

ТЯЖЕЛЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ ОСТРОВОДУЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А.И. Малиновский, П.В. Маркевич

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

В статье обобщаются результаты изучения тяжелых обломочных минералов из мел-палеогеновых терригенных комплексов Сихотэ-Алиня и Камчатки, а также из кайнозойских осадков глубоководного желоба Вануату. Полученные данные интерпретировались на основе сравнения с ассоциациями тяжелых минералов в современных осадках, накопившихся в известных геодинамических обстановках. Показано, что тяжелые обломочные минералы осадочных пород, количественные соотношения между ними и микрохимический состав некоторых минералов служат индикаторами различных островодужных обстановок и присущих им магматических процессов, а также являются достаточно надежным критерием их идентификации в палеобассейнах орогенных областей.

Ключевые слова: тяжелые минералы, терригенные породы, ранний мел, террейн, островная дуга, геодинамические обстановки, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Авторами в течение продолжительного периода времени (1978–2005 гг.) изучались тяжелые обломочные минералы из терригенных пород различных по происхождению, в том числе островодужных, комплексов Российского Дальнего Востока, а также из осадков окраинных морей Тихого океана [3, 7, 9–14, и др.].

Островодужные обстановки в древних бассейнах обычно распознаются по ряду признаков: палеогеологическому положению, строению и составу слагающих их толщ, петрохимии вулканитов и терригенных отложений. Мы попытались определить эти обстановки только по тяжелым обломочным минералам из осадочных пород бассейнов, расположенных в различных геодинамических обстановках разного возраста. Анализ ассоциаций тяжелых минералов – испытанный метод определения питающих провинций обломочных пород [1, 26]. Исследованиями кайнозойских осадков современных океанов и окраинных морей установлено, что определенные ассоциации тяжелых минералов и количественные соотношения между ними могут служить надежными индикаторами различных тектонических и геодинамических обстановок и присущих им магматических процессов [16, 17, 25–29].

Полученные результаты используются как один из методических приемов палеотектонических рекон-

струкций, основанных на актуалистическом подходе. Особую роль этот подход играет при изучении фанерозойских вулканогенно-осадочных образований, входящих в состав террейнов, происхождение которых в достаточной мере не определено.

Наиболее благоприятными для таких реконструкций являются ряд известных на Дальнем Востоке террейнов, формирование которых связано с вулканическими островными дугами: как энсиматическими, так и энсиалическими. Островодужная природа этих террейнов установлена, главным образом, на основании исследований вулканитов. В предлагаемой публикации нами предпринята попытка показать островодужную природу этих террейнов на основании актуалистической интерпретации результатов изучения тяжелых обломочных минералов из осадочных пород. Несомненно, одних только данных по тяжелым минералам недостаточно для всеобъемлющей идентификации островодужных обстановок, но наряду с другими сведениями, они могут быть использованы как достаточно надежный аргумент.

Таким образом, предлагаемая публикация направлена на подтверждение имеющейся гипотезы о соответствии определенному типу островодужной обстановки определенного “набора” и количественного соотношения тяжелых обломочных минералов из осадочных пород, что позволяет выработать определенные критерии распознавания островодужных обстановок в геологическом прошлом.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящее исследование основано на результатах изучения тяжелых обломочных минералов из осадочных пород разновозрастных островодужных комплексов Российского Дальнего Востока и юго-западной Пацифики. Объектами изучения были эоцено-четвертичные нелитифицированные осадки глубоководного желоба Вануату, песчано-алевритовые породы из раннемеловых и раннемеловых-кайнозойских отложений Олюторского террейна Восточной Камчатки, а также Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов (Удильского фрагмента) Сихотэ-Алиня (рис. 1).

Материал, использованный в этой работе, был собран авторами из естественных обнажений в ходе полевых исследований в 1978–2002 гг. Рыхлые осадки глубоководного желоба Вануату отбирались в 13 рейсе НИС “Академик А. Несмеянов” (1988 г.) по исследовательским профилям с помощью гидростати-

ческого и гравитационного пробоотборников, дночерпателя, а также при драгировании.

Тяжелые минералы песчано-алевритовых пород извлекались с помощью тяжелой жидкости после дробления проб до 0,25 мм, отмучивания в дистиллированной воде и выделения фракции 0,01–0,25 мм. Минеральный состав тяжелой фракции определялся и подсчитывался в проходящем и поляризованном свете под микроскопом с помощью иммерсионных жидкостей. При количественных определениях в подсчет включалось не менее 200 зерен тяжелых минералов. Химический состав тяжелых минералов определен на рентгеновском микроанализаторе JXA-5A. При интерпретации процентного соотношения и химического состава тяжелых минералов применялась оригинальная методика, позволяющая распознавать в геологическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок, а также реконструировать различные типы островодужных обстановок [3, 9, 14–17,

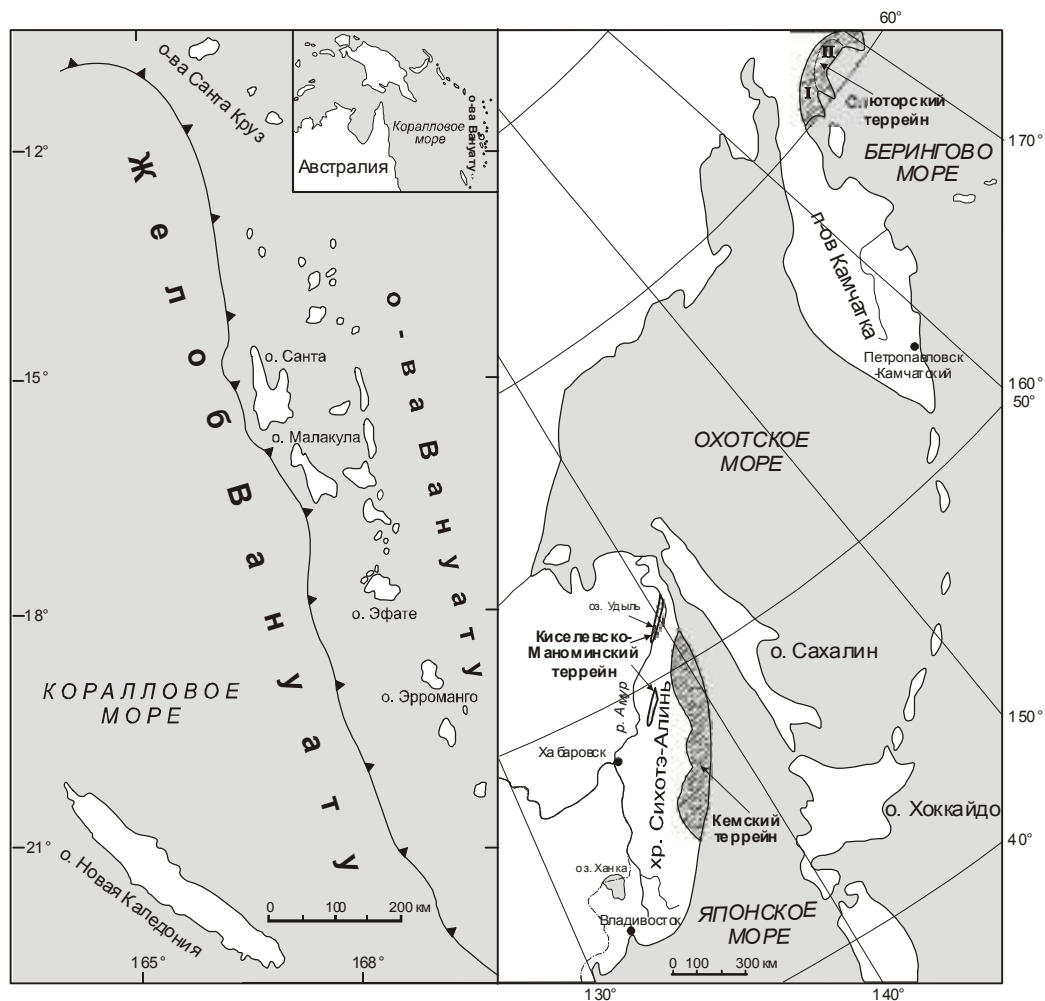


Рис. 1. Схема расположение изученных объектов.

