

УДК 55(1/9)551.21

ТЯЖЕЛЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД КАК ИНДИКАТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК В ПАЛЕОБАССЕЙНАХ ОРОГЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ ВОСТОКА АЗИИ

© 2006 А.И. Малиновский¹, П.В. Маркевич¹, М.И. Тучкова²

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, 690022; e-mail: malinovsky@fegi.ru

² Геологический институт РАН, Москва, 109017

В статье обобщаются результаты изучения тяжелых обломочных минералов из структурно контрастных 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 надежными индикаторами определенных геодинамических обстановок и присущих им магматических процессов, а также являются достаточно надежным критерием их идентификации в палеобассейнах орогенных областей.

ВВЕДЕНИЕ

Авторами в течение продолжительного периода времени (1978 - 2005 гг.) изучались тяжелые обломочные минералы из терригенных пород различных по возрасту и происхождению комплексов Российского Дальнего Востока, а также из осадков юго-западной части Тихого океана (Геолого-геофизические..., 1990; Малиновский, 1993; Малиновский, 2005а, 2005б; Маркевич, Чудаев, 1979; Маркевич и др., 1987, 1996, 1997; и др.).

Геодинамические обстановки в древних бассейнах обычно распознаются по ряду признаков: палеогеологическому положению, строению и составу слагающих их толщ, петрохимии вулканитов и терригенных пород. Мы впервые попытались идентифицировать эти обстановки только по тяжелым обломочным минералам из осадочных пород структурно контрастных и разновозрастных бассейнов. Анализ ассоциаций тяжелых минералов — испытанный метод определения питающих провинций обломочных пород (Батурин, 1947; Morton, Hallsworth, 1994). Недавними исследованиями В.П. Нечаева 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 (Нечаев, Деркачев, 1989; Нечаев и др., 1996; Nechaev, 1993; Nechaev, Isphording, 1993).

Полученные результаты можно будет в дальнейшем использовать как один из методических приемов палеотектонических реконструкций, основанных на актуалистическом подходе. Особую роль этот подход должен сыграть при изучении фанерозойских вулканогенно-осадочных образований, входящих в состав террейнов, происхождение которых в достаточной мере не определено. Несомненно, для всеобъемлющей идентификации геодинамических обстановок одних только данных по тяжелым минералам недостаточно, но в будущем, наряду с другими сведениями, они могут быть использованы как достаточно надежный инструмент.

Таким образом, предлагаемая публикация направлена на подтверждение имеющейся гипотезы о соответствии определенного типа геодинамической обстановки определенному «набору» и количественному соотношению тяжелых обломочных минералов из осадочных пород и позволяет выработать надежные критерии распознавания таких 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 эоцен-четвертичные нелитифицированные осадки глубоководного желоба Вануату, а также песчано-алевритовые породы из раннемеловых и раннемеловых-кайнозойских отложений Олюторского и Айнынского террейнов Камчатки, Кемского и Киселевско-Маноминского террейнов (Удыльского фрагмента) Сихотэ-Алиня (рис. 1).

Каменный 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-ом рейсе НИС «Академик А. Несмеянов» (1988 г.) по исследовательским профилям с помощью гидростатического 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 и отмучивания в дистиллированной воде с целью выделить фракцию 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. При подсчетах учитывались лишь обломочные минералы, а аутигенные исключались с тем, чтобы максимально надежно выявить состав и относительную роль источников питания. Хи-

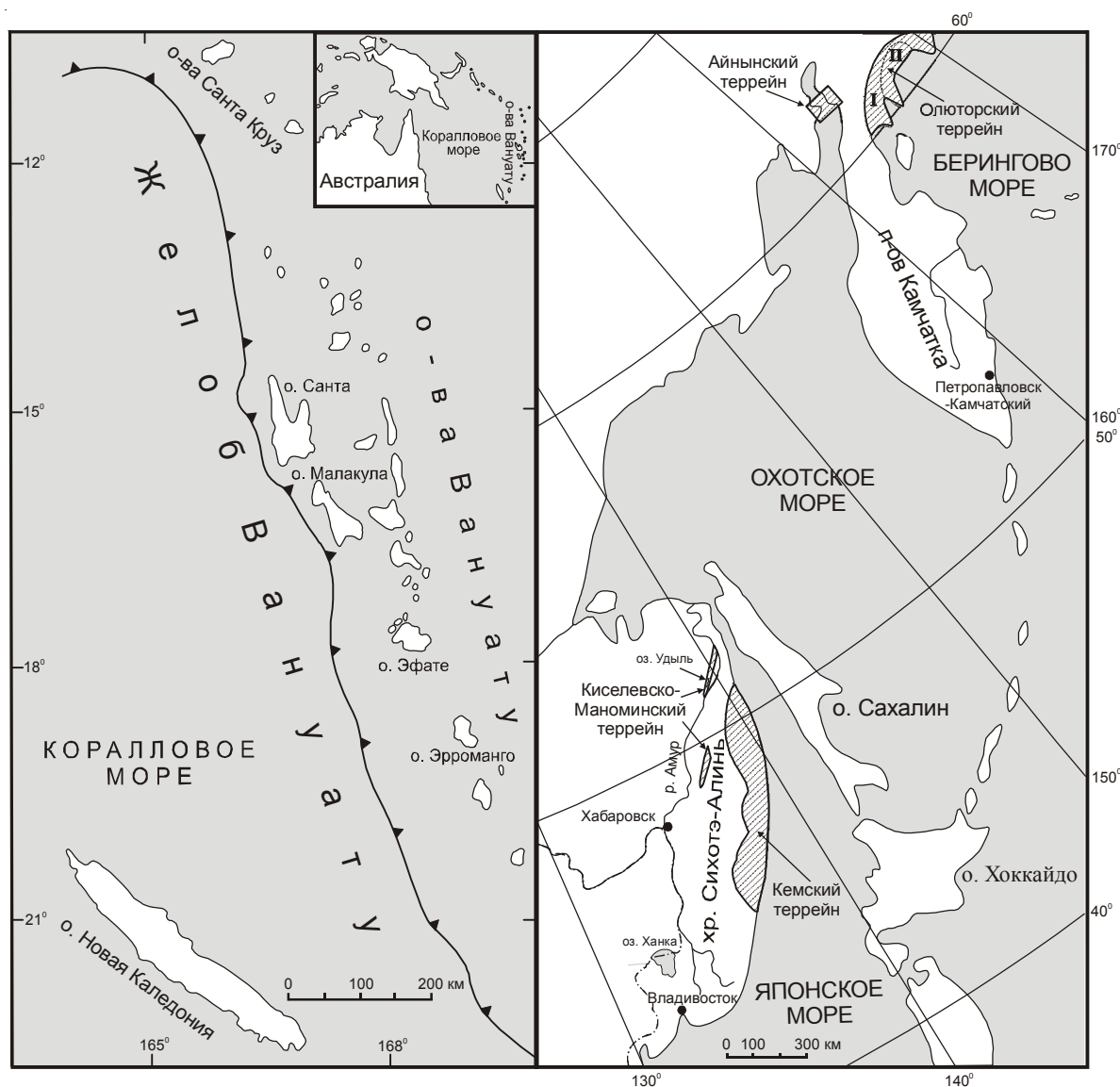


Рис. 1. Расположение изученных объектов. На правом рисунке римскими цифрами обозначены минералогические провинции Олюторского террейна: I – Северная, II – Южная.

