

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева

На правах рукописи

ДЕРКАЧЕВ Александр Никитович

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ОБСТАНОВОК
ПРИКОНТИНЕНТАЛЬНОГО ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ТИХОГО ОКЕАНА**

Специальность: 25.00.28 - океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Владивосток, 2008

Работа выполнена в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской Академии Наук

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук Г.Л. Кириллова
(ИТиГ ДВО РАН)
доктор геолого-минералогических наук Ю.А. Мартынов
(ДВГИ ДВО РАН)
доктор геолого-минералогических наук Л.А. Изосов
(ТОИ ДВО РАН)

Ведущая организация:
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский

Защита состоится 16 сентября 2008 г. в час. на заседании диссертационного
совета Д 005.017.02 при Тихоокеанском океанологическом институте им. В. И. Ильичева
ДВО РАН
690041, Владивосток, ул. Балтийская, 43, ТОИ ДВО РАН
Тел.: (4232) 311400
Факс (4232): 312573
Е-

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тихоокеанского океанологического
института им. В.И. Ильичева

Автореферат разослан

2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.г.н.

Ф.Ф. Храпченков

Введение

Актуальность темы. Одной из важнейших проблем современной геологии является изучение истории становления и развития зон перехода от континента к океану. Эта проблема охватывает самый широкий круг вопросов, среди которых одним из приоритетных является изучение процессов образования и эволюции осадочных бассейнов, закономерностей формирования и размещения в них полезных ископаемых. Осадки и осадочные породы несут многообразную информацию об условиях, сопутствующих их формированию, являются своеобразной летописью происходящих событий. В связи с этим, разработка критериев диагностики обстановок осадконакопления приконтинентальных осадочных бассейнов по комплексу структурных и вещественных характеристик современных отложений приобретает важное значение в качестве актуалистической модели при реконструкции условий образования древних толщ. Одним из наиболее информативных параметров, несущим значительную информацию о процессах, протекающих как в бассейнах осадкообразования, так и на прилегающих участках суши, является минералогический состав аллотигенных (кластогенных) компонентов осадков, в частности, ассоциации тяжелых порообразующих и акцессорных минералов [Батурин, 1947; Вийдинг, 1984; Емельянов, 1979; Казанский, 1983; Мурдмаа и др., 1979; Петелин, 1965, 1970; Петтиджон и др., 1976; Страхов, 1963; Лисицын, 1978, 1991; Mange, Maurer, 1991; Morton, Hallsworth, 1999 и др.]. Причем определенных успехов в решении задач по разработке критериев диагностики обстановок осадконакопления в значительной мере можно добиться только в результате обобщения и установления закономерностей образования минеральных ассоциаций в современных отложениях морей и океанов.

Цель и задачи исследований. Основная цель настоящей работы - установить закономерности пространственного распределения и формирования минеральных ассоциаций современных морских осадков в зависимости от факторов среды осадкообразования и на этой основе определить индикаторные признаки обстановок приконтинентального осадкообразования. Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи: 1) Изучить минералогический состав тяжелой подфракции осадков и установить особенности пространственного распределения кластогенных минералов; 2) Провести минералогическое районирование осадков окраинных морей; 3) Выявить основные источники поступления обломочных минералов и специфику формирования ассоциаций тяжелых минералов осадков в зависимости от структурно-тектонических, литодинамических и климатических факторов осадкообразования; 4) Установить парагенетические ассоциации минералов в осадках на основе

математических методов многомерной статистики, которые отличаются общностью процессов образования и выступающие в качестве информативных элементов разных геодинамических и литодинамических обстановок осадкообразования; 5) Разработать индикационные диаграммы, позволяющие по ассоциациям тяжелых минералов проводить оценку принадлежности исследуемых отложений к определенным структурно-тектоническим (геодинамическим) обстановкам их формирования; 6) Провести апробацию предложенного метода идентификации обстановок осадконакопления для отложений мезозойско-кайнозойского возраста.

Научная новизна. 1) Впервые по единой методике проведено изучение, обобщение и систематизация данных по минералогическому составу осадков окраинных морей, разнообразных по структурно-тектоническим и климатическим условиям седиментации. Выявлены закономерности пространственного распределения тяжелых минералов в осадках в зависимости от источников питания обломочным материалом и условий осадкообразования, проведено минералогическое районирование осадков по комплексу тяжелых минералов, дана развернутая характеристика минеральных ассоциаций провинций. 2) Впервые охарактеризована пространственно-временная изменчивость распределения минеральных ассоциаций в отложениях Охотского моря за период до 350 тыс. лет; прослежена интенсивность поставки и дальность разноса обломочного материала, поставляемого р. Амур и вулканами Курило-Камчатской провинции; выделены маркирующие прослои вулканических пеплов, что позволило дополнить и уточнить тефрохронологическую схему охотоморского региона. 3) Получены данные подтверждающие, что характерные особенности минерального состава петрографических типов питающих провинций сохраняются без значительного изменения в отложениях окраинно-морских седиментационных бассейнов, несмотря на некоторое осреднение и упрощение, вызванное влиянием гидродинамических факторов среды осадкообразования и климата. 4) Получены новые результаты по специфике формирования парагенезов тяжелых минералов в осадках окраинных морей, которые обосновываются математическими методами многомерной статистики. На этой основе выявлен характер влияния структурно-тектонического и литодинамического факторов на процессы осадкообразования. 5) Разработан принципиально новый методический подход (индикационные литогеодинамические диаграммы) оценки принадлежности исследуемых отложений к определенным геодинамическим обстановкам, основанный на исследовании парагенезов тяжелых минералов. В результате установлено, что для отложений бассейнов активной континентальной окраины характерны два генеральных тренда в распределении ассоциаций тяжелых минералов, которые являются индикаторами магматизма различных геодинамических обстановок: обстановок режима сжатия (островодужные обстановки субдукционного типа) и режима растяжения

(обстановки рифтогенного внутриплитного типа). 6) Показаны возможности и ограничения в применении данного методического подхода при палеогеодинамических реконструкциях древних осадочных бассейнов зоны перехода континент-океан.

Фактический материал и личный вклад автора. Основные положения работы и выводы базируются на результатах многолетних исследований автора по изучению осадков, отобранных в многочисленных экспедициях ТОИ ДВО РАН за период более 30 лет. Автор принимал непосредственное участие в 28 морских экспедициях на НИС «Каллисто», «Первенец», «Профессор Богоров», «Академик А. Несмеянов», «Академик А. Виноградов», «Академик М. Лаврентьев», «Маршал Геловани», «Sonne», «Miray», занимаясь отбором, первичным описанием колонок, минералогическим исследованием проб осадков, обобщением результатов комплексного изучения структурно-вещественного состава отложений изученных регионов. В основу работы положен оригинальный фактический материал, включающий 2085 минералогических анализов, выполненных в лаборатории седиментологии и стратиграфии ТОИ ДВО РАН по единой методике. Значительная часть анализов выполнена автором лично. В работе использованы также аналитические данные из многочисленных отечественных и зарубежных литературных источников по минералогии как современных (2723 анализа), так и более древних отложений морей и океанов (по колонкам и скважинам глубоководного бурения), осадочных пород складчатых комплексов Сихотэ-Алиня и Камчатки (суммарно 2880 анализов). Под руководством автора в лаборатории седиментологии и стратиграфии все данные по структурно-минералогическому составу осадков были сведены в компьютерную базу данных, которая включает порядка 22 тысяч гранулометрических и около 7.8 тысяч минералогических анализов. Автор теоретически обобщил обширный фактический материал, вошедший в базу данных, разобрал основы диагностики обстановок осадконакопления по комплексу минералогических признаков осадков, сформулировал доказательства основных положений, изложенных в данной работе. Исследования проводились в рамках ряда государственных программ - в основном, ФЦП «Мировой океан», международного российско-германского проекта КОМЕХ и, частично, по проектам РФФИ: № 04-05-64692-а, 03-05-65192-а и ДВО РАН: № 05-III-A-07-037.

Методы исследований. Кроме традиционных методов исследования (картирование компонентного состава осадков), в работе при изучении закономерностей пространственного распределения минеральных компонентов в осадках автор широко использовал математические методы многомерной статистики (Q- кластерный, Q- факторный и регрессионный анализы). Основой методического подхода при установлении причинно-следственных зависимостей в формировании минерального состава являлся анализ парагенетических ассоциаций, базирующийся на методах

корреляционного и R-факторного анализов. Для оценки эффективности проведенного минералогического районирования осадков и при разработке диагностических литогеодинимических диаграмм применялся метод дискриминантного анализа.

Степень обоснованности научных положений и выводов. Новые данные и результаты получены автором на основе обобщения большого фактического материала по минеральному составу современных осадков, вошедших в компьютерную базу данных. Основные выводы и защищаемые положения обосновываются не только традиционными геологическими методами картирования компонентного состава осадков, но и комплексом математических методов многомерной статистики, эффективность которых в применении к геологическим объектам доказана мировой практикой исследований.

Практическая значимость. Результаты выполненных исследований имеют не только фундаментальное, но и прикладное значение: многочисленные данные по структурно-минералогическому составу морских осадков, вошедшие в компьютерную базу данных, могут использоваться в практике геологических исследований при решении разноплановых задач, связанных с поиском полезных ископаемых и гидротехническим строительством на морском дне. Результаты исследований, положенные в основу работы, внедрены в практику геолого-съемочных работ при составлении «Карты четвертичных отложений», входящую в листы государственной геологической карты масштаба 1: 1000 000 (листы К-52, К-53), которые включают дно Японского моря в пределах экономической зоны России (договор с ОАО «Дальморгеология»), а также использовались при составлении серии карт вещественного и минералогического состава осадков Японского моря, вошедших в Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России, 2004». Реализованный в работе новый методический прием, направленный на идентификацию обстановок приконтинентального осадкообразования на основе исследования парагенезов кластогенных минералов осадков, позволит более объективно решать вопросы палеогеодинимических реконструкций разновозрастных осадочных бассейнов, их эволюцию в пространстве и времени. Данные по минералогии маркирующих пепловых прослоев могут быть применены при проведении литостратиграфической корреляции плейстоцен-голоценовых отложений Охотоморского региона и прилегающих районов Тихого океана. Выводы и представленный фактический материал могут рекомендованы в учебном процессе в ВУЗах при подготовке специалистов по морской геологии и литологии.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликованы 1 персональная и 10 монографий в соавторстве (3 в зарубежных изданиях), в том числе в Атласе «Геология и полезные ископаемые шельфов России, 2004», более 40 статей (из

них 14 в рецензируемых и зарубежных изданиях) и 14 тезисов. Основные научные результаты и отдельные положения диссертационной работы докладывались или представлялись и обсуждались на множестве совещаний различного уровня – от регионального до международного: на 5, 6, 8 Всесоюзных школах морской геологии (Геленджик, 1982, 1984, 1988); 13, 14, 15 Международных (Москва, 1999, 2001, 2003) и региональных (Тихоокеанских) школах морской геологии (Владивосток, 1983, 1987); II Всесоюзном съезде океанологов (Одесса, 1983); I и III советско-китайских симпозиумах «Геология, геофизика, геохимия и минеральные ресурсы окраинных морей Тихого океана» (Находка, 1987; Владивосток, 1989); Международных симпозиумах «Строение и динамика переходных зон» (Сочи, 1983); «Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона» (Владивосток, 1988); 2, 3 и 5 российско-германских совещаниях по программе KOMEX (Германия, Киль, 1999; Москва, 2000; Владивосток, 2004); Международном совещании «Computerised Modeling of Sediment System» (Германия, Густом, 1996); X Международном симпозиуме PAMS/JECSS Workshop «Pacific-Asian marginal seas» (Япония, Кагосима, 1999); I Всероссийском литологическом совещании «Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса» (Москва, 2000); Международном совещании «Climate Drivers of the North» (Германия, Киль, 2002).

Защищаемые положения. 1. Черты индивидуальности в распределении тяжелых минералов крупноалевритовой размерности, характеризующие специфику терригенно-минералогических провинций, прослеживаются на удалении первых сотен километров от побережья. Исключение представляют участки дна, находящиеся под влиянием твердого стока крупных речных систем, где дальность разноса обломочных минералов существенно увеличивается.

2. Ведущими факторами кластогенеза, которые определяют облик ассоциаций тяжелых минералов отложений окраинных морей активной континентальной окраины в пределах всех климатических поясов, являются состав комплексов пород питающих провинций и синседиментационный вулканизм.

3. Статистически установлены парагенезы тяжелых минералов, закономерно повторяющиеся в отложениях бассейнов окраинных морей, которые формируются в близких структурно-тектонических и литодинамических обстановках седиментогенеза. Ассоциации тяжелых минералов морских отложений, формирование которых связано с проявлениями островодужного магматизма, служат определяющими индикаторами геодинамических обстановок седиментационных бассейнов активных континентальных окраин тихоокеанского типа.

4. Создан принципиально новый методический подход (дискриминантные индикационные литогеодинамические диаграммы), позволяющий по ассоциациям

тяжелых минералов проводить оценку принадлежности исследуемых отложений к определенным геодинамическим обстановкам. В минеральных комплексах морских отложений активной континентальной окраины установлены два генеральных тренда в распределении ассоциаций тяжелых минералов – индикаторов магматизма различных геодинамических обстановок: 1) островодужного субдукционного типа и 2) рифтогенного внутриплитного типа.

5. Основные тенденции формирования минеральных ассоциаций в зависимости от геодинамических обстановок, установленные для современных морских осадков, в значительной мере прослеживаются в мезозойско-кайнозойских отложениях. Причина неоднозначности в идентификации геодинамических обстановок складчатых областей суши по ассоциациям тяжелых минералов заключается в существенном изменении состава исходных минеральных ассоциаций в результате прошедших постседиментационных процессов внутрислойного растворения неустойчивых минералов или в отсутствии в рассматриваемые геологические эпохи полных или близких современных аналогов геодинамических обстановок.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 396 с. состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы. Она включает 77 рисунков, 14 таблиц, список использованной литературы из 608 наименований и изложена на 327 с. машинописного текста. Приложение включает 17 с., которое содержит 8 таблиц. Работа выполнена в лаборатории седиментологии и стратиграфии и является составной частью плановых исследований по программам Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН.

Благодарности. Проведению исследований по теме диссертации способствовали консультации и обсуждение на разных этапах ее выполнения ряда вопросов с д.г.-м. н. Ф.Р. Лихтом, д.г.-м.н. М.Ф. Стащуком, д.г.-м.н. Е.П. Леликовым, д.г.-м.н. Л.М. Грамм-Осиповым, д.г.-м.н. А.И. Обжировым, чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. В.Г. Сахно, д.г.-м.н. И.А. Тарариным, д.г.-м. н. П.В. Маркевичем, д.г.-м.н. Б.И. Васильевым, д.г.-м.н. С.А. Горбаренко, а также с немецкими коллегами, участниками российско-германского проекта КОМЕХ (Г. Борманом, Й. Грайнертом, Н. Бибоу, К. Вальманом, Дж. Алоизи и др.). В ходе научных исследований и в процессе подготовки диссертации автор неоднократно пользовался советами и содействием сотрудников ТОИ ДВО РАН Ю.Д. Маркова, Н.А. Николаевой, И.В. Уткина, Ю.И. Коновалова, А.В. Можеровского, П.Я. Тищенко, В.Т. Съедина, С.П. Плетнева, которым выражает искреннюю признательность. Особенно полезным и плодотворным для автора было постоянное общение, дискуссии по многим проблемам с д.г.-м.н. Ф.Р. Лихтом. Автор выражает особую признательность Н.А. Николаевой за участие в аналитической обработке материалов и подготовке банка данных, И.В. Уткину за большую помощь в организации

компьютерной обработки (программное обеспечение) результатов исследований. Автор благодарит Г.А. Крайникова, А.И. Боцула и многих других сотрудников отдела геологии и геофизики ТОИ ДВО РАН за помощь в сборе и первичной обработке материалов, а также Т.Г. Лучиной за помощь в подготовке графического материала и корректуру рукописи работы. Автор выражает также глубокую признательность всем соавторам его научных публикаций.