Минералогические провинции Олюторского террейна: I – Северная, II – Южная.

28, 29 и др.]. Все анализы выполнены в лабораториях ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток).

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ

Глубоководный желоб Вануату расположен в юго-западной части Тихого океана вдоль западного склона вулканической островной дуги Вануату [3, 31]. Желоб имеет длину около 1600 км, ширину по изобате 5500 м в среднем около 40 км и максимальную глубину 9174 м. Желоб характеризуется очень сложным рельефом: он состоит из цепочки впадин глубиной до 7000–9000 м, разделенных перемычками глубиной 5500–6000 м.

В желобе исследованы осадки от среднего эоцена до плейстоцена–голоцена (рис. 2). По данным биостратиграфических исследований выделяется четыре стратиграфических уровня: средний-верхний эоцен, верхний миоцен–нижний плиоцен, верхний плиоцен и плейстоцен–голоцен [3]. Осадки представлены слабо литифицированными пелитами, алевритами и псаммитами, содержащими примесь пирокластического материала, а также раковины фораминифер и нанопланктона.

Отсутствие олигоцен–среднемиоценовых отложений в желобе, по-видимому, отражает региональный перерыв осадконакопления в Австрало-Новозеландском регионе, вызванный тектонической активностью и изменением водной циркуляции [3].

Киселевско-Маноминский террейн альб-сеноманской аккреционной призмы расположен в Нижнем Приамурье, протягиваясь прерывистой полосой шириной 20–40 км в северо-восточном направлении вдоль левого и правого 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, аргиллитами и турбидитами [4, 13, 14] (рис. 2). Готерив-сеноманские вулканогенно-осадочные островодужные образования обнаружены на северо-восточном фланге террейна в районе оз. Удыль. Они накапливались в различных фациальных обстановках пред- и задуговых бассейнов, связанных с раннемеловой эпиконтинентальной островодужной системой. Отложения разделены на следующие структурно-вещественные комплексы [13, 14].

Кремнистый комплекс представляет собой фрагмент океанического основания дуги. Он сложен пелагическими радиоляриевыми яшмами и кремнями, их глинистыми разностями, реже щелочными базальтами и известняками. *Вулканогенно-осадочный комплекс* состоит из переслаивающихся туфов, тефроидов,

вулканомиктовых песчаников, турбидитов, микститов, туфосилицитов, глинистых и глинисто-кремнистых пород, редко базальтов. *Граувакковый комплекс* сложен в основном песчаниками и глинистыми породами, содержащими горизонты туфов и разнообразных гравитационных образований: микститов, турбидитов и конгуритов.

Олюторский террейн расположен в южной части Корякского нагорья, протягиваясь на восток-северо-восток вдоль побережья Берингова моря на 500 км. Террейн входит в состав мезозойско-кайнозойского Сахалино-Камчатского орогенного пояса и с севера отделен от Корякского орогенного пояса Ватынским надвигом [2]. В геологическом разрезе террейна совмещены раннемеловые–неогеновые океанические и островодужные структурно-вещественные комплексы, слагающие крупные аллохтонные пластины [21], формировавшиеся в различных фациальных обстановках и, вероятно, на значительном удалении от современной позиции. Выделяются следующие комплексы [2, 5, 7, 12, 19, 20] (рис. 2).

Вулканогенно-кремнистый комплекс состоит из базальтов, гиалокластитов, лавобрекчий, яшм, кремней и их глинистых разностей. 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, прерываемыми горизонтами алевролитов, песчаников, гравелитов, туфов и микститов. *Молассовый комплекс* состоит из песчаников, алевролитов, гравелитов, конгломератов, глинистых пород, туфов и углей.

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-Сихотэалинского 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 эпиконтинентальной Монероно-Самаргинской островодужной системы [8–10]. Отложения террейна подразделяются на следующие структурно-вещественные комплексы.

Нижний турбидитовый комплекс сложен пачками турбидитов, прерываемыми горизонтами алевролитов, песчаников, гравелитов и подводноо-