мический состав тяжелых минералов определен на рентгеновском микроанализаторе JXA-5A. При интерпретации процентного соотношения и химического состава тяжелых минералов применялась разработанная в лаборатории осадочной геологии ДВГИ ДВО РАН оригинальная методика, позволяющая распознавать в геологическом прошлом аналоги современных геодинамических обстановок (Геолого-геофизические..., 1990; Малиновский, 2005а; Маркевич и др., 1997, 2000; Нечаев и др., 1996; Nechaev, Isphording, 1993; Nechaev, Derkachev, 1995; и др.). Анализы выполнены в лабораториях ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток) и ГИН РАН (г. Москва).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Глубоководный желоб Вануату расположен в юго-западной части Тихого океана, протягиваясь вдоль западного склона вулканической островной дуги Вануату, и образован благодаря движению Индо-Австралийской океанической литосферной плиты на восток (Геолого-геофизические, 1990; Tanahashi, 1994). 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* (Геолого-геофизические..., 1990). Осадки представлены слабо литифицированными пелитами, алевролитами и псаммитами, содержащими примесь пирокластического материала, а также раковины фораминифер и наннопланктона.

Отсутствие олигоцен-среднемиоценовых отложений в желобе, по-видимому, отражает региональный перерыв осадконакопления в Австрало-Новозеландском регионе, вызванный тектонической активностью и изменением водной циркуляции (Геолого-геофизические..., 1990).

Айньинский террейн расположен в обрамлении северной части Пенжинской губы (Охотское море) на полуостровах Елистратова и Маметчинском. Террейн находится в зоне смыкания структур полуострова Камчатка и Азиатского континента. Сильно дислоцированные меловые осадочные и вулканогенно-осадочные образования слагают систему чешуй и дуплексов и в целом интерпретируются как отложения аккреционной призмы (Соколов, 2003). Отложения террейна прослеживаются в виде отдельных разрозненных

выходов или непрерывных полос и расчленяются на следующие структурно-вещественные комплексы (Тучкова и др., 2003а, 2003б).

Берриас-валанжинский комплекс сложен разнозернистыми песчаниками, алевролитами, конгломератами, гравелитами, микститами, турбидитами и подводно-оползневыми горизонтами. *Готеривский комплекс* состоит из чередующихся горизонтов туфов, вулканических конгломератов, гравелитов, песчаников и алевролитов. Встречаются отдельные пачки турбидитов. *Баррем-альбский комплекс* представлен чередованием пачек турбидитов и алевролитов, а также горизонтами туфов, туфобрекчий, вулканических песчаников и гравелитов. В *альб-сантонском* комплексе преобладают песчаники и алевролиты, при подчиненной роли конгломератов и гравелитов, встречаются также горизонты туфов, пласты угля и углистых алевролитов.

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, сложенных юрскими и раннемеловыми кремнистыми и кремнисто-глинистыми породами с телами базальтов и известняков, а также раннемеловыми алевролитами, аргиллитами и турбидитами (Зябрев и др., 2005; Маркевич и др., 1996, 1997) (рис. 2). Готерив-сеноманские вулканогенно-осадочные островодужные образования обнаружены на северо-восточном фланге террейна в районе оз. Удыль (*Удыльский фрагмент*). Здесь тектонически совмещены структурно-вещественные комплексы островных дуг, океана и окраины континента. Это позволяет рассматривать террейн как сложную аккреционную призму с чешуйчато-надвиговой структурой. Все отложения разделены на следующие комплексы (Маркевич и др., 1996, 1997).