Краткое содержание работы

Во введении показана актуальность проблемы, представлены цели и задачи исследований, сформулированы основные защищаемые положения, показана новизна исследований и практическая их значимость.

В первой главе «Основные определения, объекты и методы исследования» рассматриваются основные термины, характеризующие объект исследования, приводится фактический материал и показаны методы его аналитической обработки.

1.1. Основные определения и понятия. В главе рассматривается ряд точек зрения на термин континентальная окраина, показаны основные их типы. Континентальная окраина Западной части Тихого океана отличается сложным строением; в ее состав, кроме основных элементов (шельфа, материкового склона и его подножия) [Леонтьев, 1968; Щербаков, 1983], дополнительно входят котловины окраинных морей, островные дуги и сопровождающие их глубоководные желоба [Пушаровский, Меланхолина, 1992]. Несмотря на ряд различий, объединяющим признаком для них является характер процессов седиментации. Так, по современным представлениям седиментогенез в Мировом океане подразделяется на приконтинентальный (или окраинно-континентальный) и пелагический (или собственно океанический), отличающийся по характеру поставки, распределения и отложения осадочного материала [Безруков, Мурдмаа, 1971; Мурдмаа, 1987; Щербаков, 1983]. Главнейшим отличительным признаком приконтинентальной седиментации, как самостоятельного типа седиментогенеза, является преобладание терригенных обломочных и глинистых осадков и их значительные скорости накопления. Осадочный процесс здесь подчинен, в основном, динамическим факторам дифференциации (в водной толще и на морском дне) поступающего с суши осадочного материала [Алексеев и др., 1986; Павлидис, Щербаков, 1995; Свифт, 1978 и др.]. Большая часть этого материала осаждается в приконтинентальных областях, но распределение его отличается крайней неравномерностью [Лисицын, 1978, 1988].

Важной составной частью седиментологических исследований является реконструкция обстановок осадкообразования. Под термином «обстановка осадконакопления» понимаются условия и характер образования того или иного осадка, которые определяются особенностями рельефа, тектоники, геологического строения,

климата, динамики среды осадкообразования. Наиболее приемлемым, по мнению автора, определением седиментационной обстановки является то, в котором кроме среды осадкообразования учитываются (что особенно важно) и источники осадочного материала [Казанский, 1983]. Общеизвестно, что тектонические условия оказывают большое и многостороннее влияние на ход осадочных процессов в бассейнах седиментации, а также на состав возникающих осадков. Поэтому структурно-тектоническая неоднородность бассейна седиментации, как и зависящий от этого фактора состав пород источников сноса (петрофондовый признак), определяют геодинамическую сторону седиментационной обстановки. Динамическая (точнее литодинамическая) сторона обстановки определяется неоднородностью и интенсивностью воздействия ведущего гидродинамического фактора и спецификой его проявления в бассейне седиментации. Под действием этих ведущих факторов обособляются крупные обстановки осадконакопления, каждая из которых характеризуется типоморфными особенностями условий и процессов седиментации и определенным набором типов осадков, образующих тесные парагенетические ассоциации [Мурдмаа, 1987]. Поскольку геодинамика лежит в основе любых преобразований земной коры, то заложение седиментационных бассейнов и их эволюция зависят от характера геодинамических процессов. Следовательно, на первый план выходит задача поиска индивидуальных (индикаторных) парагенезов минералов отложений, свойственных той или иной геодинамической обстановке. Под индикаторным парагенезом минералов понимается закономерный комплекс парагенетически связанных компонентов осадков, свойственных седиментационным бассейнам, которые формируются в близких по структурно-тектоническим (геодинамическим) или литодинамическим обстановкам осадкообразования.

В разделе 1.2. «Материал и основные объекты исследований» даны сведения о фактическом материале, положенном в основу работы, приведены схемы минералогической изученности осадков окраинных морей, показаны основные объекты исследования. Выбор окраинных морей Востока Азии (моря Берингово, Охотское, Японское, Восточно-Китайское, Южно-Китайское и Филиппинское) и прилегающих районов Тихого океана в качестве объекта решения задач, поставленных в данной работе, обусловлен значительной контрастностью проявления многих природных факторов в пределах зоны перехода континент-океан: структурно-тектонических, геоморфологических, климатических, литодинамических, что дает основание более детально проследить их влияние на минеральный состав осадков. Для решения поставленных задач использован обширный оригинальный фактический материал по минералогическому составу осадков вышеперечисленных окраинных морей Востока Азии, менее представительный материал - по другим морям Западной части Тихого

океана (моря Банда, Сулавеси, Фиджи), желобам Тонга и Кермадек и ряду районов Мирового океана (западная, центральная и восточная части Тихого океана, Амирантский желоб и Сейшельская банка в Индийском океане, ряд участков в Северном море и море Лаптевых), а также многочисленные опубликованные данные по осадкам многих районов Атлантического, Северного Ледовитого, Индийского океанов и внутренних морей Евразии. Для проверки результативности методики диагностики обстановок осадконакопления по комплексу тяжелых минералов, предложенной в данной работе, привлечен материал по более древним отложениям морей и океанов (по колонкам и скважинам глубоководного бурения), данные по осадочным породам складчатых комплексов Сихотэ-Алиня и Камчатки.

В разделе 1.3. Методы исследования описаны методы анализа минералогического состава осадков, задействованные в работе, отражены приемы аналитической обработки и обобщения полученных массивов данных, в том числе с использованием математических методов многомерной статистики, приведены принципы гранулометрической типизации осадков.

1.3.1. Методы анализа минералогического и структурного состава осадков. В основу работы положено исследование обломочных (кластогенных) минералов тяжелой подфракции крупноалевритовой размерности иммерсионным методом – как наиболее представительной в видовом отношении минералов [Батулин, 1947; Лапина, Савинова, 1975; Петелин, 1961]. Кроме того, частицы данной размерности благодаря своим гидродинамическим свойствам, распространены в достаточном для анализа количестве в отложениях всех фациальных зон, от прибрежных до глубоководных частей морей, что дает возможность характеризовать широкий спектр обстановок осадконакопления. В данной работе под кластогенными понимаются минералы: а) поступающие с прилегающей суши (аллохтонные компоненты); б) образующиеся при разрушении коренных пород дна (эдафогенные компоненты); в) вулканокластические компоненты [Вийдинг, 1984; Казанский, 1976, 1983; Петелин, 1971]. Методически исследования включали анализ пространственного распределения отдельных минералов на основе картирования их процентных содержаний, особое внимание уделялось выделению территориально обособленных минералогических ассоциаций - терригенно-минералогических провинций, выделение которых проводилось на основе методов многомерной статистики: Q - модификации факторного и кластерного анализа. Эффективность проведенного разделения оценивалась с помощью дискриминантного анализа с расчетом уравнений линейных дискриминантных функций. Проводился расчет и анализ различных минералогических коэффициентов [Бергер, 1986; Деркачев, Николаева, 1997; Короткий, 1983; Игнатова, 1980; Методические..., 1981; Шиманович, 1982], изучалась структура корреляционных связей между минералами и удаленностью

от береговых питающих провинций, глубиной моря, гранулометрическим составом осадков и основными его статистическими параметрами (медианным диаметром, сортировкой и др.). Основой методического подхода при установлении причинно-следственных зависимостей в формировании компонентного состава осадков был принят анализ парагенетических ассоциаций минералов, выделение которых базировались на методах корреляционного и R-факторного анализов.

В разделе также показаны принципы типизации донных осадков по гранулометрическому составу, рассматривается классификационный треугольник, в основу которого положено трехкомпонентное соотношение размерных фракций: псаммитовой, алевроитовой и пелитовой [Лихт и др., 1985, 2002; Структура ..., 1983].

В разделе 1.3.2. Методы статистической обработки материалов исследований приведены сведения об особенностях использования математических методов многомерной статистики в обработке исходного эмпирического материала в применении к данным по минеральному и гранулометрическому составам отложений, изложены способы и методические приемы обработки, интерпретации полученных результатов. Выявление и оценка свойств больших объемов данных (сотни и тысячи объектов с десятками признаков) по донным осадкам, представляющих собой сложные системы с характерной изменчивостью свойств, обусловленной воздействием на них многих геологических факторов (процессов), проводилось с использованием методов многомерной статистики (корреляционный, факторный, кластерный, дискриминантный и регрессионный анализы) [Белонин и др., 1982; Букреева, 1989; Йереског и др., 1980; Кноринг, Деч, 1989; Формации..., 1981; Харман, 1972 и др.]. Неоспоримое преимущество перед другими методами и их высокая эффективность в применении к геологическим объектам доказана мировой практикой исследований [Харин и др., 1979; Формации ..., 1981; Chen et al., 1984; Firek, Shideler, 1977; Imbry, Van Andel, 1964; Knebel, Creager, 1974; McManus et al., 1977; Smosna et al., 1999; Wang, Liang, 1982; Wang et al., 1984 и мн. др.]. Факторный анализ применялся автором в двух модификациях (R-, и Q-факторный анализы) - метод главных факторов с варимаксным вращением [Девис, 1977]. Кластерный анализ в основном применялся в его Q-модификации при проведении минералогического районирования. Большая часть расчетов и их интерпретация была выполнена автором с помощью программ, дополненных и модифицированных И.В. Уткиным (ТОИ ДВО РАН) для персональных компьютеров на основе NDP-Fortran, которые выдавали исходные графические файлы, рассчитанные на просмотр в пакетах Grapher и Surfer с дальнейшей их обработкой в современных программах компьютерной графики Adobe Photoshop, Adobe Illustrator и Corel Draw. Часть расчетов (регрессионный и дискриминантный анализы) выполнялись с использованием прикладного пакета

программ Statgraf. Сервисные программы по расчетам различных минералогических коэффициентов была составлена автором на основе NDP-Fortran.

В главе 2 «Специфика приконтинентального осадкообразования в окраинных морях Западной части Тихого океана» показаны основные особенности тектоники зоны перехода континент-океан, приведены типы бассейнов окраинных морей, рассмотрена специфика мобилизации, выноса и распределения осадочного материала, дана характеристика источников обломочного вещества, поступающего в бассейны седиментации, рассмотрены основные типы донных осадков и особенности их формирования. Показано, что специфика приконтинентального осадкообразования в окраинных морях определяется, прежде всего, терригенной направленностью (преобладают терригенные обломочно-глинистые осадки) и влиянием вулканизма. Материалы, изложенные в главе 2, частично аргументируют первое и второе защищаемые положения.

2.1. Особенности структурно-тектонического строения зоны перехода континент-океан Западной части Тихого океана. Располагаясь на стыке двух геоструктур Земли – океана и континента, Западная часть Тихого океана характеризуется своеобразным геологическим строением, что дало основание ряду исследователей выделить ее в самостоятельную структуру - зону перехода (ЗП) между континентом и океаном тихоокеанского типа [Белоусов, 1982], иногда называемую зоной сочленения. Ее своеобразие проявляется в активности тектонических процессов, выраженных в высокой сейсмичности и проявлении вулканической деятельности, а также в сложном сочетании континентального и океанического типов земной коры с рядом промежуточных их типов [Пушаровский, Меланхолина, 1992; Белоусов, 1982; Меланхолина, 1998; Хаин, 1995 и др.]. Обычно в понятие ЗП тихоокеанского типа в широком смысле вкладывается комплекс таких структур: окраина континента, котловина окраинного моря, островная дуга и сопряженный с ней глубоководный желоб. В разделе рассматривается краткий обзор существующих гипотез на происхождение основных структурно-тектонических элементов зоны перехода континент-океан, приведена типизация задуговых бассейнов [Меланхолина, 1998; Уеда, 1988; Karig, 1971; Pacham, Falvey, 1971 и др.]. Показано, что значительная роль в формировании бассейнов окраинных морей принадлежит деструктивным процессам преобразования континентальной земной коры в результате рифтогенеза и дрейфа отдельных ее блоков вдоль разломов с формированием бассейнов типа пулл-апарт [Леликов, Карп, 2004; Филатова, 2004; Филатова, Федоров, 2003; Уткин, 1996; Jolivet et al., 1990, 1992; Kimura, Tamaki, 1986; Tamaki, Honza, 1991; Worall et al., 1996 и др.]. Важнейшими структурно-тектоническими элементами зоны перехода тихоокеанского типа являются вулканические дуги и сопряженные с ними глубоководные желоба. В разделе приводится краткий обзор представлений о генезисе и

типах островных вулканических дуг, которые развиваются на разнородном субстрате: континентальном, океаническом и переходном, или мафическом по В.И. Шульдинеру [Шульдинер и др., 1987]. Показано, что в качестве одного из главных индикаторов разных типов вулканических дуг является преобладающий тип магматизма, соответствующего различным геохимическим магматическим сериям [Богатиков, Цветков, 1988; Магматические. . . , 1987]; т.е., вещественный состав продуктов магматизма в значительной мере определяется влиянием фундамента или типа земной коры, на которой заложилась собственно вулканическая дуга. В этой связи целесообразно подразделять островные (вулканические) дуги на юные, развитые и зрелые [Богатиков, Цветков, 1988; Геосинклинальная.., 1984; Магматические.., 1987] или по другой терминологии - эпиокеанические (энсиматические) и эпиконтинентальные (энсиалические) соответственно.

2.2. Особенности мобилизации и выноса осадочного вещества. В разделе по литературным источникам приводится анализ природных факторов, влияющих на минеральный состав выносимого с суши осадочного материала. Значительная меридиональная протяженность окраинных морей Западной части Тихого океана с севера на юг (от субарктического до экваториального поясов) предопределяет изменение многих климатических показателей, что сказывается на подготовке, преобразовании и выносе осадочного вещества в конечные бассейны осадконакопления. Исследования, проведенные в разные годы [Короткий, 1983, 1985; Короткий и др., 1993; Игнатова, Чудаева, 1983; Разжигаева, 1990; Разжигаева, Чуян, 1984; Разжигаева, Ганзей, 1987; Структура осадков.., 1983; Chen, Zheng, 1987; Su et al., 1988; Li, Ye, 1987 и др.] свидетельствуют о том, что особенности современного климата и рельефа, при которых значительные площади водосборных бассейнов окраинных морей представляют собой горные сооружения, не способствуют глубокому гипергенному преобразованию пород. Основная роль в мобилизации осадочного вещества здесь принадлежит эрозионно-денудационным и абразионным процессам, в результате чего в конечные бассейны седиментации выносятся существенно «незрелое» обломочное вещество (преобладает комплекс неустойчивых и умеренно-устойчивых к выветриванию минералов), унаследованное от состава пород питающих провинций, т.е. ландшафтно-климатические условия не способствовали значительной трансформации исходного минерального состава, свойственного породам петрофонда. Исключение составляют лишь низкопорядковые речные системы с незначительным эрозионным врезом, в том числе дренирующие коры выветривания областей с теплым и влажным климатом, которые поставляют устойчивые к химическому выветриванию минералы [Короткий, 1983, 1985; Короткий и др., 1993; Разжигаева, 1990; Chen, Zheng, 1987; Su et al., 1988; Li, Ye, 1987 и др.]. Однако по распространенности и, особенно, по объемам поставок обломочного

материала в береговую зону они явно уступают веществу, поставляемому крупными и очень крупными речными системами и процессами абразии, дающими, в основном, минеральные ассоциации с преобладанием неустойчивых и умеренно устойчивых минералов. Важная роль поставки в моря существенно «незрелого» обломочного вещества принадлежит тропическим циклонам (тайфунам), во время прохождения которых за пределы береговой зоны выбрасывается значительная масса обломочного вещества без существенного преобразования его минерального состава.