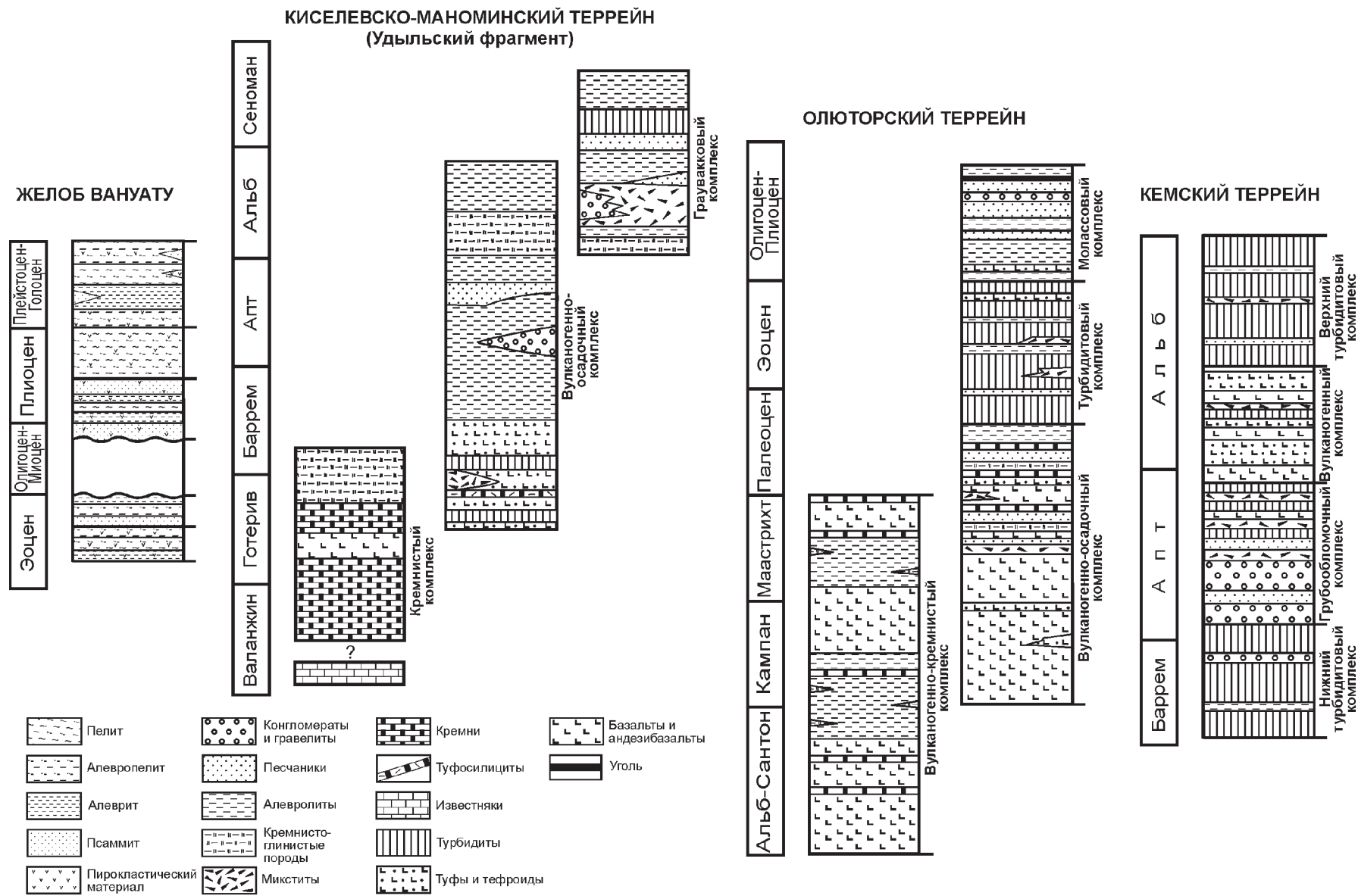


Рис. 2. Сводные литолого-стратиграфические колонки островодужных образований изученных объектов.

ползневых образований. *Грубообломочный комплекс* состоит из мелкогалечных конгломератов, гравелистов, песчаников, микститов, редких пачек турбидитов, горизонтов подводнооползневых образований и туфов, единичных потоков базальтов. *Вулканоогенный комплекс* представлен в основном базальтами, их туфами и тефроидами. Редко встречаются вулканические песчаники, пачки турбидитов, горизонты подводнооползневых образований и микститов. *Верхний турбидитовый комплекс* состоит из мощных пачек турбидитов, с редкими слоями песчаников, алевролитов, микститов и подводнооползневых образований.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ОБЛОМОЧНЫХ МИНЕРАЛОВ

На рис. 3 показано соотношение тяжелых обломочных минералов в осадках изученных нами объектов. Средние данные сгруппированы в соответствии с выделенными структурно-вещественными комплексами. Все тяжелые минералы, с известной долей условности, можно разделить на две минералогические ассоциации. В первую, фемическую (вулканическую), входят типичные представители островодужной вулканокластике: орто- и клинопироксены, роговая обманка, хромит, магнетит, эпидот и оливин. Во вторую, сиалическую (гранитно-метаморфическую), ассоциацию входят циркон, гранат, турмалин, эпидот, апатит, сфен, рутил, анатаз, ильменит, лейкоксен, флюорит, везувиан и корунд.

Глубоководный желоб Вануату мы рассматриваем как эталонный объект, поскольку он непосредственно примыкает к островной дуге, а в его осадках присутствуют практически только минералы фемической (вулканической) ассоциации.

По набору основных минералов среднеэоценовые–голоценовые глубоководные осадки жёлоба характеризуются большой однородностью и постоянством [3]. Поскольку, желоб все это время питался главным образом продуктами синседиментационного вулканизма и последующего размыва вулканической дуги, это выразилось в резком преобладании (до 100% общего количества) минералов островодужной вулканокластике – клинопироксенов (30–92%), ортопироксенов (2–43%), магнетита (10–62%), роговой обманки (0,1–17%) и оливина (до 10%). Сиалические минералы представлены только цирконом, сфеном, апатитом, рутилом, ильменитом, лейкоксеном и корундом, которых в сумме составляют не более 2,5% от общего количества тяжелых минералов, что свидетельствует об отсутствии в регионе крупных источников в сиалического материала.

В *Удыльском фрагменте Киселевско-Маноминского террейна* содержания тяжелых минералов в различных комплексах существенно различаются [14]. В *кремнистом комплексе* преобладает зеленый клинопироксен (до 79%). С ним ассоциируют другие типичные представители островодужной вулканокластике – ортопироксен (до 5%), роговая обманка (до 25%) и магнетит (до 2%). Гораздо меньше обычных компонентов гранитно-метаморфических пород – циркона (до 9%), граната (до 4%), сфена (до 10%) и апатита (до 5%). Нижняя часть *вулканоогенно-осадочного комплекса* отличается наиболее примитивным набором тяжелых минералов – она почти полностью сложена клинопироксеном (71–96%), магнетитом (до 36%), роговой обманкой (до 5%) и ортопироксеном (до 2%). В верхней его части к этим вулканоогенным минералам примешивается заметное количество эпидота (до 43%), граната (до 23%), хромита (до 16%), циркона (до 12%), апатита (до 6%), сфена (до 7%) и рутила (до 1%). В различных частях *грауваккового комплекса* соотношения между тяжелыми минералами значительно варьируют. В одних случаях породы обогащены пироксенами (до 56%), амфиболами (до 22%) и эпидотом (до 12%) при низких содержаниях хромита (до 7%), в других – в них высоки содержания хромита (50–94%) в ассоциации с пироксеном (до 37%), и, наконец, в третьих – содержат относительно много циркона (до 40%) и граната (до 22%), сфена (до 11%) и апатита (до 7%).

В *Олюторском террейне* по тяжелым минералам выделяются две минералогические провинции [6, 7, 12]. В *Северной провинции* преобладают минералы островодужной вулканокластике, составляющие до 90% всех тяжелых минералов. Главная роль среди них принадлежит зеленому клинопироксену (до 100%), меньше магнетита (до 55%), роговой обманки (до 30%) и ортопироксена (до 7%). В *Южной провинции* роль фемической островодужной ассоциации по-прежнему велика. В ней также доминирует клинопироксен, хотя его существенно меньше (в среднем до 50% и лишь в отдельных пробах до 80%). Довольно высоки содержания магнетита (10–35%), хромита (6–14%), содержания роговой обманки и ортопироксена снижаются до 3–5%. В то же время, в этой провинции значительно больше сиалических минералов – циркона (в среднем до 20%), апатита (до 15%), граната (до 10%), рутила (до 5%), сфена (до 3%) и турмалина (до 3%). Кроме того, здесь встречаются турмалин, сфен, корунд, везувиан, анатаз, ортит, брукит, силлиманит, ставролит, андалузит, дистен и флюорит, которых в Северной провинции нет.