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

Олюторский террейн расположен в южной части Корякского нагорья, протягиваясь на

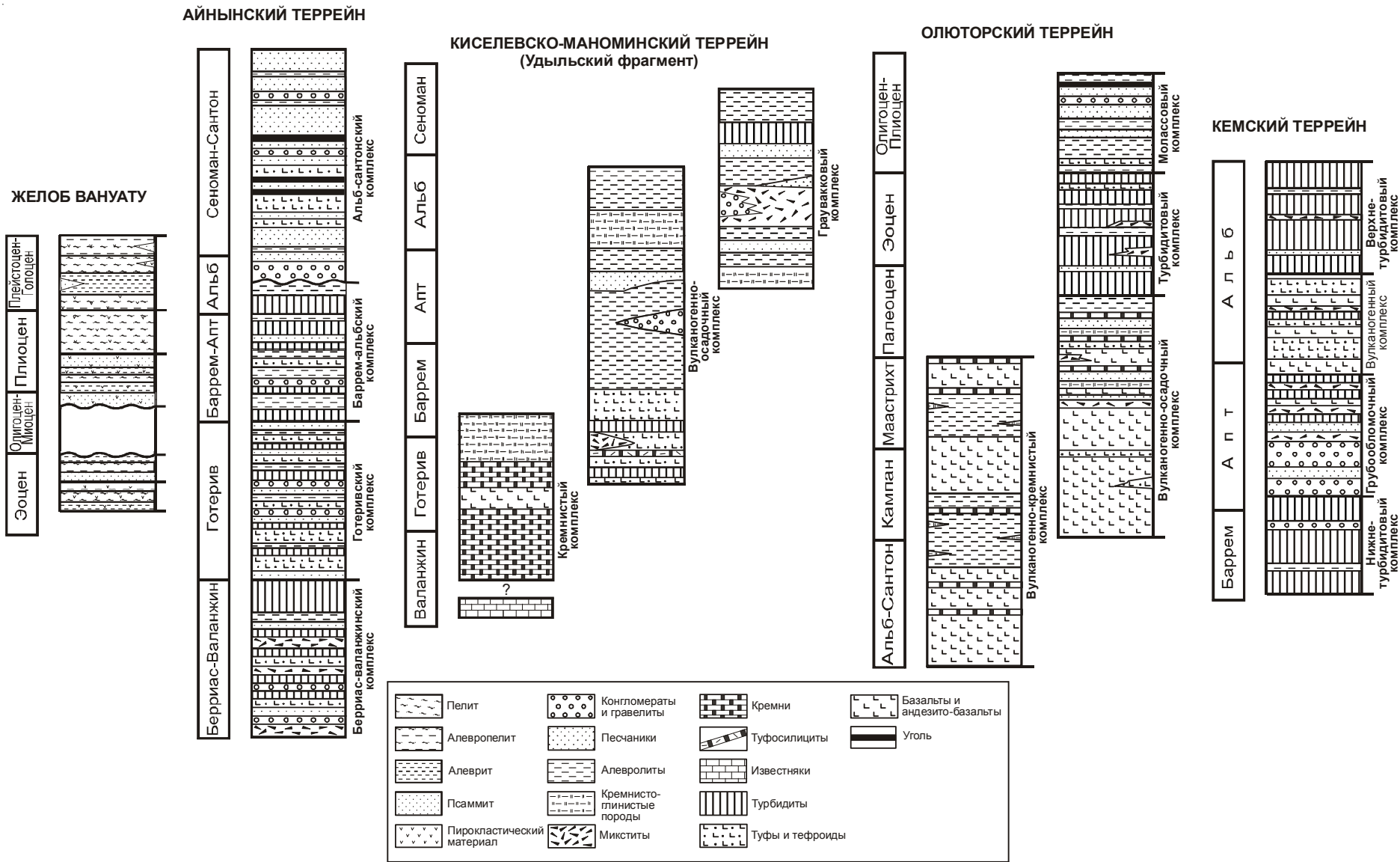


Рис. 2. Сводные литолого-стратиграфические колонки вулканогенно-осадочных образований изученных объектов.

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 (Геология юга..., 1987). В геологическом разрезе террейна совмещены крупные аллохтонные пластины (Чехович, 1993), сложенные раннемеловыми-неогеновыми комплексами, формировавшимися в различных фациальных обстановках и, вероятно, на значительном удалении от современной позиции. Выделяются следующие комплексы (Геология юга..., 1987; Коваленко, 2003; Малиновский, 1993; Маркевич и др., 1987; Соловьев, 1998, 2000) (рис. 2).

Вулканогенно-кремнистый комплекс состоит из базальтов, гиадокластитов, 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. *Молаассовый 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 Монероно-Самаргинской островодужной системы (Малиновский и др., 2002, 2005а, 2005б). Отложения террейна подразделяются на следующие структурно-вещественные комплексы.

Нижнетурбидитовый комплекс сложен пачками турбидитов, прерываемыми 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. *Верхнетурбидитовый комплекс* состоит мощных пачек турбидитов, редких горизонтов песчаников, алевролитов, микститов и подводнооползневых образований.

АССОЦИИ 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), входят циркон, гранат, турмалин, апатит, сфен, рутил, анатаз, ильменит, лейкоксен, флюорит, везувиан и корунд.

По «набору» основных минералов среднеэоценовые-голоценовые глубоководные осадки *желоба Вануату*, который мы в дальнейшем рассматриваем как эталонный островодужный объект, характеризуются большой однородностью и постоянством (Геолого-геофизические..., 1990). Поскольку, благодаря своему положению, 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 не более 2.5% от общего количества тяжелых минералов, что свидетельствует об отсутствии в регионе крупных источников сиалического материала.

В *Айнынском террейне* содержания тяжелых минералов в различных комплексах существенно различаются, что обусловлено влиянием различных источников сноса (Тучкова, 2003а, 2003б). В *берриас-валанжинском комплексе* резко преобладают минералы гранитно-метаморфических пород (от 70 до 100% всех тяжелых минералов) - циркон (до 30%), гранат (до 25%), турмалин (до 24%), апатит (до 33%) и сфен (до 1.5%). Фемических минералов значительно меньше: это в