2.3. Основные источники поступления обломочного вещества. Обломочный материал в бассейны окраинных морей поступает, в основном, с твердым речным стоком, а также в процессе абразии, ледового разноса, вулканизма, в меньшей мере - в результате склоновых процессов, подводной эрозии (эдафогенного фактора). Количественная оценка поставки осадочного материала некоторыми из них отражена в ряде публикаций [Лисицын, 1978; Структура осадков..., 1983; Современное..., 1997; Milliman, Meade, 1983 и др.]. Из этих данных следует, что максимальный терригенный снос (включая и абразионную компоненту поставки) приходится на южные моря субтропического, субэкваториального и экваториального поясов, величина которого в среднем в десятки раз превышает аналогичное значение для морей умеренного пояса [Современное..., 1997]. Важнейшими поставщиками осадочного материала здесь выступают реки Хуанхэ, Янцзы, Красная и Меконг, на долю которых приходится до 70% общего количества материала, поставляемого в окраинные моря.

Одним из источников поступления обломочного материала за пределы береговой зоны морей субарктического и умеренного поясов (Берингова, Охотского, частично Японского) являются припайные льды и, в меньшей мере, донные льды прибрежного мелководья, периодически выносящие в открытую часть моря огромное количество вмержших в лед алевроитов, песков и гравийно-галечного материала [Арчиков и др., 1982; Кононов и др., 1975; Лисицын, 1966; 1994; Sakamoto et al., 2005]. Количественно оценить этот вид поставки обломочного материала сложно, хотя вклад его, судя по большой примеси грубозернистых частиц в осадках северных морей (от 0,5 до 1000 кг/м³), в том числе, в толще глубоководных осадков, огромен [Лисицын, 1994]. Основные пути миграции этого материала практически совпадают с направлением постоянных течений.

К числу мощных источников поступления обломочного материала в окраинные моря относится вулканизм, масштабные влияния которого на осадконакопление свойственны как для современного [Горшков, 1981; Гущенко, 1979; Мурдмаа и др., 1969; Furstein, Hildreth, 1992; Furstein, Hildreth, 1992; Horn, Schmincke, 2000; Katsui, Yamamoto, 1981; Machida et al., 1990; Yang et al., 2004], так и для позднечетвертичного времени [Апродов, 1982; Брайцева и др., 2001; Гущенко, 1979; Braitseva et al., 1993; 1995; 1997; Machida, Arai, 2003 и мн. др.]. Основные районы его проявления приурочены к

протяженной системе островных дуг и лишь в редких случаях известны в задуговых бассейнах окраинных морей и на континенте. Для последних характерна приуроченность вулканов к областям тектоно-магматической активизации, с вытекающей отсюда спецификой состава продуктов извержений с ярко выраженной их щелочной направленностью (например, вулканы Пектусан на п-ове Корея и Уллындо в Японском море). В данном разделе обобщены сведения о наиболее значимых извержениях вулканов голоцена-позднего плейстоцена: возрасте извержения, объеме пирокластического материала, составе и типе вулканического стекла, парагенезах минералов, приведена сводная схема распространения наиболее известных пеплопадов, фиксируемых в отложениях окраинных морей [Braitseva et al., 1993, 1995, 1997; Machida, Arai, 2003; Zaretskaya et al., 2001], в том числе изученные и впервые идентифицированные автором [Горбаренко и др., 2000; Деркачев и др., 2004; Gorbarenko et al., 2002]. Ареалы крупных пеплопадов прослеживаются на расстоянии более 2000 км от центров извержений. Значительная поставка пирокластики в прилегающие акватории морей происходила и из других островодужных систем Западной части Тихого океана (Алеутской, Идзу-Бонинской, Марианской, Индонезийской, Тонга-Кермадекской, Новозеландской и др.) [Machida, Arai, 2003]. Однако ареалы пеплопадов многих из них из-за слабой изученности морских отложений прилегающих районов остаются неизвестными.

Наконец, еще одним источником поступления обломочного материала в морские осадки, который не поддается количественному учету в балансе осадочного вещества, является эдафогенная поставка за счет разрушения коренных пород дна в результате тектонических движений и, в меньшей мере, процессов подводного выветривания [Петелин, 1971]. Влияние этого источника уверенно прослеживается, прежде всего, в минеральном составе осадков, резко отличающегося от окружающих отложений.

2.4. Типы донных осадков и основные особенности осадкообразования (элементы зональности осадочного процесса). Данные по распределению типов донных осадков в окраинных морях отражены в многочисленных публикациях, большая часть которых была систематизирована и обобщена в коллективных монографиях сотрудников лаборатории седиментологии ТОИ ДВО РАН при непосредственном участии автора [Структура осадков., 1983; Современное., 1997]. В разделе приводятся сведения о структурно-вещественных типах донных осадков окраинных морей, сгруппированных по климатическим поясам. Показаны основные особенности процессов осадкообразования, отражены элементы зональности осадочного процесса и влияние азональных факторов седиментогенеза. Если для всех перечисленных морей общим является наличие признаков, характерных для приконтинентального седиментогенеза (высокие скорости седиментации и преимущественно терригенный профиль осадочного процесса), то для

Филиппинского моря эти признаки проявлены в меньшей степени, больше приближаясь к типичным океаническим бассейнам [Безруков и др., 1970; Геология дна..., 1980; Марков и др., 1977].

Суммируя полученные данные по особенностям осадкообразования в окраинных морях, можно заключить, что специфика приконтинентального осадкообразования характеризуется, прежде всего, преимущественно терригенной направленностью (преобладают терригенные обломочно-глинистые осадки) в бассейнах всех климатических поясов (от субарктического до субэкваториального); значительное влияние на процессы седиментогенеза окраины оказывает вулканическая деятельность. На фоне общих закономерностей зонального распределения осадочного материала отмечаются отклонения, обусловленные морфологией берегов - наличие заливов, выступов суши, островов, сужение акваторий, осложняющие циркуляцию водных масс и создающие во многих случаях «теневой» эффект (снижение гидродинамической активности вод и, как следствие, осаждение тонкой взвеси). К этим осложняющим факторам можно отнести также влияние рек с большими объемами твердого стока, в устьях которых и на прилегающем шельфе формируются обширные шлейфы (фаны) тонкозернистых осадков. Несмотря на огромный терригенный снос с материка, большие площади шельфа окраинных морей покрыты реликтовыми или палимпсестовыми осадками разного гранулометрического состава (гравийно-галечными, разнотернистыми песками, смешанными плохо сортированными песками и миктитам) [Структура осадков..., 1983; Современное..., 1997; Geology..., 1990; McManus et al., 1977; Marine Atlas..., 1990; Sediment ..., 1987 и др.]. На многих участках шельфа отчетливо фиксируются следы древних береговых уровней позднего плейстоцена-голоцена [Деркачев и др., 1993; Деркачев, Николаева, 1997; Хрусталева и др., 1988; Кайнозойская..., 1989; Марков, 1978; Разжиганова, 1990; Структура..., 1983 и др.].

В главе 3 «Особенности пространственного распределения тяжелых кластогенных минералов в осадках окраинных морей» проведен анализ распределения тяжелых минералов в поверхностном слое осадков, показаны основные источники их поступления, приведены схемы распределения отдельных минералов и их групп, проведено районирование всех окраинных морей по комплексу тяжелых минералов, дана детальная характеристика выделенных минералогических провинций. В основу районирования положен, в основном, оригинальный фактический материал автора с привлечением опубликованных данных. Материалы главы раскрывают первое и второе защищаемые положения.

3.1. Характерные черты распределения тяжелых минералов в осадках. В осадках окраинных морей в составе крупноалевритовой фракции обнаружено более сорока обломочных и аутигенных минералов и их разновидностей. В разделе дан анализ

пространственного распределения в поверхностном слое осадков окраинных морей роговых обманок (буро-зеленой, зеленой, бурой, базальтической, актинолита-тремолита), щелочного амфибола, моноклинного и ромбического пироксенов, щелочного пироксена, оливина, эпидота, хлорита, слюд, апатита, группы устойчивых минералов (циркона, граната, сфен, турмалина, анатаза, рутила), группы метаморфических минералов (силлиманита, андалузита, ставролита, дистена, корунда). Содержание минералов тяжелой подфракции в осадках колеблется в широких пределах (от единичных знаков до 95%), в распределении которой отчетливо проявлены признаки циркумконтинентальной (циркумтерральной) зональности - повышенные концентрации в прибрежных районах с постепенным уменьшением до долей процента к центральным частям моря. Прослеживается явная диспропорция в количественном содержании тяжелой подфракции в осадках приконтинентальных и приостроводужных районов, которая выражена в величии ее содержания в осадках областей проявления современного и четвертичного вулканизма, что согласуется с данными исследований по другим районам Мирового океана [Гершанович, 1975; Емельянов, Харин, 1982; Мурдмаа и др., 1979; Петелин, 1957; Свальнов, 1983; Харин и др., 1979 и др.].

3.2. Минералогическое районирование осадков окраинных морей. Важным видом исследований, позволяющим лучше понять особенности формирования минерального состава осадков, является выделение территориально обособленных минералогических ассоциаций (терригенно-минералогических провинций). В работе автор придерживается понятия терригенно-минералогической провинции, предложенного В.П. Батуриным [Батурин, 1937, 1947]. В разделе приводятся сведения по районированию осадков всех окраинных морей по комплексу тяжелых минералов. На основе собственных исследований автора приведены схемы минералогического районирования осадков Японского, Восточно-Китайского, Филиппинского, западной части Южно-Китайского морей [Деркачев, 1992, 1996, 2002; Деркачев, Николаева, 1992, 1993, 1997; Деркачев и др., 1993; Atlas., 2004; Derkachev, Nikolaeva, 1995, 1999; Nechaev, Derkachev, 1995]; выделены минеральные ассоциации и дан их анализ по осадкам малоизученных регионов: желобам Тонга и Новогеебридскому, осадкам моря Банда в восточной части Зондского архипелага. Систематизированы данные и дополнены схемы минералогических провинций осадков Берингова [Гершанович, 1975; Лисицын, 1966; McManus et al., 1977; Knebel, Creager, 1974; Venkataratham, 1971], Охотского [Гершанович, 1975; Петелин, 1957] и Желтого морей [Chen, 1982, 1989; Lee et al., 1990; Qin et al., 1990; Shen et al., 1984]. Дана детальная характеристика минеральных ассоциаций выделенных провинций, основные сведения по которым приведены в виде таблиц, включающих данные по содержанию отдельных минералов (максимальные, минимальные и средние значения) и их статистических параметрах (стандартное

отклонение, коэффициент встречаемости и ряд других). Специфика минерального состава провинций отчетливо раскрывается из анализа таблиц, основанных на коэффициентах концентрирования [Шиманович, 1982].

При рассмотрении пространственного распределения минералов в осадках окраинных морей прослеживается ряд особенностей. 1) Ареалы рассеяния тяжелых минералов главным образом имеют центростремительные тенденции, что согласуется с исследованиями по другим морским бассейнам [Емельянов, 1979; Лисицын, 1966, 1978, 1991; Мурдмаа и др., 1979; 1980; Петелин, 1957; Харин и др., 1979; Van Andel, 1964 и др.]. Это свидетельствует о ведущей роли состава пород областей сноса (петрофондовый признак) и гидродинамических процессов на формирование минерального состава осадков. Группа минералов, включающая щелочные пироксены и амфибол, подчеркивает специфику пирокластического материала извержений вулканов щелочной специализации областей тектоно-магматической активизации (например, вулкан Пектусан на п-ове Корея). Вулканокластические компоненты в осадках распознаются по типоморфизму минералов и ареалам их рассеяния. 2) Черты индивидуальности распределения, определяющие специфику терригенно-минералогических провинций, прослеживаются, как правило, на удалении первых сотен километров от побережий (обычно 150-250 км). На участках широких шельфов (Восточно-Китайское, Желтое моря, шельф Сунда в Южно-Китайском море и др.) и в районах, находящихся под влиянием твердого стока крупных речных систем, наблюдается увеличение дальности разноса обломочных минералов, что связано со значительными объемами поставки обломочного материала и его перераспределением в ходе гляциоэвстатических колебаний уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене. Существование морфологических ловушек осадочного материала (котловины окраинных морей и глубоководные желоба) и барьеров в виде системы островных дуг значительно ограничивают ареалы разноса обломочного материала, поступающего с прилегающей суши, что отличает по данному показателю обстановки окраинных морей от типичных обстановок бассейнов пассивной континентальной окраины. 3) Влияние гидродинамических процессов на распределение минералов на морском дне прослеживается в контрастном обособлении, с одной стороны, осадков с высокими содержаниями группы устойчивых минералов (циркона, граната, рутила, анатаза, темных рудных минералов), а с другой - осадков с высокими содержаниями слюд. Слюдистые ассоциации прослеживаются на двух уровнях - прибрежном и глубоководном. Первый максимум приурочен к закрытым и полузакрытым бухтам и заливам, устьям крупных рек и участкам разгрузки взвесенесущих потоков этих рек. Второй максимум (глубоководный) отмечается у подножия материкового склона и батимальных котловинах Японского и Восточно-Китайского морей (котловины

Цусимская, Оки, Хонсю, Окинава), в питающих провинциях которых широким развитием пользуются гранитно-метаморфические породы. 4). Эдафогенная поставка обломочного материала прослеживается на тех участках дна (крутые склоны глубоководных желобов, подводных хребтов и возвышенностей, склоны и днища рифтовых долин), которым свойственны замедленные темпы осадконакопления и резко ограничена поставка материала другого генезиса (терригенного, биогенного или вулканокластического). Пространственно этот процесс выражается в локальном увеличении содержания ряда минералов (эпидота, хлорита, актинолита, оливина, энстатит-бронзита, диопсида, хромита и других минералов) и в формировании специфических минеральных ассоциаций, резко отличных по составу от окружающих осадков, а также оторванностью ареалов их распространения от береговых питающих провинций. Дальность распространения такого материала незначительна (от десятков метров до нескольких километров, в редких случаях до первых десятков километров) и не сопоставима с распространением терригенного и вулканокластического материала.

