Роузера и

Р. Корша (рис. 9) – в сторону активных континентальных окраин, в состав которых эти дуги входят. Такое отклонение обусловлено пониженной фемичностью, но повышенной зрелостью пород комплекса из-за присутствия в них продуктов размыва сиалических (континентальных) источников.

Генетическая интерпретация химического состава песчаников *Кемского террейна* не всегда однозначна. На диаграммах М. Бхатиа [29] (рис. 7А) кемские песчаники соответствуют либо приближаются к песчаникам бассейнов активных континентальных окраин, а также бассейнов, сопряженных с островными дугами, развитыми на зрелой континентальной коре (например, Японские острова). Не совсем точное совпадение фигуративных точек с полем континентальных островных дуг объясняется низким содержанием в песчаниках суммарного железа и магния (низкой фемичностью), а также относительно высокой зрелостью пород, связанной с обогащением их кварцем и обломками кремневых пород. На диаграмме Дж. Мейнарда и соавторов [30] (рис. 7Б) песчаники занимают промежуточное положение между песками из бассейнов, связанных с пассивными континентальными окраинами (ТЕ) и окраинно-континентальными дугами (СА). Отклонение положения фигуративных точек песчаников от полей бассейнов активных континентальных окраин и окраинно-континентальных дуг объясняется в целом нехарактерным для данного типа песчаников преобладанием К над Na, что обусловлено содержанием в них обломков базальтов (шошонитов), относящихся к высококальциевой известково-щелочной серии, характерной для тыловых частей островных дуг [17]. На диаграмме Б. Роузера и Р. Корша [33] (рис. 9) точки песчаников попадают в поле бассейнов активных континентальных окраин, в состав которых входят континентальные островные дуги. Палеотектоническая интерпретация химического состава глинисто-алевритовых пород (рис. 8, 9) не противоречит сделанной по составу песчаников, отличаясь даже несколько большей определенностью. Их фигуративные точки на этих диаграммах тяготеют главным образом к полям бассейнов активных континентальных окраин и островных дуг, развитых на континентальной коре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен литохимический состав терригенных пород из разновозрастных и структурно контрастных комплексов российской части Дальнего Востока. Обобщение и интерпретация полученных результатов позволили подтвердить островодужную природу этих объектов и установить следующие их особенности.

Анализ литохимического состава терригенных пород *Айнынского террейна* указывает на их формирование главным образом за счет размывавшейся островодужной вулканокластики и продуктов синседиментационного вулканизма позднеюрско-раннемеловой энсиматической Удско-Мургальской островной дуги [18, 21, 22]. Осадочный материал накапливался на примыкавшем к дуге склоне преддугового бассейна. Вместе с тем, в берриас-валанжинское время на осадкообразование определенное влияние оказывали и гранитно-метаморфические комплексы зрелой континентальной окраины. Кроме того, с конца альба дополнительным источником вулканокластики стал разрушавшийся Охотско-Чукотский вулканический пояс [21, 22].

В *Олюторском террейне* по вещественному составу терригенных отложений выделяются две минералого-литохимические провинции, которые питались из различных по составу источников. Доминирующим источником, поставлявшим обломочный материал в бассейны обеих провинций, была разрушавшаяся мел-палеогеновая Ачайваямская океаническая островная дуга [25], а также синседиментационные вулканические процессы. Одновременно с этим существовал и другой – внебассейновый – сиалический источник, оказывавший заметное влияние на седиментацию в Южной провинции. Этим источником, вероятно, были блоки континентальной коры, располагавшиеся к югу от Олюторского террейна на месте современного Берингова моря [4].

Область питания седиментационных бассейнов *Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна* была неоднородной. Основным источником обломочного вещества была вулканокластика, поступающая с меловой Удыльской океанической островной дуги [12], к которой примешивался материал с размывавшейся континентальной окраины.

В отложениях *Кемского террейна* наряду с типичной островодужной вулканокластикой большую роль играет и сиалический материал континентального происхождения. Вероятно, область питания объединяла в себе окраинно-континентальную вулканическую дугу и поднятые блоки континентальной коры, служившие ее основанием. Источником обломочного материала была раннемеловая Монероно-Самаргинская островная дуга [6, 7], поставлявшая в ее тыловодужный бассейн вулканокластик и продукты разрушения метаморфических и кислых интрузивных пород, слагавших фундамент дуги, образованный выдвинутым в сторону океана фрагментом континентальной коры.

Таким образом, литохимические исследования терригенных пород позволяют, в совокупности с

другими геологическими данными, с большой степенью достоверности распознавать островодужных обстановок во фрагментах палеобассейнов, входящих в структуру древних орогенных поясов.

Островодужные обстановки устанавливаются по следующим литохимическим особенностям терригенных пород: 1) принадлежности их к типичным грауваккам (либо субграуваккам для отложений окраинно-континентальных дуг), что выражается, прежде всего, в низких содержаниях кремнекислоты, но высоких – глинозема и суммарного железа, а также в преобладании натрия над калием; 2) невысокому уровню зрелости, но высокой фемичности пород, отражающих высокую интенсивность и скорость механического выветривания и захоронения вещества, что связано с близостью его вулканических источников; 3) относительно низким значениям титанового модуля и модуля нормированной щелочности, обусловленным обилием в породах глинистого цемента, глинисто-алевритового матрикса и особенно обломков основных эффузивов, принадлежащих к низкотитанистым (но высокоглиноземистым) островодужным сериям. Вместе с тем, существующие вариации в литохимическом составе терригенных пород из различных островодужных комплексов отражают их формирование в самых разнообразных геодинамических обстановках: в пред- и задуговых бассейнах как океанических, так и окраинно-континентальных островных дуг. Кроме того, литохимия пород позволяет достаточно надежно распознавать влияние, оказываемое на островодужную седиментацию, континентальных источников сноса.