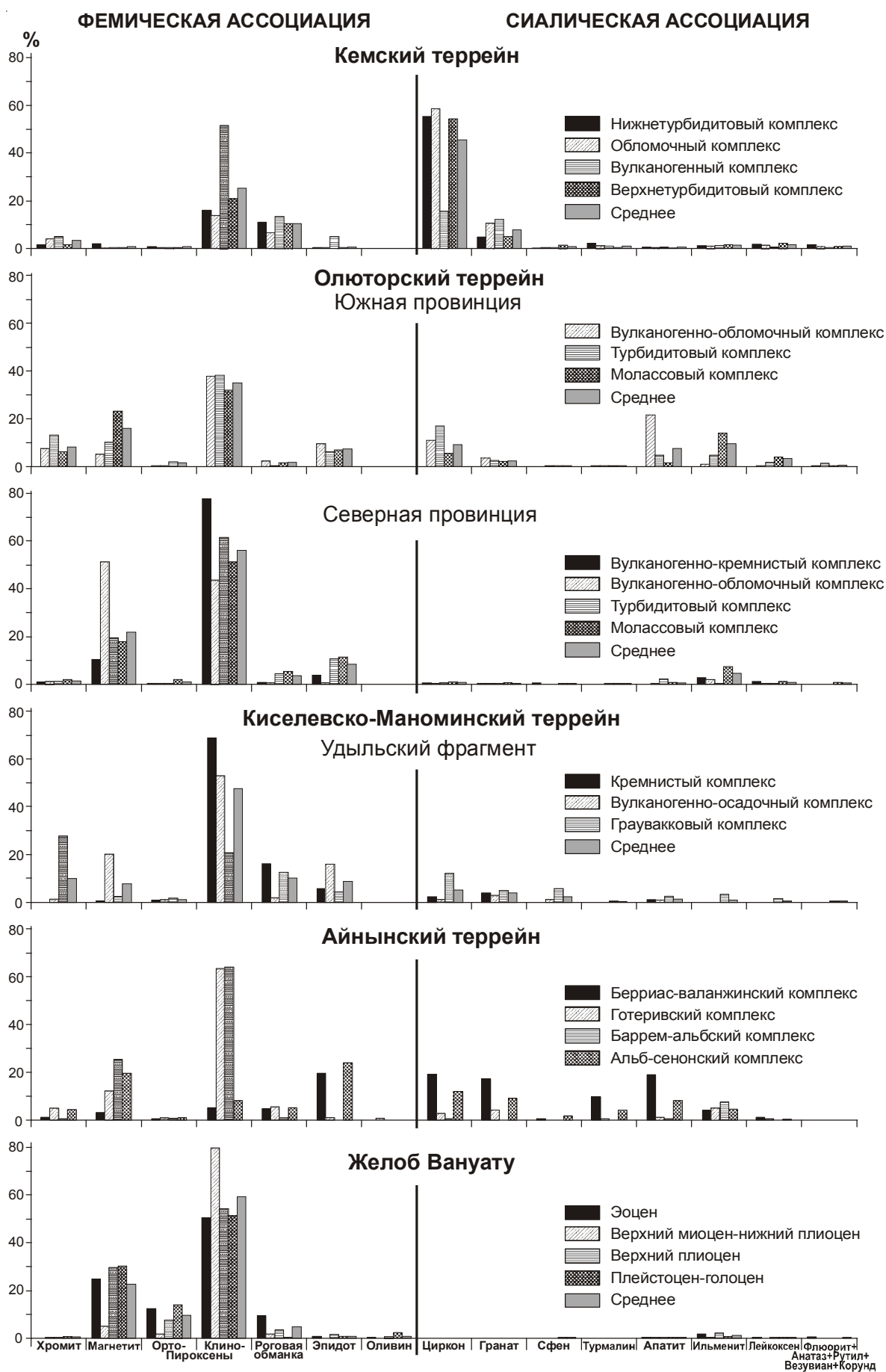


Рис. 3. Распределение тяжелых обломочных минералов в терригенных породах изученных объектов.

основном клинопироксен (до 10%), магнетит (до 9%), хромит (до 3%), роговая обманка (до 6%). В *готеривском и баррем-альбском комплексах* состав тяжелой фракции очень однообразен и представлен, главным образом, минералами фемической ассоциации – в отдельных пробах до 100% всех тяжелых минералов. Среди них преобладает клинопироксен (до 90%), меньше магнетита (до 40%), роговой обманки (до 23%), хромита (до 16%), ортопироксена (до 4%), эпидота (до 6%) и оливина (до 2%). Содержание минералов сиалической ассоциации невысоко: циркона (до 7%), граната (до 6%, в отдельных пробах до 16%) и апатита (до 1.5%). В *альб-сантонском комплексе* вновь резко увеличиваются содержания минералов сиалической ассоциации (до 75% всех минералов), чем он согласуется с образованиями берриас-валанжинского комплекса. В основном, преобладают циркон и гранат, содержания которых достигают 24%, меньше апатита (до 15%), турмалина (до 11%) и сфена (до 4%). Вместе с тем, в комплексе остается достаточно много минералов фемической ассоциации (в отдельных пробах до 60% всей фракции), среди которых наиболее обычны клинопироксен (до 31%), магнетит (до 38%), хромит (до 10%), роговая обманка (до 9%). Особо следует отметить высокие содержания эпидота, содержания которого в отдельных пробах достигает 63%.

В *Удильском фрагменте Киселевско-Манюлинского террейна* содержания тяжелых минералов в различных комплексах существенно различаются (Маркевич и др., 1997, 2000; Нечаев и др., 1996). 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 *вулканогенно-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 же его части к этим вулканогенным 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 меняются. 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%), ассоциируют с пи-

роксеном (до 37%), и, наконец, в третьих – относительно много циркона (до 40%), а также граната (до 22%), сфена (до 11%) и апатита (до 7%).

В *Олюторском террейне* по тяжелым минералам выделяются две минералогические провинции (Малиновский и др., 1989; Малиновский, 1993). В *Северной провинции* преобладают минералы островодужной вулканокластике, вместе 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%), а вот 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.

В *Кемском террейне* содержания и пропорции между отдельными минералами в изученных комплексах значительно различаются (Малиновский и др., 2005а, 2005б). 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 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

Полученные минералогические данные интерпретировались на основе актуалистического подхода и результатов изучения современных осадков (Нечаев, Деркачев, 1989; Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993; Nechaev, Derkachev,

1995; и др.). В.П. Нечаев выделил ряд минералов-индикаторов, различные соотношения между которыми дают возможность распознавать материал различного происхождения.

Наличие либо отсутствие, а также взаимодействие континентальной и океанической земной коры в регионе надежно определяется показателем MF-MT-GM (рис. 4), где MF – типичные фемические минералы вулканических пород (клино- и ортопироксены, оливин и буро-зеленая роговая обманка), MT – характерные минералы зеленых сланцев и амфиболитов (эпидот, гранат, бледно-окрашенные амфиболы), GM – продукты разрушения гранитно-метаморфических комплексов (циркон, турмалин, ставролит, андалу-

зит, дистен, силлиманит и другие более редкие минералы).

Индикатором, позволяющим различать тектонические обстановки на конвергентных окраинах плит, включающие островные дуги, активные континентальные окраины и глубоководные впадины внутри океана и окраинных морей, является соотношение Сrx-Орх-Нб, где главная роль принадлежит роговой обманке (рис. 4).

Анализ ассоциаций тяжелых минералов из терригенных пород изученных регионов на диаграммах MF-MT-GM и Сrx-Нб-Орх позволил нам получить следующие результаты.

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 влиянием энзиматической вулканической островной дуги Вануату (Hanus, Vanek, 1983). При этом, низкие содержания ортопироксена и роговой обманки (диаграмма Сrx-Нб-Орх) свидетельствует 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 (Nisbet, Pearce, 1987) (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 диаграмме 1, предложенной Дж. Летерье с соавторами (Leterrier и др., 1982) (рис. 6), все клинопироксены группируются вблизи линии, разграничивающей клинопироксены из