В главе 4 «Закономерности формирования минералогических ассоциаций кластогенных компонентов осадков окраинных морей» устанавливаются ведущие факторы, определяющие особенности состава ассоциаций тяжелых минералов в отложениях современных седиментационных бассейнов активной континентальной окраины. К настоящему времени достаточно полно намечены основные или универсальные факторы кластогенеза, которые приводят к разнообразию минеральных ассоциаций в отложениях современных и древних осадочных бассейнов [Батурин, 1947; Бергер, 1986; Вийдинг, 1984; Гроссгейм, 1972; Емельянов, 1979; Казанский, 1976, 1983; Конюхов, 1987; Кухаренко, 1961; Лисицын, 1978, 1991; Логвиненко, 1980; Мурдмаа и др., 1979; Петелин, 1965, 1971; Петтиджон и др., 1976; Свальнов, 1983; Страхов, 1963; Хрусталеv, 1989; Шванов, 1992; Шутов, 1972; Dickinson, 1985; Maynard et al., 1982; Valloni, Maynard, 1981; Van Andel, 1964 и др.]. Установление значимости факторов кластогенеза на формирование минеральных ассоциаций конкретных минералогических провинций и является предметом исследований, представленных в данной главе. Материалы главы раскрывают второе и третье защищаемые положения.

4.1. Многомерные статистические модели минералогических ассоциаций осадков, их интерпретация и сравнительный анализ. Построение и анализ моделей, основанных на методах корреляционного и R-факторного анализов [Формации., 1981; Chen et al., 1984; Firek, Shideler, 1977; Imbry, Van Andel, 1964; Knebel, Creager, 1974; Smosna et al., 1999; Wang et al., 1984], позволяют наиболее полно раскрыть влияние осадкообразующих процессов в образовании минеральных ассоциаций осадков. Такой методический подход дает основание рассматривать выделенную минералогическую ассоциацию не как простое сонахождение минеральных индивидуумов, а вполне закономерное их

сочетание, обладающее значительной статистической устойчивостью набора этих компонентов, обусловленное действием определенных геологических процессов, что вполне согласуется с понятием парагенез или парагенезис [Геологические тела, 1986; Драгунов, 1968; Коржинский, 1973; Шатский, 1965]. Выделение подобных парагенезов минералов является важным звеном исследований при характеристике минерального состава отложений в качестве индикаторов определенных обстановок приконтинентального осадконакопления и их эволюции.

4.1.1. Парагенетические ассоциации тяжелых минералов осадков окраинных морей.

В разделе рассмотрены особенности формирования наиболее значимых парагенезов тяжелых минералов в осадках различных районов окраинных морей. Построение и детальный анализ нескольких десятков факторных моделей минерального состава провинций окраинных морей позволил установить статистически значимые обособления минералов, которые характеризуют разные типы изверженных и метаморфических пород или же группирующиеся по гидродинамическим свойствам (гидравлической крупности, устойчивости, миграционной способности), что позволило выявить источники поступления обломочного материала и степень его минералогической дифференциации [Деркачев, 1992, 1996, 2002; Деркачев, Николаева, 1992, 1993, 1997; Деркачев и др., 1993; Derkachev, Nikolaeva, 1995, 1999; Nechaev, Derkachev, 1995].

4.2. Основные парагенезисы тяжелых минералов осадков современных бассейнов приконтинентального осадконакопления и факторы кластогенеза, контролирующие их образование. В разделе показана роль основных факторов кластогенеза (тектонического, состава пород источников сноса, вулканизма, климата, гидродинамики), ответственных за формирование ассоциаций тяжелых минералов современных осадков.

4.2.1. Влияние состава пород источников сноса и вулканизма. Характер региональной изменчивости в распределении минералогических ассоциаций контрастно проявляется при сопоставлении их на базе Q-факторного анализа [Деркачев, Николаева, 1997; Деркачев и др., 2007; Derkachev, Nikolaeva, 2007]. Установлено, что в окраинных морях отчетливо отражается влияние двух основных региональных источников поступления обломочного материала: континентального и островодужного, примерно равных по своей значимости (рис. 1). *Первый фактор* объединяет минеральные ассоциации провинций, прилегающих к материковому побережью, разнообразному в структурно-тектоническом отношении, но с широким развитием пород (гранитно-метаморфических и осадочных пород докайнозойского возраста), свойственных зрелой континентальной коре. В минеральных комплексах доминируют роговые обманки и эпидот; повышенный фон содержаний характерен для слюд, актинолита, группы метаморфических (дистен, ставролит, андалузит, силлиманит) и устойчивых минералов (циркон, сфен, турмалин, гранат, рутил, анатаз).

Второй фактор объединяет минеральные ассоциации провинций, образование которых связано с неоген-четвертичной и современной вулканической деятельностью. Видовой состав минералов беден: в тяжелой фракции доминируют клино-, и ортопироксены (первые преобладают), высокие концентрации характерны для темных рудных минералов, а также в ряде мест - для оливина. Ассоциации этого типа непрерывной полосой протягиваются вдоль системы островных дуг (рис. 1), прослеживаясь на удалении до нескольких сотен километров в окраинных морях и значительно расширяясь в прилегающих районах Тихого океана. В структурно-тектоническом отношении положение ассоциаций не однозначно; большинство из них сопряжены с геодинамическими обстановками юных островных дуг (Марианская, Идзу-Бонинская, Тонга, Новогвинея), а также с обстановками зрелых и развитых островных дуг (Алеутская, Курило-Камчатская, Японская, Рюкю, Филиппинская, Зондская). Минеральные ассоциации с максимальными факторными нагрузками характеризуют провинции, сопряженные с энзиматическими островными дугами (островными дугами на океаническом основании): Идзу-Бонинской, Марианской и Новогвинейской. В их составе резко преобладает клинопироксен, реже - оливин (клинопироксена до 90% и более). Специфику обломочного вещества, поступающего с развитых и зрелых островных дуг, для которых характерен известково-щелочной магматизм, подчеркивают клино-, ортопироксеновые ассоциации с доминированием в их составе гиперстена, значимость которых подчеркивается *пятым* фактором.

Третий и четвертый факторы (с суммарным вкладом в изменчивость признаков около 20%) группируют ассоциации, в которые входят минералы с резко различными свойствами, по существу отражая процессы гидродинамической дифференциации осадочного вещества в бассейнах осадконакопления. *Третий* фактор объединяет ассоциации с высоким содержанием наиболее гидродинамически подвижных минералов, преимущественно слюд, фиксируя положение области осадконакопления, спокойные в гидродинамическом отношении. *Четвертый* фактор объединяет противоположную по свойствам группу минеральных ассоциаций, характерными компонентами которых являются устойчивые минералы: циркон, рутил, анатаз, гранат. Ассоциации этого типа развиты в основном на широких шельфах крупных заливов (Восточно-Корейском, Петра Великого, Де Лангля), Корейском проливе и проливе Оки в Японском море, шельфе Восточно-Китайского и Южно-Китайского (шельф Меконга) морей. Они, как правило, имеют локальное распространение и приурочены к реликтовым осадкам фаций подводного берегового склона либо к участкам дна, подверженным сильному влиянию приливно-отливных течений [Деркачев, 1996; Shen et al., 1984; Yokota et al., 1990 и др.].

Ряд деталей, подчеркивающих особенности формирования минерального состава осадков, просматривается также при анализе R-факторных моделей интегрированных

массивов данных, включающих общую выборку по всем окраинным морям. Выявлены закономерные сочетания минералов (парагенезы минералов), обладающие значительной статистической устойчивостью и постоянством корреляционных связей в близких по структурно-тектоническим и литодинамическим условиям областях. В результате установлена доминирующая роль геологического строения областей питания обломочным материалом в формировании состава ассоциаций тяжелых минералов, т.е., минеральные ассоциации осадков не могут настолько сильно измениться в ходе процессов седиментации, чтобы быть практически не узнаваемыми (обезличенными) при идентификации петрографических комплексов исходных материнских пород (или, иначе, петрографических типов питающих провинций). Значимость и важность этого вывода отчетливо подтверждается факторными моделями по составу первых факторов с максимальным вкладом в суммарную дисперсию изменчивости признаков. Естественно, петрофондовая предопределенность минеральных парагенезов осадков напрямую зависит от факторов более высокого ранга (надфактора или суперфактора [Бергер, 1986]), которыми являются структурно-тектонические особенности бассейна осадконакопления и его обрамления.

4.2.2. Влияние динамики среды осадкообразования. Дифференциация обломочного вещества по гидравлической крупности отчетливо проявляется уже при анализе схем распределения минералов на региональном уровне, когда прослеживаются участки дна с повышенным содержанием группы устойчивых минералов (циркон, рудные, гранат, анатаз и др.) или же участки, существенно обогащенные минералами с высокой миграционной способностью (слюды, хлорит и т.п.). Установлено, что роль динамики среды осадконакопления прослеживается также по структуре корреляционных связей между содержаниями минералов и гранулометрических фракций, по средним значениям минералогических коэффициентов в различных типах осадков. Так, для изученных окраинных морей наблюдается отчетливая общая тенденция уменьшения гидродинамической, химической и физико-механической устойчивости минеральных ассоциаций по мере уменьшения размерности осадков и ухудшения их сортировки [Деркачев, Николаева, 1993, 1997; Derkachev, Nikolaeva, 2007]. Процесс дифференциации минералов по гидравлической крупности фиксируют R-факторные модели по ряду шельфовых областей. Эталоном подобных моделей, отображающих процесс не только гранулометрического, но и минералогического разделения осадочного материала по гидравлической крупности (вплоть до минералогической сепарации), являются модели осадков шельфа залива Де-Лангля и Корейского пролива в Японском море, на которых проявляется отчетливая тенденция к разобщению групп минералов с разной плотностью и миграционной способностью и, соответственно, приуроченности устойчивых минералов к грубозернистым и хорошо отсортированным осадкам, а минералов с

меньшей плотностью - к тонкозернистым осадкам. По этому признаку довольно уверенно выделяются участки дна с разной интенсивностью проявления литодинамических процессов, особенно в пределах береговой зоны и внутреннего шельфа, подверженных волновому воздействию. Реликты подобных обстановок, но более древнего, раннеголоцен-плейстоценового возраста, прослеживаются на многих участках шельфа окраинных морей [Деркачев и др., 1993; Деркачев, Николаева, 1997; Марков, 1983; Разжигаева, 1990; Хершберг и др., 1982; Lee et al., 1988 и др.].

4.2.3. Значение климатического фактора. Не вызывает сомнения тот факт, что влияние климата на процессы осадконакопления в целом весьма существенно и многогранно, начиная с подготовки, транзита и выноса осадочного материала из областей мобилизации до его отложения в конечных водоемах стока [Страхов, 1963; Короткий, 1983, 1985; Лисицын, 1978, 1981, 1991; Павлидис, Щербаков, 1995; Хрусталеv, 1989; Щербаков, 1983 и др.]. Как известно, влияние климата на минеральный состав отложений, прежде всего, проявляется в изменении в процессе химического выветривания относительно неустойчивых минералов и как результат – обогащение коррелятных отложений конечных водоемов стока группой устойчивых минералов. Однако для крупных седиментационных бассейнов, каковыми и являются окраинные моря, подобная тенденция не просматривается. Установлено, что для осадков морей активной континентальной окраины в основном характерны незрелые минеральные ассоциации (с доминированием неустойчивых к выветриванию минералов) для бассейнов всех климатических поясов. Как показывают проведенные исследования, значительная роль климата в формировании состава минеральных ассоциаций обломочной части морских осадков (песчано-алевритовых фракций) окраинных морей выражено лишь на сравнительно небольших участках прибрежного мелководья в условиях экваториального и субэкваториального пояса, где на побережье развиты мощные коры выветривания [Короткий и др., 1993; Derkachev, Nikolaeva, 1999; Li, Ye, 1987; Su et al, 1986; Sun, 1990]. Характерно, что и для минеральных ассоциаций осадков субэкваториального пояса заметны значительные колебания зрелости минеральных ассоциаций: от высоких значений (например, шельф Сунда) до низких, свойственных обстановкам материкового склона и глубоководных котловин Южно-Китайского моря. Здесь крупные транзитные реки (р. Меконг, Красная и др.), дренирующие сильно расчлененные горные сооружения с мощным эрозионным врезом в неизменные породы, выносят слабо измененный процессами выветривания обломочный материал, таким образом существенно маскируя влияние климатического фактора.

Основная причина формирования незрелых минеральных комплексов осадков окраинных морей заключается, прежде всего, в тектонической активности обрамляющей суши, вызывающей интенсивный эрозионный врез, превышающий зону гипергенеза, а

также в существенном влиянии процессов вулканизма. Суммируя полученные данные по четвертой главе можно заключить, что в морских бассейнах активной континентальной окраины климатический фактор (даже в пределах субэкваториального пояса) не искажает специфику ассоциаций тяжелых минералов, свойственных петрографическим комплексам пород питающих провинций. В таком случае ведущим фактором кластогенеза, ответственным за формирование ассоциаций тяжелых минералов, является неоднородность состава пород питающих провинций (петрофондовый признак) и синседиментационный вулканизм, что в целом характеризует структурно-тектоническую (геодинамическую) сторону обстановок конкретного седиментационного бассейна. Определенные коррективы в формирование облика минеральных ассоциаций вносят гидродинамические факторы.

В главе 5 «Информативность минеральных ассоциаций осадков при идентификации обстановок приконтинентального осадкообразования» определены критерии диагностики различных сторон (структурно-тектонических, литодинамических) обстановок осадконакопления в окраинно-морских седиментационных бассейнах по комплексу минералогических компонентов осадков. Автором разработан и предложен принципиально новый тип индикационных диаграмм, позволяющих по ассоциациям тяжелых минералов отображать структурно-тектонические (геодинамические) особенности формирования бассейнов осадконакопления. Материалы главы отражают суть четвертого защищаемого положения.

5.1. Ассоциации тяжелых минералов осадков как индикаторы обстановок осадкообразования

5.1.1. Методы отображения обстановок осадкообразования по минералогическим признакам осадков. В практике исследований осадочных пород (при проведении литостратиграфической корреляции осадочных толщ, сравнении их по степени зрелости, фациально-генетическом анализе отложений, при палеогеографических реконструкциях) применяются многочисленные минералогические коэффициенты: устойчивости, ZTR-индекс, фациально-динамический, коэффициент гравитационного накопления, баллы гидродинамической, физико-механической и химической зрелости и т.д. [Бергер, 1986; Дромашко, 1981; Казаринов и др., 1969; Короткий, 1983; Лунев, 1967; Окнова, 1977; Сигов, 1960; Шиманович, 1982; Hubert, 1962; Morton, Hallsworth, 1994 и др.]. Однако подобные коэффициенты, как правило, не раскрывают в должной мере особенности обстановок осадконакопления по минералогическим критериям. Наиболее известные на настоящий момент диагностические диаграммы, призванные реконструировать тектонические обстановки областей питания и бассейнов седиментации, основаны на исследованиях главных пороодообразующих компонентов песков и песчаников

[Dickinson , 1982; Dickinson, Suczek, 1979; Dickinson, Valloni, 1980; Dickinson et al., 1983; Kumoi, Kiminami, 1994; Maynard et al., 1982; Valloni, 1985; Valloni, Mezzadri, 1984]. Следует отметить, что результаты исследований тяжелых минералов в качестве индикаторов определенных обстановок осадконакопления, выглядят значительно скромнее, чем обобщения по легким пороодообразующим минералам. Одну из первых попыток построения подобных диагностических диаграмм предпринял В.П. Нечаев, опираясь на представления тектоники литосферных плит [Нечаев, 1987; Нечаев, Деркачев, 1989; Nechaev, 1991; Nechaev, Isphording, 1993]. Близкие по смысловой нагрузке и методу представления диаграммы были предложены также автором [Деркачев, 1996; Деркачев, Николаева, 1993, 1997]. Необходимо признать, что работы в этом направлении только начаты и далеки от завершения. Поэтому автор основные усилия в решении данной проблемы направил на использование более обширного и представительного фактического материала по разным регионам Мирового океана и вовлечение в рассмотрение более широкого спектра обломочных тяжелых минералов.