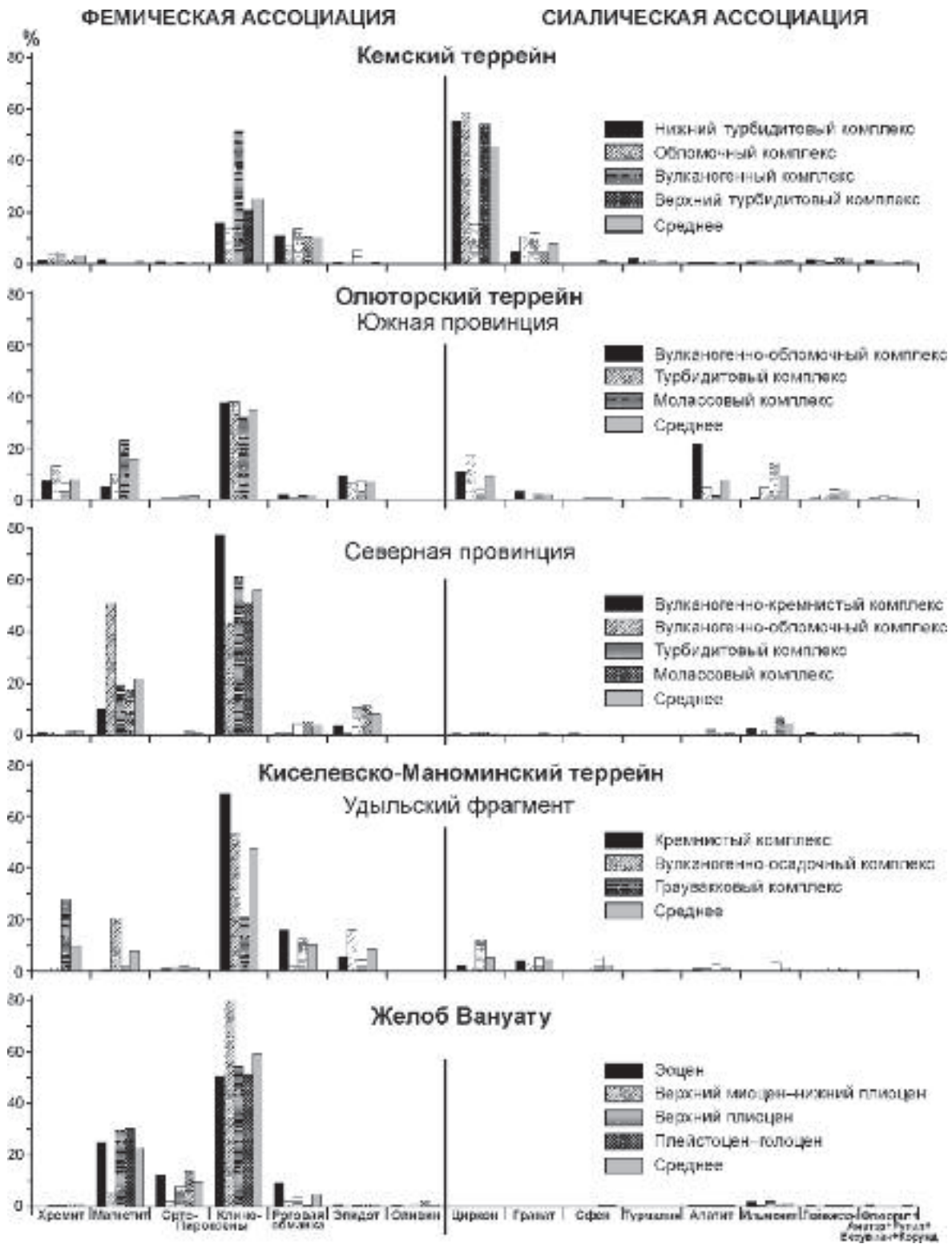


Рис. 3. Распределение тяжелых обломочных минералов в осадочных породах изученных объектов.

В *Кемском террейне* содержания и пропорции между отдельными минералами в различных комплексах широко варьируют [9, 10, 15]. Минералов фемической ассоциации больше всего в отложениях вулканогенного комплекса – до 99% всех тяжелых минералов. В основном преобладает клинопироксен (до 98%), меньше роговой обманки (до 44%), ортопироксена (до 16%), эпидота (до 11%) и хромита (до 5%). В других комплексах террейна минералов этой ассоциации значительно меньше – в сумме в среднем от 32 до 40%. Содержание клинопироксена в них не превышает 60%, роговой обманки – 30%, ортопироксена – 5% и эпидота – 7%. Основной же минералогической ассоциацией этих комплексов является сиалическая (в среднем до 70% всех тяжелых минералов), куда входят доминирующий циркон (до 96% в отдельных пробах), гранат (до 70%), апатит (до 7%), турмалин (до 19%), рутил (до 4%), сфен (до 3%), а также везувиан, анатаз и корунд, в сумме достигающие 3%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Имеющиеся минералогические данные интерпретировались на основе актуалистического подхода и результатов изучения современных осадков [16, 27–29 и др.]. В.П. Нечаев выделил ряд минералов-индикаторов, различные соотношения которых дают возможность различать материал различного, в том числе и островодужного, происхождения, среди которого, в свою очередь, образовавшийся при разрушении дуг с энсиалическим либо энсиматическим основанием.

Наличие либо отсутствие, а также взаимодействие континентальной и океанической земной коры в регионе надежно определяется показателем MF-MT-GM (рис. 4).

Индикатором, позволяющим различать тектонические обстановки на конвергентных окраинах плит (островные дуги, активные континентальные окраины и глубоководные впадины внутри океана и в окраинных морях) является соотношение $S_{rx}-O_{rx}-H_b$, где главная роль принадлежит роговой обманке (рис. 4).

Анализ ассоциаций тяжелых минералов из терригенных пород изученных регионов на диаграммах MF-MT-GM и $S_{rx}-H_b-O_{rx}$ позволяет сделать следующие выводы.

В осадках *глубоководного желоба Вануату* преобладают обычные фемические минералы вулканических пород (компонент MF на диаграмме MF-MT-GM), к которым примешивается крайне незначительное количество континентального сиалического материала. Положение точек на диаграммах (рис. 4) свидетельствует о накоплении осадков под прямым

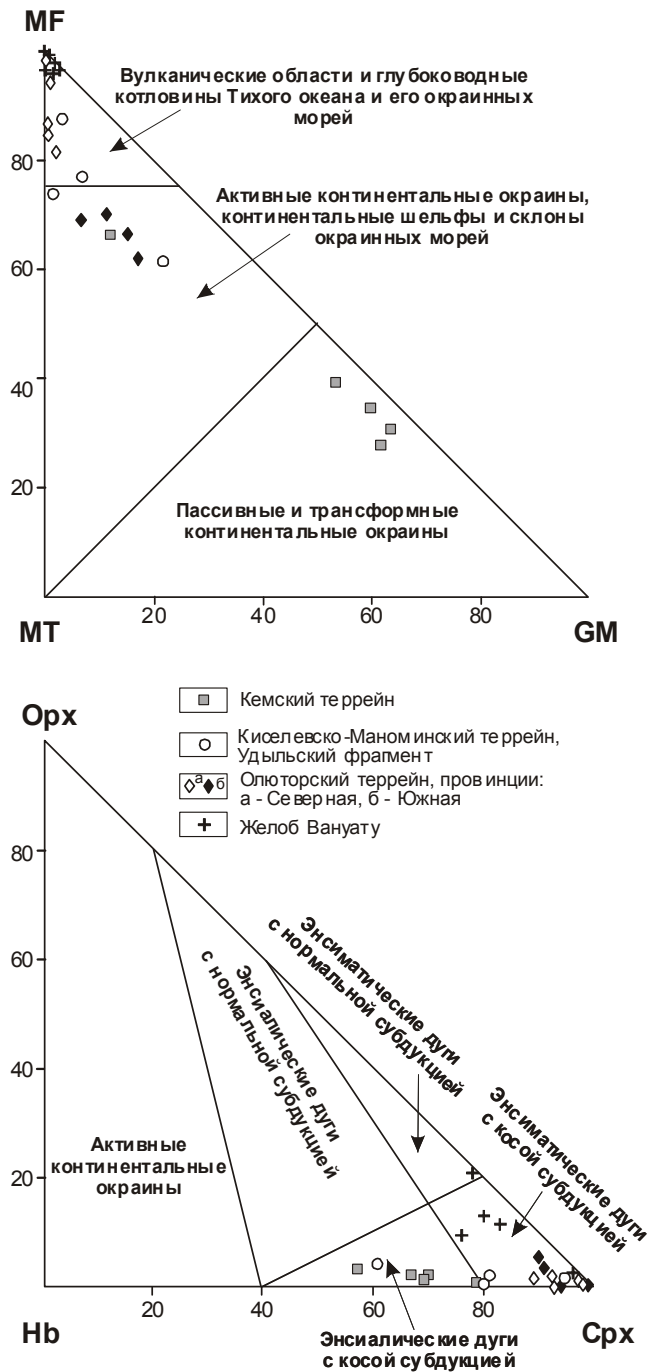


Рис. 4. Сравнение соотношения тяжелых обломочных минералов из песчано-алевритовых пород изученных объектов и из современных осадков различных геодинамических обстановок [14, 17, 28].