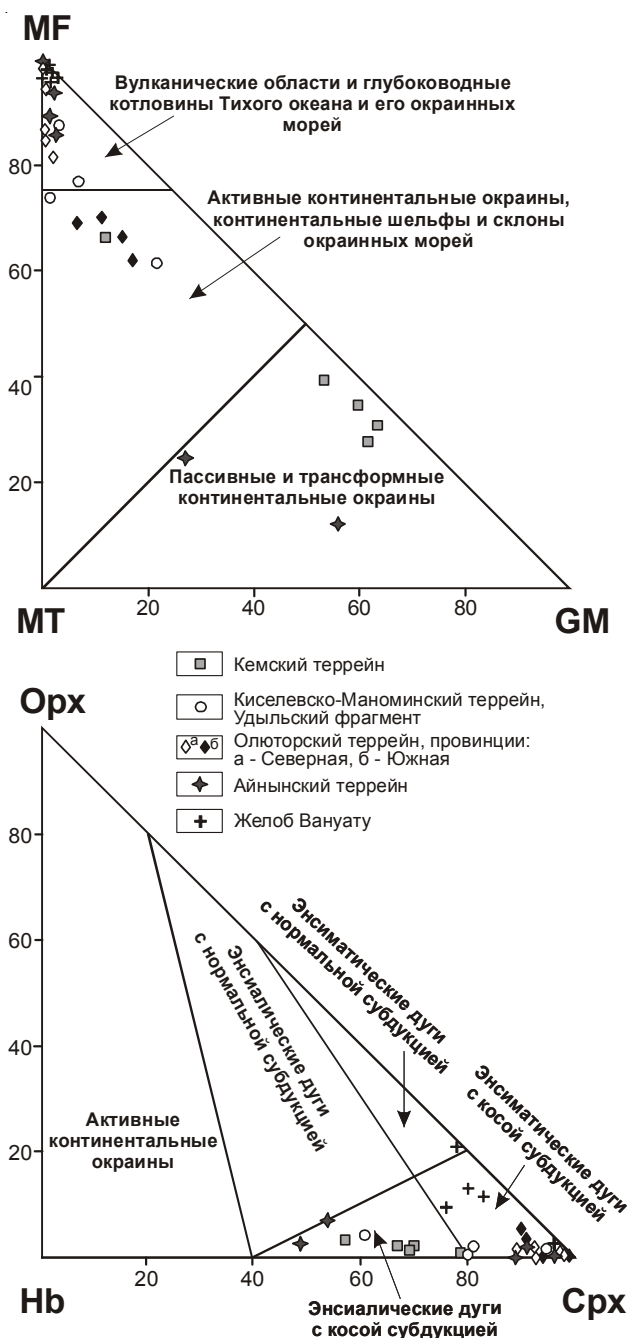


Рис. 4. Сравнение соотношения тяжелых обломочных минералов из песчано-алевритовых пород изученных объектов и из современных осадков различных геодинамических обстановок, по (Нечаев и др., 1996; Nechaev, Isphording, 1993). Суммы содержаний: MF – оливина, орто- и клинопироксенов, зеленой роговой обманки; MT – эпидота, граната, сине-зеленых амфиболов; GM – циркона, турмалина, ставролита, дистена, силлиманита и андалузита. Орх – ортопироксен, Нб – роговая обманка, Сrx – клинопироксен.



Рис. 5. А – диаграмма составов обломочных клинопироксенов; Б – дискриминационная диаграмма для клинопироксенов из базальтов различных тектонических обстановок, по (Nisbet, Pearce, 1977). $F_1 = -0.012xSiO_2 - 0.0807xTiO_2 + 0.0026xAl_2O_3 - 0.0012xFeO - 0.0026xMnO + 0.0087xMgO - 0.0128xCaO - 0.0419xNa_2O$; $F_2 = -0.0496xSiO_2 - 0.0818xTiO_2 - 0.02126xAl_2O_3 - 0.0041xFeO - 0.1435xMnO - 0.0029xMgO - 0.0085xCaO + 0.0160xNa_2O$.

щелочных внутриплитных базальтов 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 островных дуг, все клинопироксены островодужные. Наконец, на диаграмме 3, разграничивающей островодужные клинопироксены на известково-щелочные и толеитовые, видно, что источником исследуемых пироксенов были как известково-щелочные, так и толеитовые базальты дуги. Островодужный характер роговых обманок демонстрируется на диаграмме 10Ti-Al-Fe (Nechaev, 1991) (рис. 7, Б), где они, благодаря низким суммарным содержаниям хрома и титана, близки амфиболам из основных и средних вулканитов островных дуг.

Таким образом, основным источником тяжелых обломочных минералов среднеэоценовых-голоценовых осадков глубоководного желоба Вануату были известково-щелочные и толеито-

вые базальты одноименной эпиокеанической островной дуги. Осадки накапливались, очевидно, вне зоны какого-либо заметного влияния континентального источника сноса, что выразилось в крайне незначительном содержании в них сиалических минералов.

Особенности состава минеральных ассоциаций из терригенных пород *Айнынского террейна* указывают на их формирование за счет различных источников питания.

Преобладание в берриас-валанжинском и альб-сантонском комплексах сиалической ассоциации тяжелых минералов (компоненты GM и MT на диаграмме MF-MT-GM, рис. 4), среди которых главенствует циркон, гранат, турмалин, апатит и эпидот, показывает, что их источником были размывавшиеся гранитно-метаморфические породы зрелой континентальной окраины.

Господство в готеривском и баррем-альбском комплексах фемической ассоциации тяжелых минералов, а также положение точек на диаграммах MF-MT-GM и Crx-Nb-Orx свидетельствует, что их источником были размывавшиеся вулканиты энсиматической островной дуги, сопря-