5.1.2. Оценка геоструктурной позиции бассейнов осадконакопления по соотношению тяжелых кластогенных компонентов осадков. В разделе рассмотрена методика разработанных автором диагностических диаграмм, которые позволяют оценивать по ассоциациям тяжелых минералов обстановки осадконакопления, характеризующие, прежде всего, их структурно-тектоническую или геодинамическую сторону. Приведены классификационные диаграммы и отражена интерпретация выделенных на них полей.

В настоящее время практически не вызывает сомнения тот факт, что минеральный состав морских осадков непосредственно зависит от той геодинамической ситуации в бассейне осадконакопления, которая сложилась на момент его формирования. Об этом свидетельствуют многочисленные исследования по минералогии разновозрастных отложений, а также обобщения автора, приведенные в данной работе. С другой стороны, представление о связи состава продуктов магматизма со структурно-тектоническими режимами земной коры (т.е. индикаторная роль магматизма в отражении определенных геодинамических обстановок) является общепризнанным [Богатиков, Цветков, 1988; Гордиенко, 2004; Магматические..., 1987; Pearce, Cann, 1971, 1973 и др.]. Поэтому с учетом установленных автором закономерностей в формировании парагенетических ассоциаций тяжелых минералов в разных типах седиментационных бассейнов становится очевидной необходимость прослеживания вполне определенной цепочки взаимосвязей между минеральным составом осадков и петрографическими комплексами пород (в том числе продуктами магматизма) и, соответственно, геодинамическими обстановками.

При разработке диагностических диаграмм с учетом ассоциаций тяжелых минералов, названных автором *индикационными литогеодинамическими диаграммами*, за основу

был взят метод дискриминантного анализа, что позволило выявить в пространстве, определенном дискриминантными функциями, ряд полей, которые характеризуют отложения седиментационных бассейнов, сопряженных с определенными геодинамическими обстановками [Деркачев, Николаева, 1997, 2000; Деркачев и др., 2007; Derkachev, Nikolaeva, 2007]. Данные по минеральному составу тяжелой фракции осадков были предварительно сгруппированы в ассоциации, в которые вошли минералы, характеризующие специфику состава комплексов магматических и метаморфических пород (рис. 2). Исходная выборка минералогического состава отложений была разделена на одиннадцать групп (категорий), в которые вошли минеральные ассоциации бассейнов, сопряженных с: 1) юными островными дугами; 2) глубоководными желобами; 3) развитыми и зрелыми островными дугами; 4) мезозойско-кайнозойскими вулканическими поясами; 5-7 - молодыми (альпийскими) складчатыми областями, сложенными преимущественно: 5) вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами, 6) гранитно-метаморфическими и 7) осадочными породами; 8) древними складчатыми областями с преимущественным развитием гранитно-метаморфических пород и их осадочных дериватов; 9) древними платформами докембрийского возраста; 10) выступами кристаллического фундамента (щитами); 11) областями тектоно-магматической активизации с проявлением вулканизма. На представленных диаграммах (рис. 2), отчетливо выделились минеральные ассоциации осадочных бассейнов, сопряженных с геологическими структурами с разным типом земной коры. Причем установлены характерные тренды (рис. 2, врезка А), обусловленные проявлениями магматизма фемического типа и которые можно связать с обстановками режима сжатия (*островодужного или субдукционного типа*) и режима растяжения (*рифтогенного внутриплитного типа*). Первый тренд (Is) начинают минеральные ассоциации юных (энсиматических) островных дуг, заложение и развитие которых происходит на земной коре океанического типа. Далее данный тренд продолжают обстановки развитых и зрелых (энсиалических) островных дуг, характеризующихся субконтинентальным или континентальным типом земной коры. Внутриплитный тренд (Pto), который характеризует обстановки режима растяжения, образуют минеральные ассоциации, свойственные внутриокеаническим поднятиям, рифтовым образованиям, островам на срединно-океанических хребтах. Он характерен для минеральных ассоциаций, производных от магматических пород основного - ультраосновного ряда. К данному тренду тяготеют ассоциации, не имеющие на первый взгляд, никакого отношения к внутриокеаническим обстановкам. Это ассоциации областей тектоно-магматической активизации на континенте с проявлением базальтового магматизма (платоэффузивы, траппы). Главный источник обломочных минералов – основные изверженные породы толеитовой, субщелочной и щелочной серий.

Минеральные ассоциации внутриокеанических обстановок (поле IV) вписываются в океанический тренд. Типичными представителями являются минеральные ассоциации осадков центральный районов Тихого океана [Nechaev, 1991] и склонов океанических островов и поднятий (например, район о-вов Самоа) [Деркачев и др., 1989]. В минеральном комплексе доминирует клинопироксен и оливин при довольно изменчивом количественном их соотношении; характерен резкий дефицит ортопироксена. В качестве примеси отмечаются титанистый клинопироксен и бурая роговая обманка, редко биотит и эгирин-авгит. К этому же полю тяготеют и минеральные ассоциации, характеризующие структуры островных поднятий на срединно-океанических хребтах (характерные представители - провинции Северной Атлантики: Исландская, Фарерская, Ян-Майенская, Азорская).

Минеральные ассоциации глубоководных желобов и рифтовых долин океана (поле X). По мере усиления влияния на минеральный состав осадков продуктов разрушения метабазитов, метаморфических сланцев, пород основного - ультраосновного состава, слагающих океанический фундамент, океанический тренд приближается к максимальному проявлению эпидот-актинолит-хлоритовой ассоциации (рис. 2б). Минеральный состав довольно изменчив в различных структурах и зависит от разрушаемого на дне комплекса пород фундамента (эдафогенная поставка обломочного материала). Выделяется несколько характерных минеральных ассоциаций: оливин - энстатит-бронзит - диопсид (диаллаг)- хромшпинель (в легкой фракции – серпентин, тальк); актинолит-тремолит - эпидот - хлорит - антофиллит - клинопироксен, кальцит; оливин – клинопироксен, что в целом соответствует известным минеральным комплексам эдафогенных отложений, соответственно гипербазитовому, зеленосланцевому и базальтовому [Петелин, 1971; Мурдмаа, 1976; Мурдмаа, Розанова, 1979]. Осадки с подобным минеральным составом имеют локальное распространение и известны в глубоководных желобах Западной части Тихого океана (Марианском, Палау, Яп, Филиппинском [Мурдмаа и др., 1980; Скорнякова и др., 1978], а также изучены автором в желобах Идзу-Бонинском, Волкано, Тонга [Деркачев и др., 1989]), в Амирантском желобе Индийского океана [Деркачев и др., 1997], внутриокеанских рифтах [Безруков и др., 1972; Розанова, 1971; Мурдмаа, Розанова, 1976], и рифтовых депрессиях задуговых бассейнов окраинных морей [Нечаев и др., 1989; Nechaev, Derkachev, 1995]. Для эдафогенных минеральных ассоциаций желобов характерен латеральный переход в типично островодужные минеральные комплексы, что отличает их по этому признаку от однотипных ассоциаций внутриокеанических структур.

Минеральные ассоциации седиментационных бассейнов островодужного или субдукционного ряда на приведенной диаграмме (рис. 2) образуют характерный тренд распределения, подчеркивающий специфику седиментационных обстановок активных

континентальных окраин. К ним отнесены минеральные ассоциации бассейнов, сопряженных с островными дугами разного типа: юными (эпиокеническими, или энсиматическими) (поле I), развитыми и зрелыми (энсиалическими) (поля II и III) островными дугами. В минеральных ассоциациях, связанных с *юными островными дугами*, доминируют клинопироксен и оливин с резким преобладанием клинопироксенов и подчиненной ролью ортопироксена и роговой обманки; слабо или практически не выражена ассоциация сиалической группы минералов. Основным источником обломочного материала здесь выступают продукты вулканической деятельности, представленные эффузивно-пирокластическими породами преимущественно толеитовой серии. Типичными представители - минеральные ассоциации островных дуг Идзу-Бонинской, Волкано, Марианской, Тонга-Кермадекской, Новогейбридской. *Минеральные ассоциации геодинамических обстановок развитых и зрелых островных дуг* образуют компактный ареал рассеяния (поля II и III) с явно выраженным трендом вдоль линии пропорциональных содержаний клинопироксен-ортопироксеновых парагенезов с некоторым смещением в сторону роговообманковой компоненты. Наиболее характерными для отложений данной геодинамической обстановки являются двупироксеновые минеральные ассоциации с изменчивым соотношением ведущих компонентов, которые в общих чертах соответствуют макрокомплексу андезитового пояса, выделенного в осадках Тихого океана [Петелин, 1965; Лисицын, 1978; Мурдмаа, 1971; Мурдмаа и др., 1979]. Характерные представители - минеральные ассоциации островных дуг Алеутской, Курило-Камчатской, Японской, Рюкю, Филиппинской, Зондской, Банда, Новозеландской. Главным источником поступления обломочных минералов здесь выступают островодужные дифференцированные комплексы вулканических пород преимущественно известково-щелочной серии. В разделе кратко описана специфика магматизма островодужных структур этого типа и характеристикой основных парагенезов минералов изверженных пород [Авдейко и др., 1989, 2002; Пискунов, 1987; Подводный вулканизм..., 1992; Aramaki, Ui, 1982; Geology of ..., 1991; Kuno, 1959; 1965]. Затронуты также вопросы влияния на минеральные комплексы осадков окраинных морей базальтового магматизма с внутриплитной геохимической спецификой, проявленного в условиях задугового растяжения или инициального окраинно-морского рифтогенеза [Мартынов, 1999; Филатова, 2004; Филатова, Федоров, 2003; Nakamura, 1977], приведены примеры минеральных ассоциаций этого типа, отличающиеся высоким содержанием клинопироксена и оливина.

В ряде районов тыловых зон зрелых островных дуг с достаточно мощной континентальной корой получил распространение вулканизм, в продуктах извержения которого доминируют водные алюмосиликаты - роговая обманка и биотит. С извержениями этого типа связано формирование специфических минеральных

ассоциаций, в составе которых присутствуют вулканогенные роговые обманки (бурая и базальтическая) при подчиненном количестве пироксенов и биотита (например, Западно-Филиппинская провинция).

Минеральные ассоциации седиментационных бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными вулканическими поясами (поле V), развиты вдоль побережья, занимаемого окраинно-континентальными вулкано-плутоническими поясами (Охотско-Чукотским, Сихотэ-Алинским, Хонсю-Корейским и др.). В составе минеральных ассоциаций доминируют эпидот, клинопироксен и группа роговых обманок при явно выраженном преобладании эпидота (отдельные максимумы до 80%). От типичных островодужных минеральных комплексов их отличает сильный тренд в сторону роговообманковой и, особенно, эпидот-хлоритовой группы минералов (рис.2 б) - типичных представителей метаморфических пород низких степеней метаморфизма, а также увеличение количества сиалических минералов гранитоидного ряда (циркона, апатита, турмалина и др.).

Минеральные ассоциации бассейнов, сопряженных с окраинно-континентальными обстановками геодинамических режимов растяжения (рифтогенеза) (поле IV), реализуются в широком диапазоне тектонических обстановок, с которыми связано формирование значительных покровов эффузивов основного состава (трапповые формации древних областей консолидации, покровы кайнозойских платобазальтов областей тектоно-магматической активизации, в том числе, континентальных рифтов). В Японском море характерными представителями являются минеральные ассоциации провинций северо-западной части Татарского пролива (например, Совгаванская) и района о-вов Оки и п-ова Симанэ у юго-западного побережья о. Хонсю [Yokota et al., 1990]. Заметно влияние подобных комплексов пород на минеральный состав осадков и в заливе Петра Великого (Шуфанские и Шкотовские платобазальты). Во всех этих областях распространены покровы кайнозойских (неоген-четвертичных) платобазальтов, в образовании которых ведущая роль принадлежит разрывной тектонике, сопровождаемой процессами растяжения и рифтогенеза [Тихоокеанская окраина., 1991; Мартынов, 1999; Ярмолюк, Коваленко, 1995 и др.]. Минеральные ассоциации этого типа представлены преимущественно клинопироксеном, отмечается повышенное содержание оливина. Характерной особенностью минерального комплекса является резкий дефицит содержаний ортопироксена, что сближает их по этому признаку с ассоциациями внутриокеанических обстановок. Известно, что обстановкам тектонического растяжения (континентальные и внутриокеанические рифты) свойственна близость петрографического и, соответственно, минералогического состава пород, как в качественном, так и в количественном отношении. Поэтому не удивительно, что к полю IV, характеризующему, в основном, платобазальты, примыкают, или же частично

перекрываются с ним, минеральные ассоциации внутриокеанических островов и поднятий, а также ассоциации, свойственные внутриконтинентальным рифтам (например, Принильская провинция Средиземного моря). Сюда же примыкают и ассоциации трапповой формации древних платформ.

Индикатором обстановок областей тектоно-магматической активизации в пределах континентального обрамления окраинных морей являются также минеральные ассоциации, свойственные наиболее кислым дифференциатам магм субщелочного и щелочного состава. Наиболее яркими представителями минеральных ассоциаций этого типа являются провинции Центрально-Япономорская и Уллындо в Японском море. Наряду с преобладанием клинопироксенов над ортопироксенами, для них характерно высокое содержание щелочных пироксенов и амфиболов (эгирин-авгит, акмит, эгирин, арфведсонит-рибекит), в ряде случаев (ассоциация вулкана Уллындо) отмечается увеличение содержания бурых роговых обманок, биотита, апатита.

Минеральные ассоциации седиментационных бассейнов, сопряженных с древними орогенными областями и щитами (поля VI и VII). Главная роль в минеральных комплексах принадлежит буро-зеленым и зеленым роговым обманкам, в меньшей мере - эпидоту и группе акцессорных минералов гранитно-метаморфических пород (циркон, апатит, сфен, турмалин и др.). В зависимости от соотношения ведущих групп минералов выделяется несколько полей, свойственных, с одной стороны, разновозрастным складчатым областям с преобладанием в петрофонде осадочных и гранитно-метаморфических пород (поле VI), а с другой - выступам кристаллического фундамента древних платформ (щитам) докембрийского возраста (поле VII). Как следует из рис. 2 эти поля значительно перекрываются; для минеральных ассоциаций орогенных областей (поле VI) отмечается более широкий ареал рассеяния в сторону группы минералов зеленокаменного метаморфизма за счет увеличения доли метаосадочных пород в составе древних складчатых областей. Минеральные ассоциации окраинных морей, характеризующие рассматриваемые обстановки, представлены провинциями западной части Охотского моря (в том числе ассоциации бассейна р. Амур), а также провинциями, прилегающими к побережью Южного Приморья, Кореи, Китая и Индокитая.