Суммы содержаний: **MF** – оливина, орто- и клинопироксенов, зеленой роговой обманки; **MT** – эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; **GM** – циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. **Orx** – ортопироксен, **Hb** – роговая обманка, **Srx** – клинопироксен.

влиянием энсиматической вулканической островной дуги Вануату [24]. При этом, низкие содержания ортопироксена и роговой обманки (диаграмма Сrx-Нв-Орх) свидетельствуют об острых углах конвергенции плит.

Тип вулканического источника питания можно определить по химическому составу некоторых тяжелых обломочных минералов: орто- и клинопироксенов, роговой обманки, хромита и граната, из которых наиболее информативен клинопироксен. По составу клинопироксены из осадков желоба Вануату соответствуют диопсиду, авгиту и, в меньшей степени, салиту (рис. 5, А). Их происхождение определяется на диаграммах, позволяющих с вероятностью более 80% различать пироксены базальтов из различных геодинамических обстановок. На диаграмме Е. Нисбета и Дж. Пирса [30] (рис. 5, Б) большинство клинопироксенов соответствуют клинопироксенам базальтов островных вулканических дуг и, частично, клинопироксенам базальтов океанического дна, вероятно входящих в состав основания островной дуги. На диаграм-

ме 1 [25] (рис. 6) все клинопироксены группируются вблизи линии, разграничивающей клинопироксены из щелочных внутриконтинентальных базальтов и базальтов океанических островов от всех других нещелочных базальтов. Многие из них формально принадлежат щелочным базальтам, но довольно низкие содержания титана и натрия не позволяют уверенно относить их к этой группе пород. На диаграмме 2, разделяющей нещелочные базальты на базальты MORB и известково-щелочные и толеитовые базальты окраинно-континентальных и островных дуг, все клинопироксены островодужные. Наконец, на диаграмме 3, разграничивающей клинопироксены островодужных известково-щелочных и толеитовых базальтов, видно, что источником исследуемых пироксенов были как известково-щелочные, так и толеитовые базальты дуги. Островодужный характер роговых обманок демонстрируется на диаграмме 10Ti-Al-Fe [27] (рис. 7, Б), где они, благодаря низким суммарным содержаниям хрома и титана, близки амфиболам из основных и средних вулканитов островных дуг.

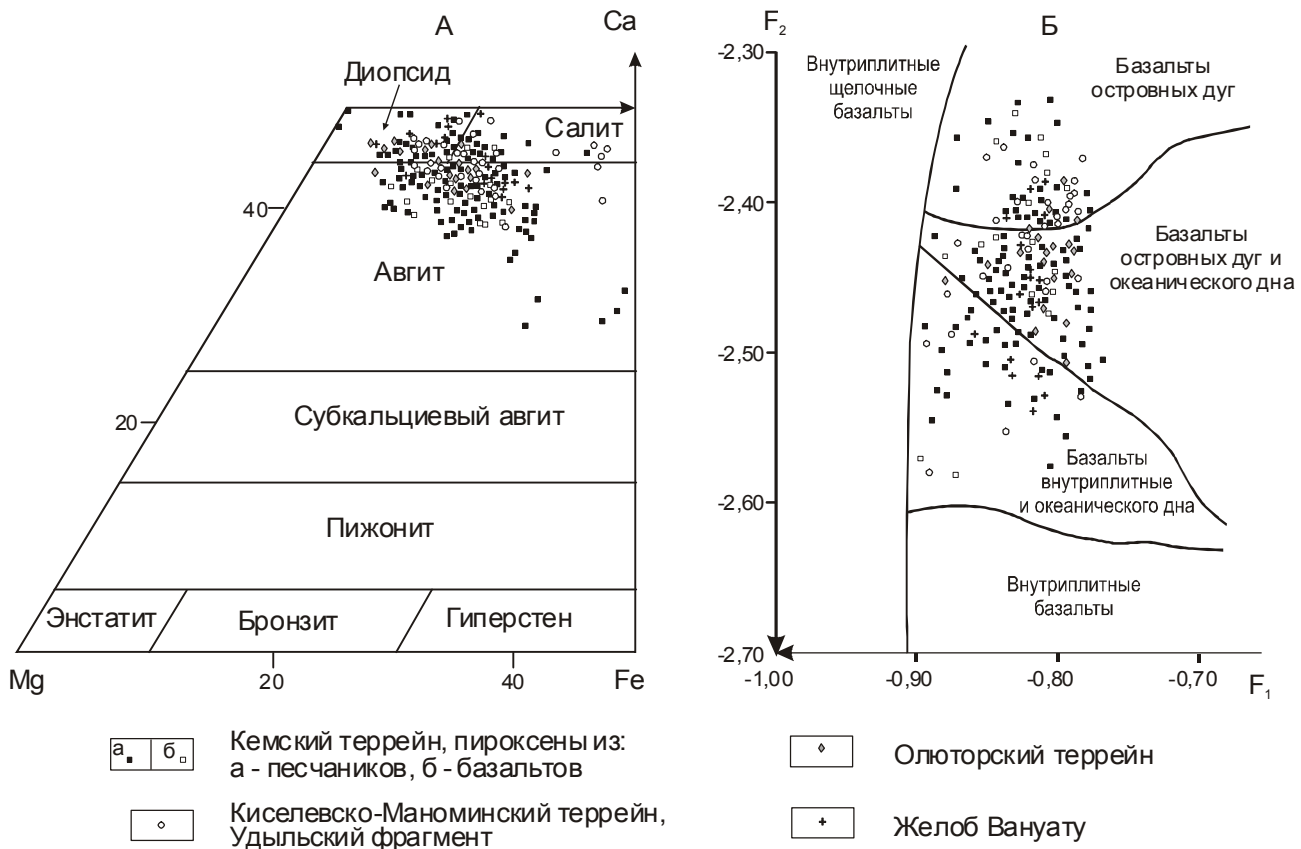


Рис. 5. А – диаграмма составов обломочных клинопироксенов. Б – дискриминационная диаграмма для клинопироксенов из базальтов различных тектонических обстановок [30].

$$F_1 = -0.012 \times \text{SiO}_2 - 0.0807 \times \text{TiO}_2 + 0.0026 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0012 \times \text{FeO} - 0.0026 \times \text{MnO} + 0.0087 \times \text{MgO} - 0.0128 \times \text{CaO} - 0.0419 \times \text{Na}_2\text{O};$$

$$F_2 = -0.0496 \times \text{SiO}_2 - 0.0818 \times \text{TiO}_2 - 0.02126 \times \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.0041 \times \text{FeO} - 0.1435 \times \text{MnO} - 0.0029 \times \text{MgO} - 0.0085 \times \text{CaO} + 0.0160 \times \text{Na}_2\text{O}.$$