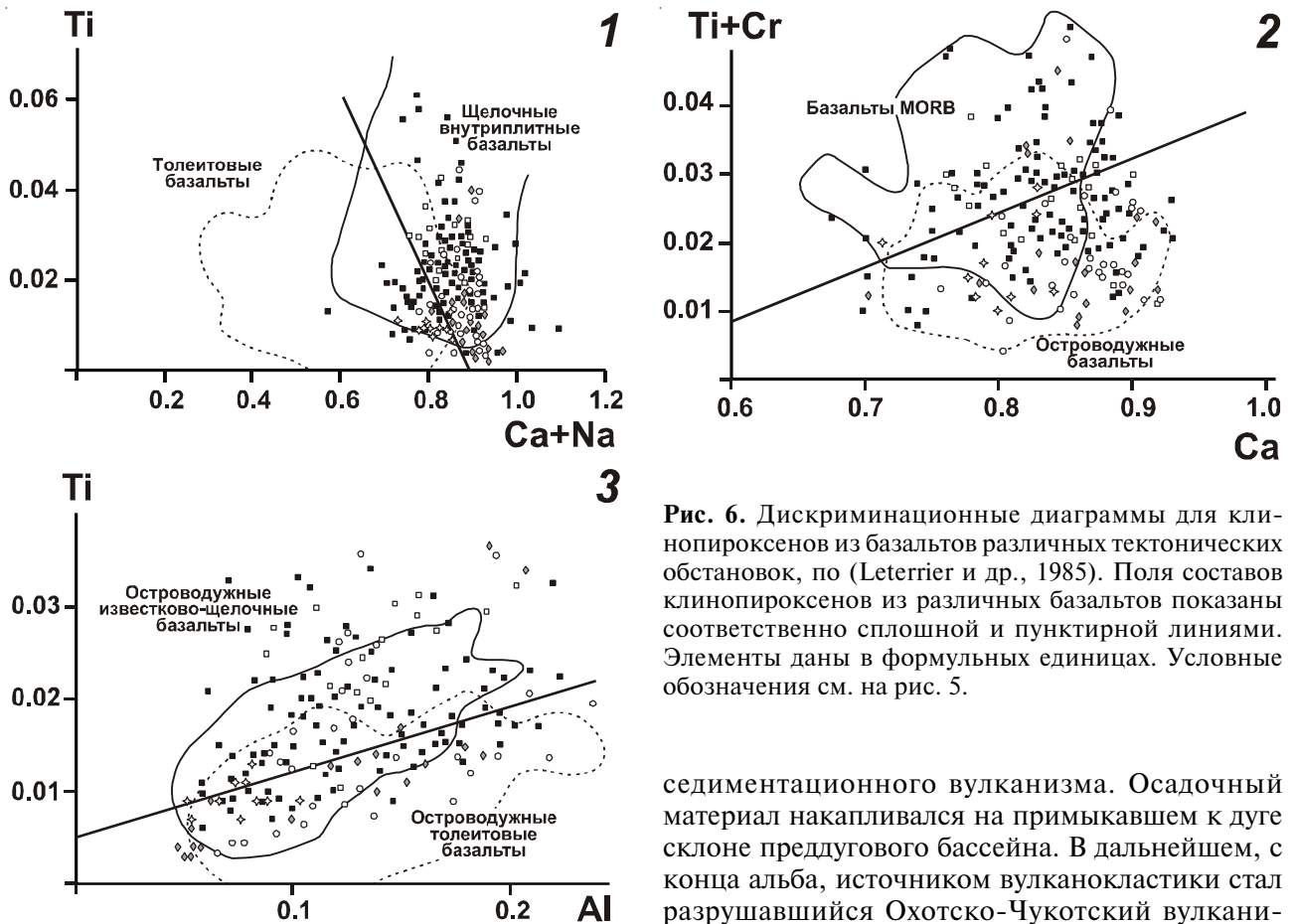


Рис. 6. Дискриминационные диаграммы для клинопироксенов из базальтов различных тектонических обстановок, по (Leterrier и др., 1985). Поля составов клинопироксенов из различных базальтов показаны соответственно сплошной и пунктирной линиями. Элементы даны в формульных единицах. Условные обозначения см. на рис. 5.

женной с острым углом схождения плит, на что указывают низкие содержания ортопироксена и роговой обманки. Островодужная природа источника питания хорошо подтверждается микрохимическим составом обломочных клинопироксенов, а также их близостью составу клинопироксенов из осадков энсиматической островной дуги Вануату (рис. 5, 6). В альб-сантонском комплексе содержания минералов фемической ассоциации заметно уменьшаются, а соотношение $Sr_x-Nb-Or_x$ соответствует энсиалической вулканической островной дуге или, в нашем случае, Охотско-Чукотскому вулканическому поясу.

Таким образом, эволюция состава и количественных соотношений тяжелых минералов Айнынского террейна свидетельствует о переменном влиянии трех главных источников питания, обусловленном структурной перестройкой в регионе. В берриасе-валанжине это были гранитно-метаморфические комплексы зрелой континентальной окраины. Влияние островодужного источника было крайне незначительным. Начиная с готерива, в результате резкого усиления вулканической активности позднеюрско-раннемеловой Удско-Мургальской островной дуги (Тучкова, 2003а, 2003б; Соколов, 1999), доминирующим источником стала размывавшаяся островодужная вулканокластика и продукты син-

седиментационного вулканизма. Осадочный материал накапливался на примыкавшем к дуге склоне преддугового бассейна. В дальнейшем, с конца альба, источником вулканокластики стал разрушавшийся Охотско-Чукотский вулканический пояс (Тучкова, 2003а, 2003б). В это же время в седиментационный бассейн вновь стали поступать, и в довольно значительном количестве, продукты размыва гранитно-метаморфических пород зрелой континентальной окраины.

Анализ ассоциаций тяжелых минералов из *Удьльского 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 вулканокластики на конвергентных окраинах с острыми углами схождения плит (диаграмма $Sr_x-Nb-Or_x$) и указывает на прямое влияние энсиматической дуги типа Идзу-Бонинской (Маркевич и др., 1997; Нечаев и др., 1996; Nechaev, Derkachev, 1995). 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 вулканокластика, к которой примешивался материал с континентальной окраины. Вулканогенно-осадочный комплекс рассматривается как кластический шлейф дуги – фрагмент задугового (тылового) прогиба, располагавшегося