Исследования выполнены в рамках интеграционной программы ОНЗ РАН "Строение и формирование основных геологических структур подвижных поясов и платформ" (проект № 09-1-ОНЗ-01 и проекта № 09-III-A-08-404).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология юга Корякского нагорья. М.: Наука, 1987. 167 с.
2. Зябрев С.В., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. Юго-западный фрагмент Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, Сихотэ-Алинь: стратиграфия, субдукционная аккреция и постаккреционные смещения // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 45–58.
3. Коваленко Д.В. Палеомагнетизм геологических комплексов Камчатки и южной Корьякии. Тектоническая и геофизическая интерпретация. М.: Науч. мир, 2003. 256 с.
4. Малиновский А.И. Кайнозойская моласса юга Корякского нагорья. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.
5. Малиновский А.И., Филиппов А.Н., Голозубов В.В. и др. Нижнемеловые отложения бассейна р. Кема (Восточный Сихотэ-Алинь): осадочное выполнение задугового бассейна // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 52–66.
6. 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. № 5. С. 495–514.
7. Малиновский А.И., Голозубов В.В., Симаненко В.П., Митрохин А.Н. Кемский террейн (Восточный Сихотэ-Алинь) – фрагмент раннемеловой островодужной системы восточной окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 6. С. 38–59.
8. Малиновский А.И., Маркевич П.В. Тяжелые обломочные минералы островодужных комплексов Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 1. С. 81–93.
9. Маркевич П.В. Геосинклинальное терригенное осадконакопление на Востоке Азии в фанерозое (на примере Сихотэ-Алиня и Камчатки). М.: Наука, 1985. 118 с.
10. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Геосинклинальный литогенез на границе континент-океан. М.: Наука, 1987. 177 с.
11. Маркевич П.В., Зябрев С.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. Восточный фланг Киселевско-Маноминского террейна: фрагмент островной дуги в аккреционной призме (Северный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 2. С. 70–98.
12. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
13. Мигдисов А.А. О соотношении титана и алюминия в осадочных породах // Геохимия. 1960. № 2. С. 149–163.
14. Петтиджон Ф.Дж., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 535 с.
15. Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы. М.: Недра, 1981. 752 с.
16. Предовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего девона. Л.: Наука, 1980. 152 с.
17. Симаненко В.П., Малиновский А.И., Голозубов В.В. Раннемеловые базальты Кемского террейна – фрагмента Монероно-Самаргинской островодужной системы // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 2. С. 30–51.
18. Соколов С.Д. Аккреционная структура Пенжинского хребта (Северо-Восток России) // Геотектоника. 2003. № 5. С. 3–10.
19. Соловьев А.В., Палечек Т.Н., Палечек Р.М. Тектоностратиграфия северной части Олюторской зоны (Корякское нагорье, район бухты Анастасии) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6, № 4. С. 92–105.
20. Соловьев А.В., Палечек Т.Н., Леднева Г.В. Кампан-маастрихтские отложения фронтальной части Олюторской зоны (юг Корякского нагорья) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2000. Т. 8, № 2. С. 88–96.
21. 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.
22. Тучкова М.И., Маркевич П.В., Крылов К.А. и др. Минералого-петрографический состав и геодинамические условия накопления меловых отложений Пенжинской губы // Литология и полез. ископаемые. 2003. Т. 38, № 3. С. 197–208.
23. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Бялбжеский С.Г. Кратоны и орогенные пояса Востока России // Геодинамика, магма-

- тизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 93–229.
24. Чехович В.Д. Тектоника и геодинамика складчатого обрамления малых океанических бассейнов. М.: Наука, 1993. 272 с.
 25. Шапиро М.Н. Верхнемеловая Ачайваям-Валагинская вулканическая дуга и кинематика плит в северной части Тихого океана // Геотектоника. 1995. № 1. С. 52–64.
 26. Шутов В.Д. Минеральные парагенезисы граувакковых комплексов. М.: Наука, 1975. 112 с.
 27. Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.
 28. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
 29. Bhatia M.R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // Journ. Geology. 1983. V. 91, N 6. P. 611–627.
 30. 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 Scientific Publications, 1982. P. 551–561.
 31. Middleton G.V. Chemical composition of sandstones // Geological Society of American Bulletin. 1960. V. 71. P. 1011–1026.
 32. Moor B.R., Dennen W.H. A geochemical trend in silicon-aluminum-iron ratios and the classification of clastic sediments // The Journal of Sedimentary Petrology. 1970. V. 40, N 4. P. 1147–1152.
 33. Roser B.P., Korsch R.J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio // Journ. Geology. 1986. V. 94, N 5. P. 635–650.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

A.I. Malinovsky, M.I. Tuchkova

Lithochemistry of paleoisland arc complexes as a criterion of their recognition in the paleobasins of the Russian Far East orogenic belts

The lithochemical composition of terrigenous rocks from different-age and structurally contrasting paleobasins of the Russian Far East is considered. Generalization and geodynamic interpretation of the results obtained allowed us to establish the island-arc nature of these objects and to show the possibility of using lithochemistry together with other geological data for recognition of island-arc settings in the paleobasins of ancient orogenic belts.

Key words: chemical composition, terrain, complex, terrigenous rocks, geodynamic settings, island arc, Far East.