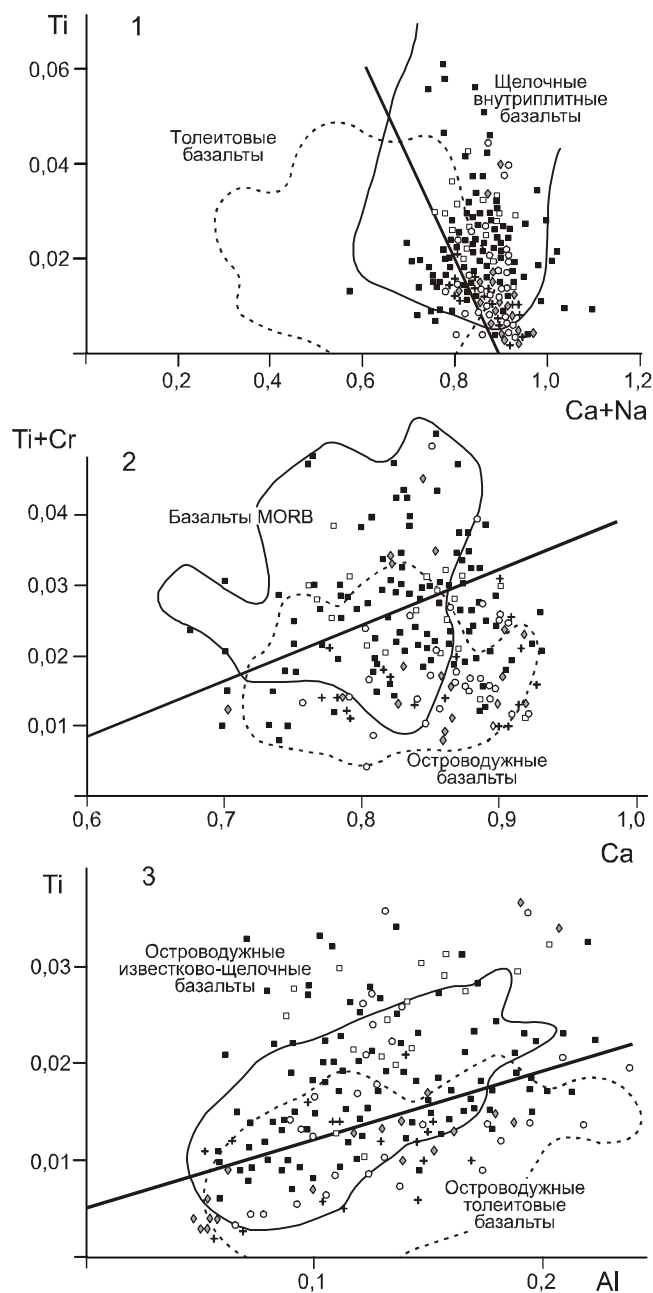


Рис. 6. Дискриминационные диаграммы для клинопироксенов из базальтов различных тектонических обстановок [25].

Поля составов клинопироксенов из различных базальтов показаны соответственно сплошной и пунктирной линиями. Элементы даны в формульных единицах.

Условные обозначения см. на рис. 5.

Таким образом, основным источником тяжелых обломочных минералов среднеэоценовых–голоценовых осадков глубоководного желоба Вануату были известково-щелочные и толейтовые базальты одноименной эпиокеанической островной дуги. Осадки накапливались, очевидно, вне зоны какого-либо за-

метного влияния континентального источника сноса, что выразилось в крайне незначительном содержании в них сиалических минералов.

Анализ ассоциаций тяжелых минералов из *Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна* позволяет предполагать несколько источников питания.

Преобладание в кремнистом и вулканогенно-осадочном комплексе примитивной ассоциации тяжелых минералов (компонент MF на диаграмме MF-MT-GM, рис. 4), среди которых главенствует клинопироксен, характерно для островодужной вулканокластике на конвергентных окраинах с острыми углами схождения плит (диаграмма Сrx-Hb-Orx) и указывает на прямое влияние энсиматической дуги типа Идзу-Бонинской [14, 17, 29]. При этом, сочетание компонентов MF-MT-GM в кремнистом комплексе наиболее характерно для глубоководных впадин окраинных морей Тихого океана, где основной источник обломочного вещества – островодужная вулканокластике, к которой примешивался материал с континентальной окраины. Вулканогенно-осадочный комплекс рассматривается как кластический шлейф дуги – фрагмент задугового (тылового) прогиба, располагавшегося в непосредственной близости к дуге. Присутствие в верхней части комплекса заметного количества сиалических минералов свидетельствует, что на этом отрезке времени дуга находилась достаточно близко к континентальной окраине.

В граувакковом комплексе соотношения MF-MT-GM и Сrx-Hb-Orx (рис. 4) соответствуют вулканической дуге и (или) активной континентальной окраине при малых углах конвергенции плит, на что указывают низкие содержания ортопироксена. Анализ составов клинопироксенов и хромитов свидетельствует о преимущественно островодужной природе терригенного материала (рис. 5; 6; 7, А). Вместе с тем, часть хромитов происходит из офиолитов океанической земной коры, вероятно входивших в состав аккреционной призмы рассматриваемой дуги. Присутствие, иногда в значительных количествах, в отложениях комплекса минералов сиалической ассоциации свидетельствует о заметном влиянии на его формирование сиалического (континентального) источника. Обломочные гранаты этого источника (рис. 7, В) по составу относятся к альмандину и происходят, скорее всего, из размывавшихся метаморфических пород амфиболитовой и даже эклогитовой фаций, хотя кислые интрузивные породы также не исключаются [32].

Таким образом, область питания Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна была гетерогенной. Основным источником обломочного