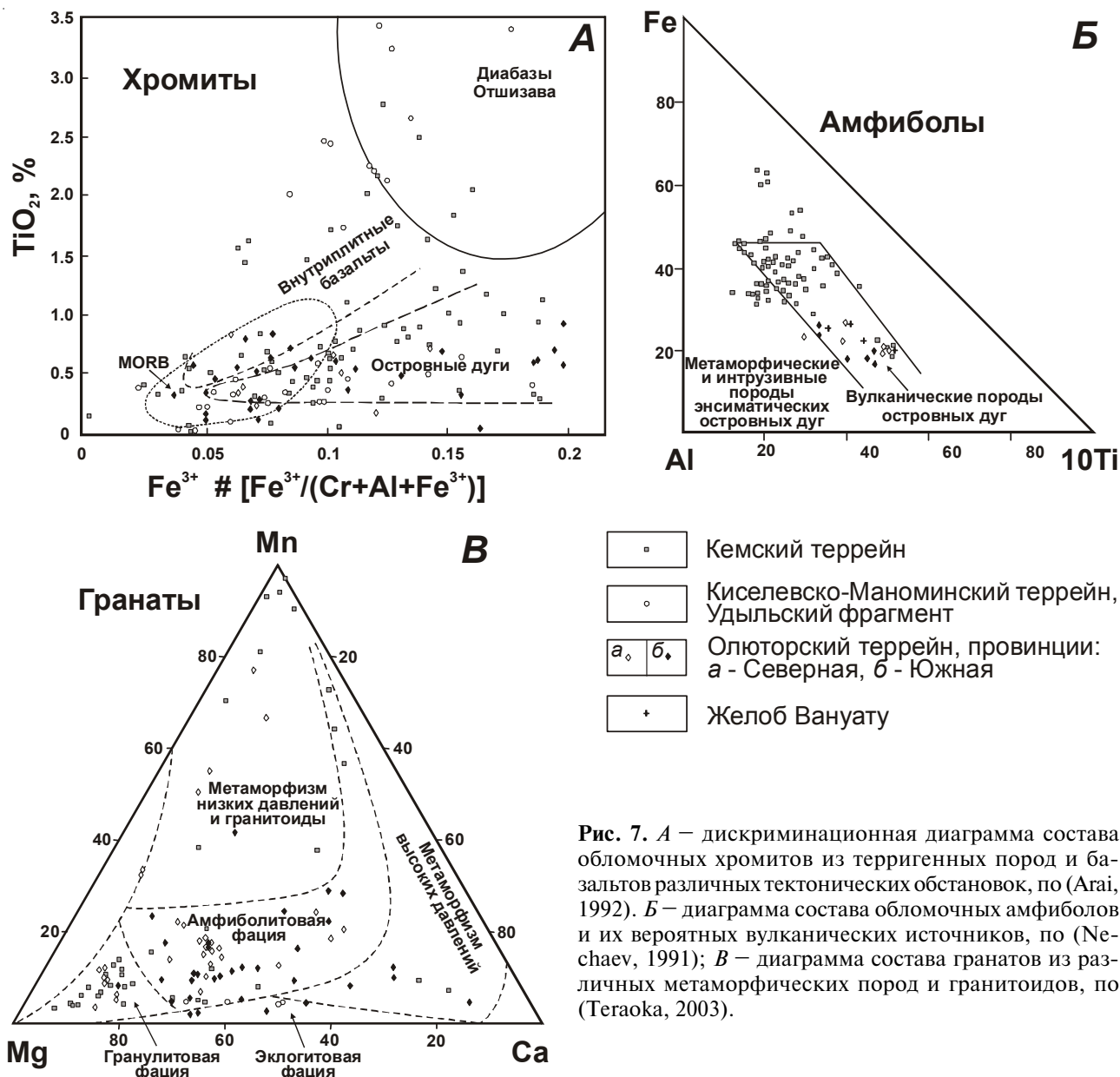


Рис. 7. А – дискриминационная диаграмма состава обломочных хромитов из терригенных пород и базальтов различных тектонических обстановок, по (Агай, 1992). Б – диаграмма состава обломочных амфиболов и их вероятных вулканических источников, по (Nechaev, 1991); В – диаграмма состава гранатов из различных метаморфических пород и гранитоидов, по (Тераока, 2003).

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 $Cr_x-Nb-Or_x$ (рис. 4) соответствуют энсиалической 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 энсиалической дуги. Присутствие, иногда в значительных ко-

личествах, 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 алмадину и происходят, скорее всего, из размывавшихся метаморфических пород амфиболитовой и даже эклогитовой фаций, хотя кислые интрузивные породы также не исключаются (Тераока, 2003).

Таким образом, область питания Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна была гетерогенной. Вероятно, это была формирующаяся аккреционная призма, в состав которой входили породы океанического, континентального и островодужного происхождения.

В *Олюторском террейне* господствует фемическая ассоциация тяжелых минералов (компо-

нент MF на рис. 4), роль которой особенно велика в *Северной провинции*. Положение точек на диаграммах MF-MT-GM и Cpx-Hb-Orx свидетельствует, что отложения накапливались под прямым влиянием энсиматической островной дуги, сопряженной с острым углом схождения плит (низкие содержания ортопироксена и роговой обманки). При этом, вулканогенно-кремнистый комплекс, вероятно, накопился в обстановке, соответствующей глубокоководным впадинам окраинных морей Тихого океана, где основным источником обломочного вещества была островодужная вулканокластическая. 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, как показано выше, энсиматическая 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 материал в бассейны обеих провинций террейна, была разрушавшаяся мел-палеогеновая Ачайваямская энсиматическая островная вулканическая дуга (Шапиро, 1995) и продукты синседиментационного вулканизма. 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 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 Cpx-Hb-Orx (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 (Симаненко и др., 2004). Источником минералов сиалической ассоциации, вероятно, был размывавшийся 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 спессартитовый 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 (Малиновский и др., 2002, 2005а, 2005б), поставлявшая в ее тыловодужный бассейн две контрастные ассоциации тяжелых минералов. Фемическая (вулканическая) ассоциация формировалась за счет островодужной вулканокластической и продуктов синседиментационного вулканизма, а сиалическая – результат 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 глубокоководного желоба Вануату. Полученные результаты позволили показать надежность использованного метода для палеогеодинамических реконструкций.

Все тяжелые минералы изученных объектов разделяются на две минералогические ассоциации: фемическую (вулканическую), куда входят

типичные представители островодужной вулканокластиков, 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 резко преобладает фемическая (вулканическая) ассоциация, источником которой были продукты синседиментационного вулканизма и размывавшиеся известково-щелочные и толеитовые базальты эпиокеанической островной дуги Вануату. Каких-либо крупных источников сиалического материала в регионе не было.

В Айнынском террейне на осадконакопление переменное влияние оказывали три главных источника питания. Основными источниками обломочного материала были размывавшиеся вулканические комплексы Удско-Мургалской островной дуги, действовавшей на раннемеловом этапе развития региона, и сменившего ее в позднем альбе Охотско-Чукотского вулканического пояса. Кроме того, в берриас-валанжинское и позднеальбское-сантонское время на седиментацию доминирующее влияние оказывали продукты разрушения гранитно-метаморфических комплексов зрелой континентальной окраины.

Для Удыльского фрагмента Киселевско-Маноминского террейна устанавливается гетерогенная область питания. Основным источником обломочного вещества в валанжин-барремское время была вулканокластика, поступающая с энсиматической островной дуги, к которой примешивалось некоторое количество терригенного материала с континентальной окраины. В апте-сеномане источником вещества была энсиалическая вулканическая дуга и входившие в состав ее аккреционной призм и фундамента островодужные, континентальные и офиолитовые комплексы.

В Олюторском террейне выделяются две минералогические провинции, которые питались из контрастных источников. Доминирующим источником, поставлявшим обломочный материал в бассейны обеих провинции, была разрушавшаяся мел-палеогеновая энсиматическая Ачайваямская островная дуга, а также продукты синседиментационного вулканизма. Одновременно с ним 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 сосуществуют две ассоциации тяжелых минералов — вулканическая и сиалическая. Источником обло-

мочного материала были: раннемеловая энсиалическая Монероно-Самаргинская островная дуга, поставлявшая 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, определенный «набор» тяжелых обломочных минералов в осадочных породах, количественные соотношения между ними и микрохимический состав некоторых минералов служат надежными индикаторами различных геодинамических обстановок и присущих им магматических процессов, а также являются достаточно надежным критерием их идентификации в палеобассейнах орогенных областей.