Минеральные ассоциации седиментационных бассейнов, сопряженных с древними платформами (поля VIII и IX). В их составе доминирует группа наиболее устойчивых к физико-химическому выветриванию минералов гранитно-метаморфических пород: циркон, турмалин, анатаз, рутил, гранат, дистен, ставролит, силлиманит и другие минералы пород высоких степеней метаморфизма. Первое поле (VIII) характеризует ассоциации, свойственные собственно отложениям чехла древних платформ. Они отличаются, прежде всего, высоким содержанием циркона, граната и других

метаморфических минералов. Эпидот, хлорит и группа роговых обманок содержатся в примерно равных с ними количествах, а во многих случаях и уступают им. Типичными представителями этого типа минеральных ассоциаций являются провинции южной части Балтийского моря, внутренних морей Евразии, Бенгальского залива и Тиморского моря в Индийском океане, восточного побережья Северной Америки. В окраинных морях Западной части Тихого океана ассоциации этого типа встречаются довольно редко. Они отмечены в прибрежных отложениях северных частей Сиамского и Тонкинского заливов, шельфе Сунда в Южно-Китайском море и спорадически - в отложениях Желтого моря и Восточно-Корейского залива Японского моря. Второе поле (IX) занимают наиболее зрелые минеральные ассоциации, основным компонентом которых является циркон. Образование их произошло в результате глубокой дифференциации обломочного материала по гидравлической крупности в волновом поле. К этому же полю тяготеют и минеральные комплексы, формирующиеся за счет разрушения коры выветривания гранитоидов. Необходимо отметить, что за исключением редких случаев, для современных морских отложений подобные минеральные ассоциации не характерны. Из всего многообразия представительной выборки, задействованной в работе, практически не встречаются ассоциации подобного типа (рис. 4 б).

5.2. Индикаторные свойства структурно-минералогических парагенезов осадков при отражении динамики среды осадкообразования. В разделе рассмотрены ряд приемов оценки информативности минерального и гранулометрического состава отложений при характеристике литодинамических сторон процессов седиментации. В работе при диагностике динамических сторон процессов седиментации учитывался пространственно-временной анализ распределения различных минералогических коэффициентов (фациально-динамического, баллов гидродинамической, физико-механической, миграционной устойчивости и т.п.) и исследованию парагенетических ассоциаций минералов. Показано, что парагенезы тяжелых минералов, группирующиеся по близким физико-механическим свойствам и гидравлической крупности отражают процесс селективной сортировки обломочного материала, в результате чего удастся выделять в пределах изучаемых участков зоны с разной интенсивностью проявления литодинамических процессов. Приведены примеры таких построений для шельфа заливов Де-Лангля, Петра Великого, Восточно-Корейского (Японское море), шельфа Вьетнама в Южно-Китайском море. Показано, что наиболее отчетливо в пределах шельфа окраинных морей по минеральному составу диагностируются участки дна, характеризующие высокоэнергетические обстановки осадконакопления, осадки которых соответствуют большей частью фациям подводного берегового склона и пляжа (в том числе и реликтовые). К этому же типу относятся и зоны интенсивной эрозии осадков под действием приливно-отливных и дрейфовых течений в узостях проливов и внешнем

шельфе. Индикатором спокойных в гидродинамическом отношении обстановок выступают ассоциации наиболее подвижных минералов, представленных в основном слюдой и хлоритом. Показательны в этом отношении районы, прилегающие к областям древней консолидации, сложенные гранитно-метаморфическими породами (побережье Кореи, Китая и Вьетнама). Обычно минеральные ассоциации этого типа хорошо согласуются с участками высоких скоростей седиментации [Структура осадков..., 1983; Современное..., 1997]. Обоснованность литодинамических выводов возрастает в случае сопряженного анализа с результатами гранулометрического состава осадков. Так, на основе систематизации обширного фактического материала, входящего в компьютерную базу данных лаборатории седиментологии и стратиграфии ТОИ ДВО РАН, выявлены основные тенденции в формировании фракционной структуры осадков в различных ландшафтно-климатических и ландшафтно-динамических областях окраинных морей [Деркачев и др., 1997; Уткин, Деркачев, 1997]. В результате анализа нескольких десятков R-факторных моделей гранулометрического состава осадков установлены обособления одинаковых, взаимокоррелируемых совокупностей гранулометрических фракций с близкими по гидравлической крупности свойствами, закономерно повторяющиеся в однотипных, сходных по гидродинамическим условиям обстановках приконтинентального осадкообразования в бассейнах разных климатических зон, что дает возможность их применения в качестве седиментологических моделей, отражающих литодинамическую сторону обстановок осадконакопления.

В главе 6 «Сопоставимость ассоциаций тяжелых минералов отложений современных и древних осадочных бассейнов активной континентальной окраины» на основе сравнительного анализа с минеральными ассоциациями современных морских отложений (анализ индикационных литогеодинимических диаграмм) приводится оценка геодинамической позиции формирования седиментационных бассейнов в приложении к древним осадочным толщам. В качестве примера рассматривается идентификация обстановок осадконакопления для отложений разного возраста: плейстоценовых отложений Охотского моря, кайнозойских отложений ряда районов Мирового океана, вскрытых скважинами глубоководного бурения, отложений складчатых и складчато-надвиговых областей мезозойско-кайнозойского возраста (Сихотэ-Алинь и Корякско-Камчатский регион). Материалы главы отражают пятое защищаемое положение.

В разделе 6.1. Сохранность информативных признаков минеральных ассоциаций при постседиментационных изменениях коротко рассмотрены основные факторы, влияющие на изменения минерального состава отложений при их постседиментационных преобразованиях [Копелиович, 1965; Логвиненко, 1968; Петтиджон и др., 1976; Холодов, 1985; Эпигенез..., 1971; Япаскурт, 1999; Morton, 1984 и др.]. По литературным

источникам приведены ряды устойчивости минералов к процессам внутрислойного растворения [Бергер, 1986; Mange, 2002; Mange, Maurer, 1992; Morton, 1984], акцентируется внимание на важности учета данного фактора при сравнительном анализе современных и древних отложений.

6.2. Оценка информативности минералогических признаков древних отложений при реконструкции обстановок осадконакопления и источников обломочного материала.

6.2.1. Морские голоценовые и плейстоценовые отложения. Для сравнения в качестве объекта исследований выбраны отложения Охотского моря, изученные по трем широтным профилям, пересекающих море от о. Сахалин к берегам Камчатки и Курильских островов [Деркачев и др., 2004]. На основе представительного фактического материала (545 минералогических анализов) выполнена корреляция изученных разрезов по комплексу тяжелых минералов, выявлены закономерности их пространственно-временного распределения для нескольких временных срезов голоцена-плейстоцена, установлены особенности в изменении условий поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море. Показано, что изученные отложения Охотского моря на литогеодинимических диаграммах полностью соответствуют и отражают минералогические идентификационные признаки условий формирования отложений, установленные по данным исследований современных осадков.

6.2.2. Морские и океанические отложения кайнозоя (по материалам глубоководного бурения). С помощью литогеодинимических диаграмм приводится сравнительный анализ минерального состава отложений кайнозойского возраста, вскрытых скважинами глубоководного бурения, ряда регионов Мирового океана, характеризующихся разной геодинимической позицией: Филиппинское и Японское море, склоны Японского и Центрально-Американского желобов, Северная Атлантика в районе о. Исландия [Геосинклинальный..., 1987; Нечаев, 1990; Нечаев, Деркачев, 1989; Emelyanov et al., 1978; Kurnosov et al., 1982; Murdmaa, Kasakova, 1980; Nechaev, 1991; Nesterova et al., 1978; Prosad, Hesse, 1982; Sato, 1980]. Установлено, что для минеральных ассоциаций отложений Филиппинского моря, в целом отражающих обстановки конвергентных окраин, отчетливо проявлены два тренда распределения минеральных ассоциаций - островодужный и внутриплитный (океанический). Островодужным трендом характеризуются отложения скважин, расположенных на склонах Марианской островной дуги (ст. 459В, 460) и прилегающих районов Западно-Марианского трога (ст. 453) и котловины Парасе-Вела (ст. 450 и, частично, ст. 449) (рис. 3 а). Причем формирование отложений происходило в геодинимической обстановке, соответствующей юным (энсиматическим) островным вулканическим дугам, заложившихся на коре океанического типа. По океаническому внутриплитному тренду выстраиваются минеральные ассоциации отложений скважин Западно-Филиппинской

котловины (ст. 447А). Здесь источником поступления минералов могли быть как выступы океанического фундамента, так и крупные постройки щитовых вулканов, известные в структуре палеостровной дуги Кюсю-Палау, по составу магматических пород близкие современным внутриокеанским поднятиям центральной части Тихого океана [Леликов и др., 1990]. Океаническому внутриплитному тренду распределения соответствуют также минеральные ассоциации нижней части разрезов скважин в котловине Парасе-Вела (ст. 449), характеризующихся заметным увеличением в их составе продуктов зеленокаменного изменения основных пород, которые поступали при эрозии океанического фундамента на начальных этапах формирования рассматриваемой структуры. В целом, полученные сравнительные данные не противоречат имеющимся представлениям о геодинамическом развитии этого региона [Кириллова, 1992; Karig, 1975; Nechaev, 1991; Sato, 1980; Ueda, Ben-Avraham, 1972].

Анализ данных по минеральному составу кайнозойских отложений скважин со склона Японского глубоководного желоба (ст. 436) и задугового бассейна Японского моря (ст. 299) показал, что районы расположения этих скважин в основном находились под влиянием выноса островодужного вулканокластического и вулcano-терригенного материала в течение всего неоген-четвертичного времени. По составу минеральных ассоциаций источник обломочного материала соответствует комплексу пород развитых и зрелых островных дуг (рис. 3 б). И только на формирование отложений нижней части скважины 436 (средний миоцен) оказывал влияние более фемический по составу обломочный материал, поступавший с эпиокеанических островных дуг (типа современной Идзу-Бонинской островной дуги). Характерно, что в отложениях скважины совершенно не проявлен внутриплитный (океанический) тренд в распределении минеральных ассоциаций.

В формировании минерального состава отложений Центральной котловины Японского моря (ст. 301) принимал в основном участие осадочный материал, поставляемый с его континентального обрамления (рис. 3 б). Отчетливо проявлено, что в плейстоцене дополнительно происходила поставка вулканогенно-терригенного обломочного материала со стороны Японской островной дуги, вынос которого осуществлялся турбидитными потоками по подводной долине Тояма.

В разделе рассмотрены также особенности формирования минеральных ассоциаций бассейнов, развивающихся в других геодинамических обстановках. В качестве примера рассмотрена эволюция формирования минерального состава палеоген-четвертичных отложений, вскрытых скважинами глубоководного бурения 348 (котловина в пределах Исландского плато, Северная Атлантика) и 339-343 (плато Воринг у побережья Норвегии). На литогеодинамических диаграммах минеральные ассоциации рассматриваемых районов Северной Атлантики существенно отличаются друг от друга.

Для отложений скважины в пределах Исландского плато просматриваются явные признаки влияния внутриплитных геодинамических обстановок, особенно для среднемиоцен-плиоценовых отложений. Это поле характеризуют также минеральные ассоциации современных осадков Исландской, Фарерской, Ян-Майенской и Центрально-Гренландской минералогических провинций, характерных представителей платобазальтовых формаций [Емельянов, Харин, 1982; Харин и др., 1979]. В противоположность, формирование минерального состава отложений плато Воринг (скважины 339-343) на протяжении всего кайнозоя находилось под преимущественным влиянием сноса обломочного материала с побережья Норвегии – расположение фигуративных точек на диаграммах соответствует полям древних складчатых областей и щитов.

Таким образом, из анализа полученных данных следует, что для кайнозойских отложений, вскрытых скважинами глубоководного бурения, в значительной мере сохраняются индикаторные признаки ассоциаций тяжелых минералов в отражении геодинамической стороны обстановок формирования седиментационных бассейнов, установленные на примере изучения современных морских осадков.

6.2.3. Мезозойско-кайнозойские морские и океанические отложения складчатых областей суши. В разделе рассмотрено насколько эффективны при палеогеодинамических исследованиях диагностические признаки минеральных ассоциаций древних отложений складчатых и складчато-надвиговых областей суши. В качестве примера выбран ряд районов Сихотэ-Алиня и Олюторско-Камчатского региона, по которым имеется обширный фактический материал с данными по минеральному составу отложений и палеогеодинамическими реконструкциями [Геосинклинальный..., 1987; Маркевич и др., 1997, 2000; Малиновский, 1993, 1995; Филиппов, 1990; Филиппов и др., 2000].

Согласно имеющимся представлениям, мезозойско-кайнозойские отложения Олюторско-Камчатской складчатой зоны формировались в пределах активной континентальной окраины, кора которой по составу и строению отвечает континентальному фемическому типу земной коры [Геосинклинальный..., 1987]. Известно, что в строении этого региона принимают участие разнообразные аккреционно-коллизионные комплексы, формировавшиеся в различных геодинамических обстановках. Предпочтение отдается формированию отложений во внутриплитных океанических геодинамических обстановках и обстановках эпиокеанических островных дуг, близких к современным дугам Марианской или Новогейбридской [Геосинклинальный..., 1987; Зинкевич и др., 1993; Малиновский, 1993, 1995; Морозов, Ростовцева, 1996; Соколов, Бялобжеский, 1996; Чамов, 1996; Шапиро, 1995; Шапиро и др., 2000]. Допускается влияние сиалических блоков земной коры, но геодинамическая

позиция их окончательно не ясна. По мнению автора, в целом результаты анализа данных по минеральному составу отложений этого региона, вынесенные на литогеодинимические диаграммы, не противоречат сделанным ранее выводам, хотя и имеется ряд разногласий. Основная масса фигуративных точек группируется в поле внутриплитных океанических обстановок и поле юных (энсиматических) островных дуг, заложение и развитие которых происходило на океанической коре. Причем большинство точек располагается вдоль внутриплитного океанического тренда распределения минеральных ассоциаций. Несмотря на то, что значительное количество точек располагается в поле юных островных дуг, ни для одного из рассмотренных комплексов не выражен типичный островодужный эволюционный тренд распределения минеральных ассоциаций, как было установлено автором, свойственный всем без исключения современным островным дугам. Полученные данные свидетельствуют о том, что искать прямую аналогию для отложений этого региона с типичными современными юными (эпиокеаническими) островными дугами вряд ли обоснованно. В данном случае вполне возможна одна из моделей геодинамического развития Олюторской зоны, предложенная М.Н. Шапиро [Шапиро, 1995], за основу которой принята модель так называемой «попятной» миграции зоны субдукции, что приводило к образованию во фронтальной части дуги зон дополнительных растяжений с характерным базитовым магматизмом внутриплитной специфики. Так, известно, что вулканиты Ачайваям-Валагинской дуги по геохимическим показателям занимают промежуточное положение между современными островодужными и океаническими лавами [Шапиро, 1995; Шульдинер и др., 1987]. Несмотря на всю проблематичность представленной модели, эта модель, по мнению автора, может объяснить появление на литогеодинимических диаграммах внутриплитного тренда в распределении минеральных ассоциаций для верхнемеловых вулканогенно-осадочных островодужных комплексов региона. Ряд отложений Олюторско-Камчатской складчатой области, особенно Восточной зоны Олюторского прогиба, обогащены сиалическими минералами (в том числе группой устойчивых минералов, в отдельных случаях до 80-90%), которые характерны для гранитно-метаморфических пород [Геосинклинальный..., 1987; Малиновский, 1993, 1995; Морозов, Ростовцева, 1996]. Наиболее вероятно, что такие минеральные комплексы могли образоваться из смешанных минеральных ассоциаций при значительном постседиментационном преобразовании отложений. Как правило, в современных бассейнах осадконакопления с проявлением синседиментационного вулканизма, даже при условии поставки сиалического обломочного материала, подобных высоких концентраций устойчивых минералов не наблюдается. На литогеодинимических диаграммах отложения Восточной зоны Олюторского прогиба, обогащенные сиалическим комплексом тяжелых минералов, в

основном группируются в поле древних складчатых областей и, в меньшей мере, в поле окраинно-континентальных вулканических поясов.