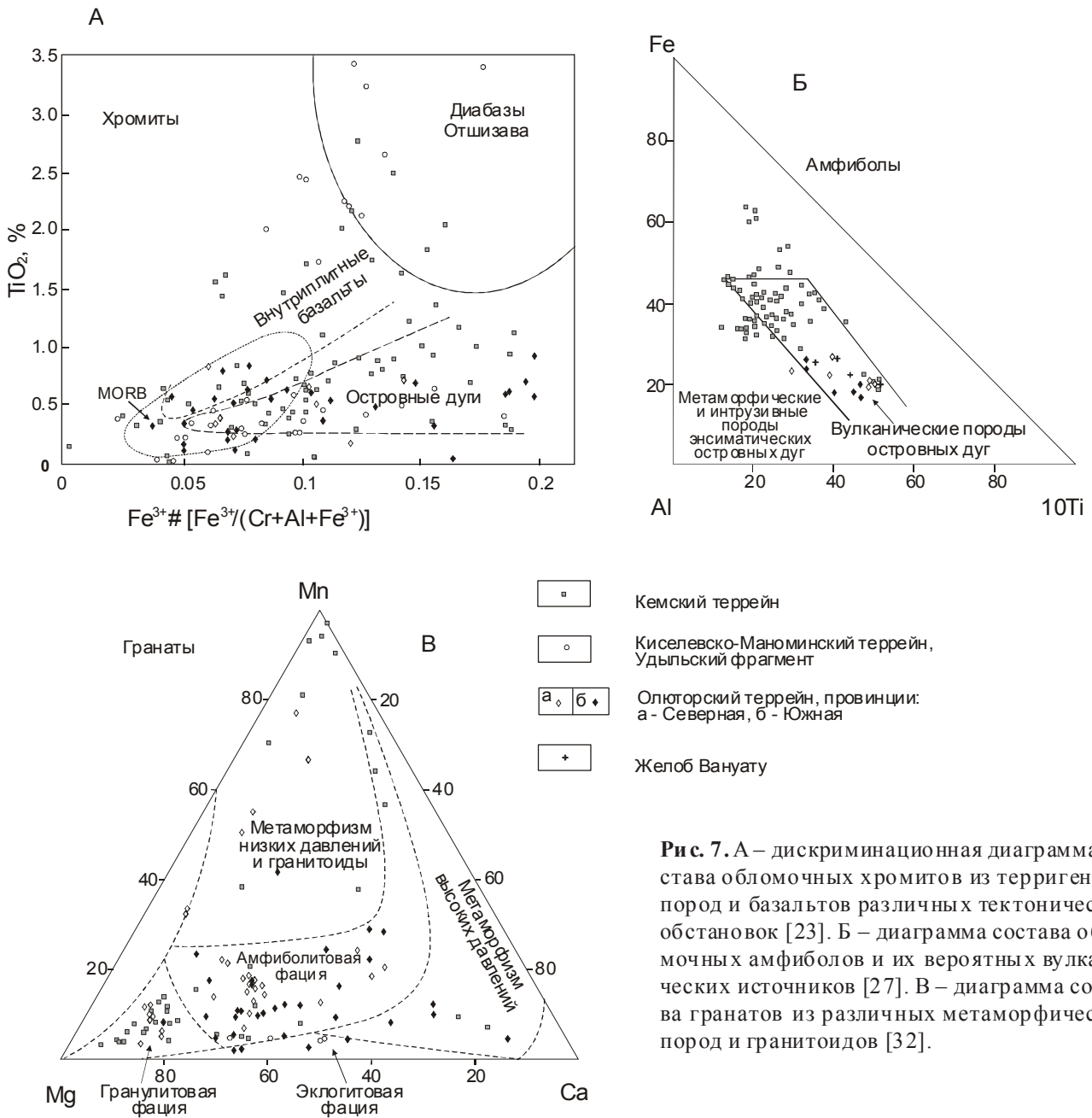


Рис. 7. А – дискриминационная диаграмма состава обломочных хромитов из терригенных пород и базальтов различных тектонических обстановок [23]. Б – диаграмма состава обломочных амфиболов и их вероятных вулканических источников [27]. В – диаграмма состава гранатов из различных метаморфических пород и гранитоидов [32].

вещества была вулканокластик, поступающая с меловой энзиматической Удыльской островной дуги, к которой примешивался материал с размывавшейся континентальной окраины и офиолитовых комплексов.

В **Олюторском терреине** господствует фемическая ассоциация тяжелых минералов (компонент MF на рис. 4), роль которой особенно велика в *Северной провинции*. Анализ положения точек на диаграммах MF-MT-GM и Srх-Nb-Orх свидетельствует, что отложения формировались под непосредственным влиянием энзиматической островной дуги с косой субдукцией (низкие содержания ортопироксена и

роговой обманки). При этом, вулканогенно-кремнистый комплекс вероятно накопился в обстановке, соответствующей глубоководным впадинам окраинных морей Тихого океана, где основным источником обломочного вещества была островодужная вулканокластик. Островодужная природа этого источника хорошо подтверждается микрохимическим составом обломочных клинопироксенов, роговых обманок и хромитов, а также их близостью составу тяжелых минералов из осадков желоба Вануату, источником которых была энзиматическая островная дуга (рис. 5; 6; 7, А, Б). Присутствие среди тяжелых минералов

всех комплексов Южной провинции довольно значительного количества минералов сиалической ассоциации (компонент GM) позволяет предполагать также существование и сиалического (континентального) источника обломочного материала, оказывавшего на седиментацию постоянное влияние. Обломочные гранаты этого источника по составу относятся к альмандину (Al_2O_3 – 19,49–22,36%, $FeO+Fe_2O_3$ – 22,10–37,27%) и соответствуют амфиболитовой, гранулитовой и даже эклогитовой фациям метаморфизма (рис. 7, В), что свидетельствует о значительных глубинах и температуре их образования. Этим источником могли быть блоки зрелой континентальной земной коры, в строении которых участвовали глубоко метаморфизованные породы и, вероятно, гранитоиды.

Таким образом, набор и количественные соотношения тяжелых обломочных минералов, а также их микрохимический состав указывают на два типа источников питания бассейнов Олюторского террейна. Доминирующим источником, поставлявшим обломочный материал в бассейны обеих провинций террейна, была разрушавшаяся мел-палеогеновая Ачай-ваямская энсиматическая островная вулканическая дуга [22], а также синседиментационные вулканические процессы. Одновременно с этим источником существовал и другой – внебассейновый сиалический, игравший значительно меньшую роль, но при этом оказывавший заметное влияние на седиментацию в Южной провинции. Судя по большому разнообразию в тяжелой фракции этой провинции типичных гранитно-метаморфических минералов, источником их были блоки континентальной коры, располагавшиеся к югу от Олюторского террейна, возможно на месте современного Берингова моря.

В терригенных отложениях *Кемского террейна* сосуществуют две ассоциации тяжелых минералов – вулканическая и сиалическая. Анализ этих ассоциаций на диаграммах MF-MT-GM и $Sr_x-Nb-Or_x$ (рис. 4) показывает, что их источником могла быть энсиалическая дуга и (или) активная континентальная окраина при малом угле конвергенции плит, на что указывают низкие содержания ортопироксена и роговой обманки. Островодужный характер источника устанавливается микрохимическим составом обломочных клинопироксенов, хромитов и роговых обманок (рис. 5; 6; 7, А, Б). В частности, клинопироксены, образующие на всех диаграммах единое поле, полностью соответствуют клинопироксенам из кемских базальтов, относящихся к высококальциевой известково-щелочной серии, характерной для тыловых частей островных дуг [18]. Источником минералов сиалической ассоциации, вероятно, был размывав-

шийся фундамент островной дуги, образованный выдвинутым в сторону океана фрагментом континентальной коры. Судя по микрохимическому составу обломочных гранатов (рис. 7, В), относящихся, главным образом, к альмандину и лишь изредка содержащих гроссуляровый либо спессартиновый компонент, в его строении участвовали метаморфические породы гранулитовой и амфиболитовой фаций, а также кислые интрузивные породы.

Таким образом, особенности состава и количественные соотношения тяжелых минералов Кемского террейна показывают, что источником обломочного материала была раннемеловая энсиалическая Монероно-Самаргинская островная дуга [8–10], поставившая в ее тыловодужный бассейн две контрастные ассоциации тяжелых минералов. Фемическая (вулканическая) ассоциация формировалась за счет островодужной вулканокластике и синхронных вулканических процессов, а сиалическая – продуктов разрушения метаморфических и кислых интрузивных пород, слагавших фундамент дуги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены ассоциации и микрохимический состав тяжелых обломочных минералов из различных мел-палеогеновых терригенных комплексов Сихотэ-Алиня и Камчатки, а также из кайнозойских осадков глубоководного желоба Вануату. Обобщение полученных результатов позволило показать островодужную природу этих объектов.

Все тяжелые минералы изученных объектов разделяются на две минералогические ассоциации: фемическую (вулканическую), куда входят типичные представители островодужной вулканокластике, и сиалическую, являющуюся продуктом размыва гранитно-метаморфических комплексов. Анализ ассоциаций тяжелых минералов и их микрохимического состава позволил установить следующие особенности.

В осадках глубоководного желоба Вануату, рассматриваемого нами как объект с эталонной островодужной седиментацией, резко преобладает фемическая (вулканическая) ассоциация, источником которой были продукты синседиментационного вулканизма и размывавшиеся известково-щелочные и толеитовые базальты эпокеанической островной дуги Вануату. Каких-либо крупных источников сиалического материала в регионе не было.