Кроме того, следует отметить, что Западная Палеопацифика в мел-палеогеновое время изобиловала, возможно, даже в большей степени, чем в настоящее время, сложно 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, а также Г.В. Карпову (ГИН РАН) за пробоподготовку, минералогические и микрзондовые анализы, выполненные ими на высоком профессиональном уровне.

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

Список литературы

- Батулин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 339 с.
- Геолого-геофизические исследования в Новогейридском регионе / Отв. ред. Б.И. Васильев. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1990. 267 с.
- Геология юга Корякского нагорья / Отв. ред. С.М. Тильман. М.: Наука, 1987. 167 с.
- Зябрев 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.
- Коваленко Д.В.* Палеомагнетизм геологических комплексов Камчатки и южной Корякии. Тектоническая и геофизическая интерпретация. М.: Научный мир, 2003. 256 с.
- Малиновский А.И.* Кайнозойская моласса юга Корякского нагорья. Владивосток: Дальнаука, 1993. 228 с.

- 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. 2005а. Т. 40. № 5. С. 495-514.
- 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. 2005б. Т. 24. № 6. С. 38-59.
- 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.
- 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.
- 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.
- Маркевич П.В., Коновалов В.П., Малиновский А.И., Филиппов А.Н.* Нижнемеловые отложения Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2000. 283 с.
- Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др.* Геосинклиальный литогенез на границе континент-океан. М.: Наука, 1987. 177 с.
- Маркевич П.В., Филиппов А.Н., Малиновский А.И. и др.* Меловые вулканогенно-осадочные образования Нижнего Приамурья. Владивосток: Дальнаука, 1997. 300 с.
- Маркевич П.В., Чудаев О.В.* Состав песчаников флиша Сихотэ-Алиня и Камчатки и палеотектонические условия его образования // ДАН СССР. 1979. Т. 246. № 2. С. 428-431.
- Нечаев В.П., Деркачев А.Н.* Особенности осадконакопления // Тихоокеанская окраина Азии. Геология. М.: Наука. 1989. С. 50-66.
- Нечаев В.П., Маркевич П.В., Малиновский А.И. и др.* Геодинамические обстановки накопления меловых отложений Нижнего Приамурья по ассоциациям тяжелых минералов // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15. № 3. С. 14-24.
- 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.
- Соколов С.Д.* Аккреционная структура Пенжинского хребта (Северо-Восток России) // Геотектоника. 2003. № 5. С. 3-10.
- Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л., Григорьев В.Н.* Зона перехода Азиатский континент – Северо-Западная Пацифика в позднеюрское-раннемеловое время // Теоретические и региональные проблемы геодинамики. М.: Наука. 1999. Вып. 515. С. 30-84.
- Соловьев А.В., Палечек Т.Н., Леднева Г.В.* Кампан-маастрихтские отложения фронтальной части Олюторской зоны (юг Корякского нагорья) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. № 2. С. 88-96.
- Соловьев А.В., Палечек Т.Н., Палечек Р.М.* Тектоностратиграфия северной части Олюторской зоны (Корякское нагорье, район бухты Анастасии) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 4. С. 92-105.
- Тучкова М.И., Крылов К.А., Григорьев В.Н., Маркевич П.В.* Особенности раннемеловой терригенной седиментации в Пенжинском преддуговом бассейне // Тихоокеан. геология. 2003а. Т. 22. № 3. С. 93-106.
- Тучкова М.И., Маркевич П.В., Крылов К.А. и др.* Минералого-петрографический состав и геодинамические условия накопления меловых отложений Пенжинской губы // Литология и полезные ископаемые. 2003б. Т. 38. № 3. С. 197-208.
- Чехович В.Д.* Тектоника и геодинамика складчатого обрамления малых океанических бассейнов. М.: Наука, 1993. 272 с.
- Шаниро М.Н.* Верхнемеловая Ачайваям-Валагинская вулканическая дуга и кинематика плит в Северной части Тихого океана // Геотектоника. 1995. № 1. С. 52-64.
- Arai S.* Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry // Mineralogical Magazine. 1992. Vol. 56. P. 173-184.
- 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. Vol. 26. P. 133-154.
- 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. Vol. 59. P. 139-154.
- Morton A.C., Hallsworth C.* Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones // Sediment. Geology. 1994, Vol. 90. № 3/4. P. 241-256.
- Nechaev V.P.* Evolution of the Philippine and Japan Seas from the clastic sediment record // Marine Geology. 1991. Vol. 97. P. 167-190.
- 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.
- Nisbet E.G., Pearce J.A.* Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1977. Vol. 63. P. 149-160.
- Nechaev V.P., Isphording W.C.* Heavy-mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments // *J. Sed. Petrol.* 1993. Vol. 63. № 6. P. 1110-1117.
- Tanahashi M.* Tectonics of the spreading center in the North Fiji Basin // *Bull. Geol. Surv. Japan.* 1994. Vol. 45. № 4. P. 173-234.
- Teraoka Y.* Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan // *Bull. Geol. Surv. Japan.* 2003. Vol. 54. № 5-6. P. 171-192.

**CLASTIC HEAVY MINERALS IN TERRIGENOUS ROCKS AS INDICATORS
OF GEODYNAMIC ENVIRONMENTS IN PALEOBASINS
OF THE EAST ASIA OROGENIC BELTS**

A.I. Malinovsky¹, P.V. Markevich¹, M.I. Tuchkova²

¹*Far Eastern Geological Institute, FEBRAS, Vladivostok, 690022*

²*Geological Institute RAS, Moscow, 109017*

In the paper the results of the study of the clastic heavy minerals from the structurally contrasting Cretaceous-Paleogene terrigenous assemblages of Sikhote-Alin and Kamchatka, as well as the Cenozoic sediments of the deep-water through Vanuatu, have been generalized. The data obtained have been interpreted on the base of their comparison with heavy mineral associations of the recent sediments, deposited in well-known geodynamic settings. It is shown that clastic heavy minerals of the sedimentary rocks, their relationship and the chemical composition of some minerals may serve as reliable indicators of different geodynamic environments and the related magmatic processes; moreover, they are useful for their identification within paleobasins of orogenic areas.