Сихотэ-Алинская складчатая область существенно отличается по геологическому строению и составу мезозойских отложений от одновозрастных образований Олюторско-Камчатского региона. В настоящее время наиболее признаны представления о строении Сихотэ-Алинской складчатой области как о сложном аккреционно-коллизии сооружении, в котором принимают участие разновозрастные и генетически разнородные фрагменты земной коры (террейны). Здесь тектонически совмещены структурно-вещественные комплексы окраины континента, островных дуг и океана [Зябрев, 1994; Натальин, 1991; Маркевич и др., 1997, 2000; Симаненко, 1991; Филиппов, 2001; Филиппов и др., 2000; Ханчук, 2000; Ханчук и др., 1989 и др.]. Судя по комплексным геологическим исследованиям, в нижнемеловые седиментационные бассейны, входящие в структуру Сихотэ-Алинской складчатой области, в основном поступал обломочный материал из питающих провинций, в пределах которых была развита зрелая континентальная земная кора с широким развитием гранитно-метаморфических пород. В минеральных комплексах (особенно аркозового состава) преобладают сиалические ассоциации, причем подавляющая часть приходится на наиболее устойчивые компоненты, прежде всего циркон, содержание которого во многих пробах достигает 90 и более процентов [Агеева, 1960, 1971; Геосинклинальный., 1987; Маркевич и др., 1997, 2000; Нечаев и др., 1996, 1997; Филиппов, 1990 и др.]; по этому показателю они существенно отличаются от современных морских отложений (рис. 4). Такие высокие концентрации устойчивых минералов на фоне относительно низких содержаний роговых обманок - одного из ведущих компонентов минеральных ассоциаций кислых магматических и метаморфических пород, по мнению автора явно свидетельствуют о прошедших постседиментационных преобразованиях отложений с внутрислойным растворением части неустойчивых минералов.

Известно, что исследования вулканогенных и вулканогенно-осадочных комплексов и выяснение природы их образования занимают важное место при палеогеодинамических реконструкциях и решении вопросов эволюции древних седиментационных бассейнов. В структуре Сихотэ-Алиня юрско-раннемеловые вулканогенно-осадочные комплексы встречаются в виде разрозненных фрагментов в Кисилевско-Маноминском блоке Горинской зоны, в Тумнинской зоне Западного прогиба, Коппи-Лужкинской и Кемской зонах Восточного прогиба. Существуют две основные точки зрения на происхождение этих комплексов - в качестве субдукционных образований аккреционной призмы [Борукаев, Натальин, 1994; Зябрев, 1994; Маркевич и др., 1997; 2000] или же в результате рифтообразования на континентальной коре [Уткин, 1996, 1997]. Согласно

представлениям ряда исследователей эти комплексы относятся к островодужным системам двух типов: эпиокеанической и эпиконтинентальной, а отложения вулканогенно-кремнистого комплекса и ассоциирующие с ними карбонатные, кремнисто-глинистые и терригенные обломочные породы формировались во внутриплитных океанических обстановках [Маркевич и др., 1997, 2000; Филиппов и др., 2000 и др.]. Сравнительный анализ с использованием литогеодинамических диаграмм, проведенный автором, показал следующее: а) Идентификация внутриплитных океанических обстановок (вулканогенно-кремнистый комплекс) в целом согласуется с соответствующим полем на литогеодинамической диаграмме, которое характеризует эту геодинамическую обстановку, хотя и имеется ряд разногласий в решении вопроса о геодинамической позиции бассейнов. Прежде всего, это относится к интерпретации проб, характеризующих отложения, в формировании минерального состава которых участвовал источник, представленный гранитно-метаморфическими породами (повышенное содержание циркона, апатита, сфена). б) Достаточно уверенно диагностируются обстановки эпиокеанических островных дуг, хотя и прослеживается некоторое отклонение от типичного островодужного тренда из-за более высокого содержания эпидота (вероятный источник – эрозия метавулканитов). в) Попытки установления геодинамической позиции фрагментов островодужных систем (Удыльский и Кемский террейны), сопоставляемых с современными энсиалическими островными дугами, не дали ожидаемых результатов. Прежде всего, отмечается отсутствие типичного островодужного тренда в распределении минеральных ассоциаций, что обусловлено резким дефицитом ортопироксена. В минеральных комплексах в заметном количестве присутствует группа устойчивых минералов (прежде всего циркон) гранитно-метаморфических пород, что не свойственно отложениям современных аналогов рассматриваемых геодинамических обстановок. По крайней мере, рассматриваемые фрагменты вряд ли могут быть сравнимы с современной японской островодужной системой. Многие исследователи этого региона геодинамическую ситуацию раннемелового времени сопоставляют с современной трансформной обстановкой калифорнийского типа. В частности, дефицит в минеральных комплексах реконструируемых энсиалических островных дуг ортопироксенов, связывается именно с особенностями магматизма на трансформных границах плит. Однако прямой аналогии с минеральными ассоциациями осадков Калифорнийского залива и сопредельных районов Тихого океана (как современной модели трансформной геодинамической обстановки) для данного случая явно не просматривается.

Естественно, автор не ставил перед собой задачу уточнения или ревизии результатов предыдущих исследований по геодинамической эволюции сложной по строению Сихотэ-Алинской складчатой области. Важно было проследить, насколько

сопоставимы имеющиеся геодинамические построения для данного региона по комплексу тяжелых минералов с современными их аналогами. Как видно из проведенных сопоставлений, эта задача не всегда решается однозначно. Для многих минеральных ассоциаций осадочно-породных бассейнов мезозойского возраста просто не находится современных их аналогов. Особенно это касается случаев идентификации фрагментов обстановок энсиалических островодужных систем в структуре Сихотэ-Алинской складчатой области. Попытка объяснить дефицит ортопироксенов в нижнемеловых отложениях предполагаемых энсиалических островодужных систем особенностями кинематики субдуцирующих литосферных плит (косое схождение плит) [Маркевич и др., 1997; Нечаев и др., 1996], по мнению автора, далека от совершенства. Эта гипотеза требует подтверждений и дальнейших исследований, прежде всего в современных, близких в структурно-тектоническом отношении, седиментационных бассейнах. Неоднозначность идентификации обстановок в ряде случаев с современными их аналогами зависит от многих факторов. Одним из важнейших является процесс внутрислойного растворения минералов, в результате чего возможно значительное искажение первоначального (истинного) облика ассоциаций тяжелых минералов. Другая, не менее важная причина заключается в том, что просто могли отсутствовать в рассматриваемые геологические эпохи полные или близкие современные аналоги реконструируемых геодинамических обстановок [Нечаев и др., 1996].

В свете приведенных в данном разделе результатов сравнительного анализа нельзя полностью исключать из рассмотрения и рифтогенную гипотезу развития части раннемеловых осадочно-породных бассейнов Сихотэ-Алиня, образование которых связано с левосторонними сдвиговыми деформациями вдоль системы крупных разломов [Уткин, 1996, 1997; Филиппов, 1990]. В пользу этого свидетельствует преимущественно базальтовый характер вулканизма и, соответственно, специфика минерального состава вмещающих осадков: на литогеодинамических диаграммах часть проб попадает в поле, характеризующее минеральные ассоциации бассейнов, сопряженных с внутриплитными обстановками рифтогенного типа с широким развитием покровов платобазальтов.

Заключение

В результате многолетних исследований, обобщения и систематизации обширного фактического материала по составу отложений окраинно-морских седиментационных бассейнов Западной части Тихого океана получены новые данные, раскрывающие особенности формирования ассоциаций тяжелых минералов в зависимости от геологического строения прилегающей суши, вулканизма, климата, гидродинамических условий среды осадконакопления. Важную составную часть работы представляет методическая основа, опирающаяся на принципы парагенетического анализа

компонентного состава отложений, при котором особенности формирования минерального состава осадков раскрываются более полно, особенно при широком использовании математических методов многомерной статистики. Основные выводы проведенных исследований заключаются в следующем.

1. Специфика приконтинентального осадкообразования в окраинных морях Западной части Тихого океана характеризуется преимущественно терригенной направленностью (преобладают терригенные обломочно-глинистые осадки) в бассейнах всех климатических поясов, что определяется, прежде всего, особенностями мобилизации и выноса значительного количества осадочного материала с прилегающей суши. Значительное влияние на процессы окраинно-морского седиментогенеза оказывает вулканизм.

2. Бассейны окраинных морей по характеру распределения минералов и, соответственно, по составу минералогических ассоциаций отчетливо подразделяются на два крупных региона - западный (приконтинентальный) и восточный (островодужный). Черты индивидуальности в распределении тяжелых минералов, определяющие специфику терригенно-минералогических провинций, прослеживаются на удалении первых сотен километров от побережья. Исключение представляют себе участки дна, находящиеся под влиянием твердого стока крупных речных систем, где дальность разноса обломочных минералов увеличивается. Важной составной частью минеральных комплексов осадков активной континентальной окраины являются продукты эксплозивной вулканической деятельности. Минеральный состав поставляемого вулканокластического материала зависит от типа магматизма, который в свою очередь, определяется преимущественно структурно-тектоническими особенностями зоны перехода континент-океан.

3. Внутрибассейновый источник (эдафогенный фактор) обломочных минералов, представленный выходами пород фундамента подводных возвышенностей и склонов глубоководных желобов, не имеет существенного влияния на формирование минерального состава осадков окраинных морей. Установлено, что, несмотря на локальность их распространения, подобные минеральные ассоциации достаточно уверенно распознаются по специфическим парагенезам минералов, а также оторванностью ареалов распространения минералов, входящих в данные парагенезы, от береговых питающих провинций. Соотношение основных минералов ассоциаций этого типа существенно варьируют в зависимости от особенностей петрографического состава разрушаемых комплексов пород. Дальность разноса эдафогенного материала, как правило, незначительна и не сопоставима с терригенным и, особенно, с вулканокластическим материалом.

4. Анализ парагенетических ассоциаций минералов осадков показал, что они наследуют черты индивидуальности петрографических типов питающих провинций независимо от ландшафтно-климатических факторов среды осадкообразования. Ведущими факторами кластогенеза, ответственными за формирование ассоциаций тяжелых минералов, являются неоднородность состава пород питающих провинций (опосредованно структурно-тектонический контроль), синседиментационный вулканизм и гидродинамика вод бассейнов осадконакопления. В отложениях окраинных морей всех климатических поясов развиты преимущественно «незрелые» ассоциации тяжелых минералов с доминированием в их составе неустойчивых к выветриванию минералов, чему способствуют тектоническая подвижность территорий (как следствие – глубокий эрозионный врез, превышающий мощность коры выветривания), вулканизм, а также особенности муссонного климата (большое количество осадков). При этом значительное влияние оказывает активизация эрозионных процессов во время прохождения тропических циклонов (тайфунов), когда большая масса обломочного материала выносится за пределы береговой зоны без его существенной минералогической дифференциации.

5. На базе математических методов многомерной статистики установлена функциональная зависимость между минеральным составом отложений и петрографическими типами питающих провинций. Выявлены статистически выдержанные парагенезы тяжелых минералов, закономерно повторяющиеся в отложениях седиментационных бассейнов, близких по структурно-тектоническим (геодинамическим) и ландшафтно-динамическим (литодинамическим) условиям осадконакопления. На этой основе разработан принципиально новый тип дискриминантных диаграмм, названных индикационными литогеодинамическими диаграммами, позволяющими по ассоциациям тяжелых минералов проводить оценку принадлежности исследуемых отложений к определенным геодинамическим обстановкам их формирования. Разработанные диаграммы просты в построении и дают достаточно надежные результаты при идентификации геодинамических особенностей обстановок осадконакопления.

6. Установлено, что известная индикаторная роль магматизма в отражении геодинамических обстановок находит подтверждение и в составе минеральных ассоциаций осадков сопредельных осадочных бассейнов. Так, уверенно на литогеодинамических диаграммах прослеживаются два генеральных тренда в распределении ассоциаций тяжелых минералов, которые характеризуют области проявления магматизма фемического типа: тренд, свойственный геодинамическим обстановкам режима сжатия (островодужного, или субдукционного типа) и тренд, отражающий обстановки режима растяжения (рифтогенного внутриплитного типа).

7. Важнейшим индикаторным признаком обстановок активной континентальной окраины является тренд распределения минеральных ассоциаций островодужного (или субдукционного) типа. Его начинают ассоциации юных островных дуг, для которых характерен клинопироксеновый парагенез минералов при изменчивом содержании оливина и незначительном количестве ортопироксена и роговых обманок. Далее рассматриваемый эволюционный островодужный тренд продолжают минеральные ассоциации развитых и зрелых островных дуг, с характерным для них клинопироксен-ортопироксеновым и роговообманково-ортопироксен-клинопироксеновым парагенезами минералов.

8. Тренд минеральных ассоциаций, характеризующий обстановки режима растяжения, представляют отложения бассейнов, сопряженных с областями проявления внутриплитного базальтового магматизма (в том числе и щелочной специализации). Типоморфным признаком для них является оливин-клинопироксеновый парагенез минералов при резком дефиците ортопироксенов и сиалической группы минералов и относительно повышенном фоне минералов, поступающих из щелочных изверженных пород основного состава (титанистый клинопироксен и роговая обманка).

9. Индикатором обстановок областей тектоно-магматической активизации с проявлением кислого эксплозивного вулканизма субщелочного и щелочного ряда выступают два наиболее выраженных парагенеза минералов в осадках сопредельных морских бассейнов: щелочной пироксен-щелочной амфибол-клинопироксен-апатит и клинопироксен-бурая роговая обманка-биотит-апатит.

10. Комплексные исследования структуры корреляционных связей между минеральным и гранулометрическим составом отложений позволяют выделять участки дна с явно выраженными процессами дифференциации осадочного материала по гидравлической крупности под действием гидродинамических условий морских бассейнов (волнения, приливно-отливных и дрейфовых течений).