Для Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна устанавливается гетерогенная область питания. Основным источником обломочного вещества была вулканокластике, поступавшая с меловой энсиматической Удыльской островной дуги, к ко-

торой примешивался материал с размывавшейся континентальной окраины и офиолитовых комплексов.

В Олюторском террейне выделяются две минералогические провинции, которые питались из контрастных источников. Доминирующим источником, поставившим обломочный материал в бассейны обеих провинции, была разрушавшаяся мел-палеогеновая энсиматическая Ачайваямская островная дуга, а также синседиментационные вулканические сооружения. Одновременно с ними существовал и другой внебассейновый сиалический источник, оказывавший значительно меньшее, но заметное влияние на седиментацию в Южной провинции. Этим источником были блоки континентальной коры, располагавшиеся к югу от Олюторского террейна на месте современного Берингова моря.

В отложениях Кемского террейна наряду с типичными островодужными большую роль играют и минералы сиалической ассоциации. Источником обломочного материала были раннемеловая энсиалическая Монероно-Самаргинская островная дуга, поставившая в ее тыловодужный бассейн вулканокластику и продукты синседиментационного вулканизма, а также размывавшийся фундамент этой дуги, образованный выдвинутым в сторону океана фрагментом континентальной коры.

Таким образом, тяжелые обломочные минералы осадочных пород, количественные соотношения между ними и микрохимический состав некоторых минералов служат индикаторами различных островодужных обстановок и присущих им магматических процессов, а также являются критерием их идентификации в палеобассейнах орогенных областей.

Кроме того, следует отметить, что Западная Палеопацифика в мел-палеогеновое время изобиливала, возможно даже в большей степени, чем в настоящее время, сложными построенными энсиматическими и энсиалическими дугами, микроконтинентами и океаническими поднятиями, что указывает на сложный характер конвергентной границы литосферных плит, существовавшей на восточной окраине Азии.

Авторы признательны сотрудникам ДВГИ ДВО РАН В.И. Тихоновой, П.Д. Гасановой, Н.И. Екимовой и И.В. Смирновой за пробоподготовку, минералогические и микроразнообразные анализы, выполненные ими на высоком профессиональном уровне.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-05-96081) и ДВО РАН (проект № 06-III-A-08-317).

ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.: Изд-во АН СССР. 1947. 339 с.
2. Геология юга Корякского нагорья. М.: Наука, 1987. 167 с.
3. Геолого-геофизические исследования в Новогрибском регионе. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. 267 с.
4. Зябров С.В., Мартынюк М.В., Шевелев Е.К. Юго-западный фрагмент Киселевско-Маноминского аккреционного комплекса, Сихотэ-Алинь: стратиграфия, субдукционная аккреция и постааккреционные смещения // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 45–58.
5. Коваленко Д.В. Палеомагнетизм геологических комплексов Камчатки и южной Кореи. Тектоническая и геофизическая интерпретация. М.: Науч. мир, 2003. 256 с.
6. Малиновский А.И., Тихонова В. И., Трушкова Н.В. О двух типах источников сноса при формировании Олюторского прогиба Восточной Камчатки // Тихоокеан. геология. 1989. № 3. С. 82–88.
7. Малиновский А.И. Кайнозойская моласса юга Корякского нагорья. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Маркевич П.В., Чудаев О.В. Состав песчаников флиша Сихотэ-Алиня и Камчатки и палеотектонические условия его образования // Докл АН СССР. 1979. Т. 246, № 2. С. 428–431.
12. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др. Геосинклиальный литогенез на границе континент–океан. М.: Наука, 1987. 177 с.
13. Маркевич П.В., Зябров С.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. Восточный фланг Киселевско-Маноминского террейна: фрагмент островной дуги в аккреционной призм (Северный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 2. С. 70–98.
14. Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И., и др. Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
15. Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н. Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 283 с.
16. Нечаев В.П., Деркачев А.Н. Особенности осадконакопления // Тихоокеанская окраина Азии. Геология. М.: Наука, 1989. С. 50–66.
17. Нечаев В.П., Маркевич П.В., Малиновский А.И. и др. Геодинамические обстановки накопления меловых отложений Нижнего Приамурья по ассоциациям тяжелых мине-

- ралов // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 3. С. 14–24.
18. Симаненю 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.
 19. Соловьев А.В., Палечек Т.Н., Палечек Р.М. Тектоностратиграфия северной части Олюторской зоны (Коряжское 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 Коряжского нагорья) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2000. Т. 8, № 2. С. 88–96.
 21. Чехович В.Д. Тектоника и геодинамика складчатого обрамления малых океанических бассейнов. М.: Наука, 1993. 272 с.
 22. Шапиро М.Н. Верхнемеловая Ачайваям-Валагинская вулканическая дуга и кинематика плит в Северной части Тихого океана // Геотектоника. 1995. № 1. С. 52–64.
 23. Arai S. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // Mineralogical Magazine. 1992. V. 56. P. 173–184.
 24. Hanus V., Vanek J. Deep structure of the Vanuatu (New Hebrides) island arc: intermediate depth collision of subducted lithospheric plates // New Zealand J. of Geol. and Geophys. 1983. V. 26. P. 133–154.
 25. Leterrier J., Maury R.C., Thonon P. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series // Earth and Planetary Sci. Lett. 1982. V. 59. P. 139–154.
 26. Morton A.C., Hallsworth C. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones // Sediment. Geology. 1994. V. 90. N 3/4. P. 241–256.
 27. Nechaev V.P. Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Marine Geology. 1991. V. 97. P. 167–190.
 28. Nechaev V.P., Ispording W.C. Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments // J. Sed. Petrol. 1993. V. 63, N 6. P. 1110–1117.
 29. Nechaev V.P., Derkachev A.N. Heavy Mineral Assemblages in Quaternary Sediments of the Philippine Sea as Indicators of Subduction / Collision-Related Tectonics. In: Tokuyama H., Shcheka S.A. (Eds.) Geology and Geophysics of the Philippine Sea Floor. Terra Sci. Publish. Co. Tokyo. 1995. P. 215–233.
 30. Nisbet E.G., Pearce J.A. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // Contrib. Mineral. Petrol. 1977. V. 63. P. 149–160.
 31. Tanahashi M. Tectonics of the spreading center in the North Fiji Basin // Bull. Geol. Surv. Japan. 1994. V. 45, N 4. P. 173–234.
 32. Teraoka Y. 2003. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2003. V. 54, N 5–6. P. 171–192.

Поступила в редакцию 6 апреля 2006 г.

Рецензент М.И. Тучкова

A.I. Malinovsky, P.V. Markevich

Heavy clastic minerals of the Far-East volcanic island arc assemblages

The paper summarizes the results of the study of heavy clastic minerals from the structurally contrasting Cretaceous-Paleogene terrigenous assemblages of the Sikhote-Alin and Kamchatka as well as Cenozoic sediments of the Vanuatu deep-sea trench. The data obtained have been interpreted on the basis of their comparison with heavy mineral associations of the recent sediments accumulated in the known geodynamic settings. It is shown that heavy clastic minerals of sedimentary rocks, their quantitative relationships, and the chemical composition of some minerals may serve as reliable indicators of different volcanic island-arc environments and related magmatic processes; moreover, they are a fairly reliable criterion for their identification within paleobasins of orogenic areas.

Key words: heavy minerals, island arc, terrigenous rocks, Early Cretaceous, terrane, geodynamic settings, Far East.