11. На основе сравнительного анализа установлено, что в кайнозойских отложениях (в том числе вскрытых скважинами глубоководного бурения) в значительной мере сохраняются основные тенденции в формировании минеральных ассоциаций в зависимости от структурно-тектонических обстановок, выявленные для современных отложений. С другой стороны, задача идентификации обстановок осадконакопления докайнозойских отложений складчатых и складчато-надвиговых областей суши по ассоциациям тяжелых минералов не всегда решается однозначно. Основная причина в таком несоответствии заключается либо в значительных изменениях состава исходных (первичных) минеральных ассоциаций в результате прошедших постседиментационных процессов внутрислойного растворения неустойчивых минералов, что более приемлемо,

либо в отсутствии в рассматриваемые геологические эпохи полных или близких современных аналогов геодинамических обстановок.

В заключение автор хотел бы обратить внимание на то, что разработанный подход идентификации геодинамических обстановок, основанный на анализе парагенетических ассоциаций тяжелых минералов современных осадков, выявил ряд вопросов, не всегда в должной мере учитываемых исследователями древних отложений. Эти вопросы связаны, прежде всего, с неоднозначностью решения палеогеодинамических реконструкций по минеральным ассоциациям, которые содержат значительное количество устойчивых минералов. Не исключено, что рассматриваемые отложения практически утратили свой первоначальный облик минерального состава, так как претерпели существенные изменения в ходе последующих, сложных аккреционно-коллизионных процессов формирования складчато-надвиговых поясов. Как показали исследования автора, минеральные ассоциации с высоким содержанием устойчивых минералов не свойственны современным обстановкам приконтинентального осадконакопления. В подобных случаях любые попытки использовать различные соотношения отдельных минералов или их групп (как тяжелых, так и легких породообразующих минералов) с целью диагностики обстановок осадконакопления, скорее всего малоперспективно без привлечения дополнительных данных о степени вторичных изменений пород в процессе катагенеза и метаморфизма. Дальнейшее усовершенствование предложенных моделей диагностики обстановок осадконакопления по комплексу тяжелых минералов автору видится в более широком охвате и характеристике типовых бассейнов осадконакопления, а также в детализации исследований, прежде всего с учетом особенностей типоморфизма минералов и их химического состава.

Основные положения диссертации содержатся в следующих работах:

Монографии

1. Структура осадков и фации Японского моря. Изд-во ДВНЦ: Владивосток, 1983. 286 с. (соавт. Лихт Ф.Р., Уткин И.В., Астахов А.С., Марков Ю.Д., Боцул А.И.).
2. Особенности осадконакопления //Тихоокеанская окраина Азии. Геология, магматизм, металлогения. Т. 1. М.: Наука, 1989.С. 50-66. (соавт. Нечаев В.П.).
3. Строение и состав четвертичных отложений // Геологическое строение западной части Японского моря и прилегающей суши (Ред. Е.П. Леликов). Владивосток: Дальнаука, 1993.С. 149-194 (соавт. Лихт Ф.Р., Уткин И.В., Николаева Н.А., Боцул А.И., Марков Ю.Д.).
4. Минералогические особенности окраинно-морского седиментогенеза (на примере Японского моря). Владивосток: Дальнаука, 1996. 226 С.
5. Современное осадкообразование в окраинных морях Востока Азии (статистические модели) (Ред. Ф.Р. Лихт). Владивосток: Дальнаука, 1997. 302 с. (соавт. Астахов А.С., Марков Ю.Д., Боцул А.И., Уткин И.В. Николаева Н.А.).
6. Четвертичные отложения и особенности их минерального состава // Геологическое строение Амирантской дуги в Индийском океане (Ред. Е.П. Леликов). Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 17-35 (соавт. Боцул А.И. Николаева Н.А.).

7. Вещественный состав осадков Японского моря // Геология и полезные ископаемые шельфов России (Гл. ред. М.Н. Алексеев). М.: ГЕОС, 2002. С.214-221.
8. Структурно-минералогические компоненты осадков как индикаторы обстановок приконтинентального осадкообразования // Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования (Гл. ред. В.А. Акуличев). М.: Наука, 2007. С.390-417. (соавт. Лихт Ф.Р., Николаева Н.А., Уткин И.В.)
9. Heavy mineral assemblages of the Philippine Sea as indicators of subductions-collision related tectonics // Geology and geophysics of the Philippine Sea Floor. (Ed. Takuyama and Scheka S.A.). Tokyo: Terra Press, 1995. С. 215-233 (соавт. В.П. Нечаев).
10. Composition of sediments in Sea of Japan // Geology and Mineral Resources of the Russian Shelf Areas (Ed. M.N.Alekseev). M.: Scientific World. 2004 P. 140-145.
11. Map complete set to the Atlas (12 sheets) // Atlas: Geology and Mineral Resources of the Russian Shelf Areas (Ed. M.N. Alekseev). M.: Scientific World. 2004. P.27-30.
12. Multivariate analysis of heavy mineral assemblages of sediments from the marginal seas of the Western Pacific // Heavy minerals in Use. (Ed. M.A. Mange and D.T. Wright). Development in Sedimentology. Elsevier, 2007. V. 58. P. 439-464 (соавт. Nikolaeva N. A.).

Статьи в рецензируемых изданиях:

13. Корреляция и скорости накопления осадков в Японском море в поздне-последлениковское время // Тихоокеанская геология, 1983. № 4. С. 22-29. (соавт. Уткин И.В., Горбаренко С.А., Плетнев С.П. и др.).
14. Литолого-фациальная типизация седиментогенеза Японского моря (сообщение 1) // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 4. С. 25-33. (сообщение 2) // Литология и полезные ископаемые 1986. № 1. С. 22-33 (соавт. Лихт Ф.Р. Марков Ю.Д., Уткин И.В.).
15. Минералогические провинции осадков Японского моря // Тихоокеанская геология, 1992. № 6. С. 12-30.
16. Минералогические провинции осадков района островной дуги Нансей и ее обрамления // Литология и полезные ископаемые, 1992. № 5. С. 51-64. (соавт. Николаева Н.А.).
17. Минералогические особенности осадков окраинных морей востока Азии // Тихоокеанская геология, 1993. № 6. С. 58-74. (соавт. Николаева Н.А.).
18. Ассоциации тяжелых минералов в осадках западной части Южно-Китайского моря // Тихоокеанская геология, 1997. Т. 16. № 4. С. 25-42. (соавт. Николаева Н.А.).
19. Литостратиграфия и тифрохронология верхнечетвертичных осадков Охотского моря по изотопно-геохимическим данным, физическим свойствам и минералогии // Тихоокеанская геология, 2000. Т. 19. № 2. С. 58-72 (соавт. Горбаренко С.А., Астахов А.С. и др.).
20. Седиментологические исследования в ТОИ // Вестник ДВО РАН. 2003. № 2. С.108-117. (соавт. Лихт Ф.Р., Марков Ю.Д., Уткин И. В. и др.).
21. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время (на основе анализа ассоциаций тяжелых минералов) // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 37-52 (соавт. Николаева Н.А., Горбаренко С.А.).
22. Нефелоидные осадки как индикатор условий осадкообразования в краевых морях Восточной Азии // Вестник ДВО РАН. 2005. № 1. С. 91-102. (соавт. Лихт Ф.Р., Алексеев А.В.).
23. Heavy mineral associations found in sediments of the East China Sea and adjacent Ryukyu and Taiwan areas // Terrestrial, Atmospheric and Ocean sciences (Taiwan). 1995. V. 6, № 1. С. 75-90. (соавт. Nikolaeva N.A.).
24. Associations of heavy minerals in sediments of western part of South China Sea // Geol. Pacific Ocean. 1999. V. 14. P. 503-534. (соавт. Nikolaeva N.A.).
25. Magnetostratigraphy and tephrochronology of the Upper Quaternary sediments in the Okhotsk Sea: implication of terrigenous, volcanogenic and biogenic matter supply // Marine Geology. 2002. № 183. P. 107-129. (соавт. Gorbarenko S.A., Nuernberg D. et al.).

Тезисы:

26. Эдафогенные отложения желоба Тонга // 6 Всесоюз. школа по морской геологии и геофизике. М.: 1984. Т.2. С. 16-18. (соавт. Можеровский А.В.).
27. Особенности распределения минералов в осадках шельфа залива Петра Великого // I Советско-Китайский симпозиум: Геология, геофизика, геохимия зоны перехода Находка, 1987. (соавт. Марков Ю.Д.).
28. Морфоструктурный контроль в формировании минеральных ассоциаций поверхностного слоя осадков Японского моря. // Советско-Китайский симпозиум: Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона. - Владивосток, 1988. Т.2. С. 149-151.
29. Особенности минерального состава осадков шельфа умеренной и тропической зон (на примере Японского и Южно-Китайского морей) // III Советско-Китайский симпозиум: Геология, геофизика, геохимия окраинных морей. Владивосток, 1989. С. 98-101. (соавт. Николаева Н.А.).
30. Минералогический состав осадков как индикатор обстановок осадконакопления // Всероссийское литологическое совещание. Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса. Москва, 2000. С. 222-224. (соавт. Николаева Н.А.).
31. Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время (на основе анализа ассоциаций тяжелых минералов) // XV Международная Научная Школа по морской геологии. Москва. 17-21 ноября 2003. М.: 2003. Т.1. С.22-23. (соавт. Николаева Н.А., Горбаренко С.А.)
32. Graphical standarts (in form of multivariate scaling plots with the combination of R-factor and correlation analyses) as the instruments for the genetic estimation of marine sedimentary environments //Computerised Modeling of Sediment System. Programs and Abstracts, Topic A. Gustom (Germany), 1996. P. 22.
33. The influence of the solid runoff from Tumangan River of the lithodynamics of adjacent shelf regions (within the boundaries of Russia and KPDR). // Int. Symp. Resour., Env., and Disaster in Tumenjiang Area. Abstr. Vol. Changchun. 1996. P.41. (соавт. Likht F.R., Utkin I.V., Botsul A.I.).
34. The recognition sedimentary environments and their dynamics by the special approaches to the multivariate statistical treatment of the grain-size data (the East China Sea as an example // 9 th PAMS & JECSS WORKSHOP Pacific-Asian marginal seas. 1997, Taipei. P. 10-11. (соавт. Utkin I.V.).
35. The mineral composition of sediments in the Sea of Okhotsk. //Second Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk-Kuril Island Arc System. Kiel, 1999. P. 34-35. (соавт. Nikolaeva N.A.).
36. Lithostratigraphy and tephrochronology of sediments from the Sea of Okhotsk //Second Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk-Kuril Island Arc System. Kiel, 1999. P.25. (соавт. Gorbarenko S.A., Astakhov A.S., Southon J.R.).
37. Heavy mineral associations of surface sediments in the eastern Asia marginal Seas // 10th PAMS/JECSS Workshop. Program and Extended Abstracts. Kagoshima, Japan, 1999. P. E27-E31. (соавт. Nikolaeva N.A.).
38. The modeling of environmental conditions by the special approaches to the multivariate statistical treatment of the data // 10th PAMS/JECSS Workshop. Program and Extended Abstracts. Kagoshima, Japan, 1999. P. E20-E25. (соавт. Utkin I.V., Botsul A.I., Dudarev O.V. et al.).
39. Features of mineral sediment composition in the Sea of Okhotsk //Third Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk - Kurile Island Arc System (KOMEX). 2000. P. 43-44. (соавт. Nikolaeva N.A.).
40. Sediment supply and distribution in the Sea of Okhotsk during Late Quaternary (based on the analysis of heavy mineral associations) // International Workshop "Climate Drivers of the North". May 8-11, 2002, Kiel, Germany // P. 22. (соавт. Nikolayeva N.A., Gorbarenko S.A.).

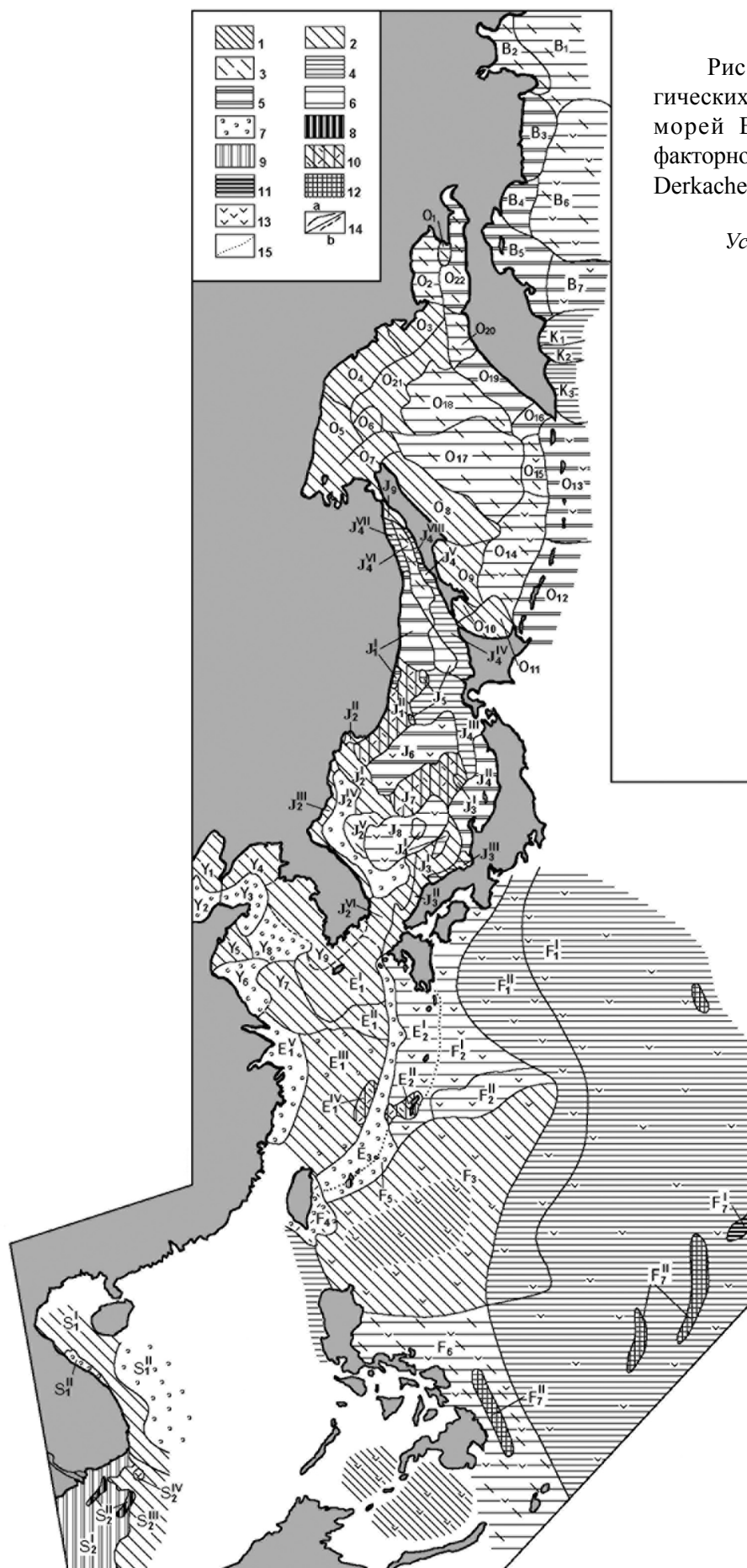


Рис. 1. Сопоставление минералогических провинций осадков окраинных морей Востока Азии на основе Q-факторного анализа [Деркачев и др., 2007; Derkachev, Nikolaeva, 2007]

Условные обозначения см. на 49 с.

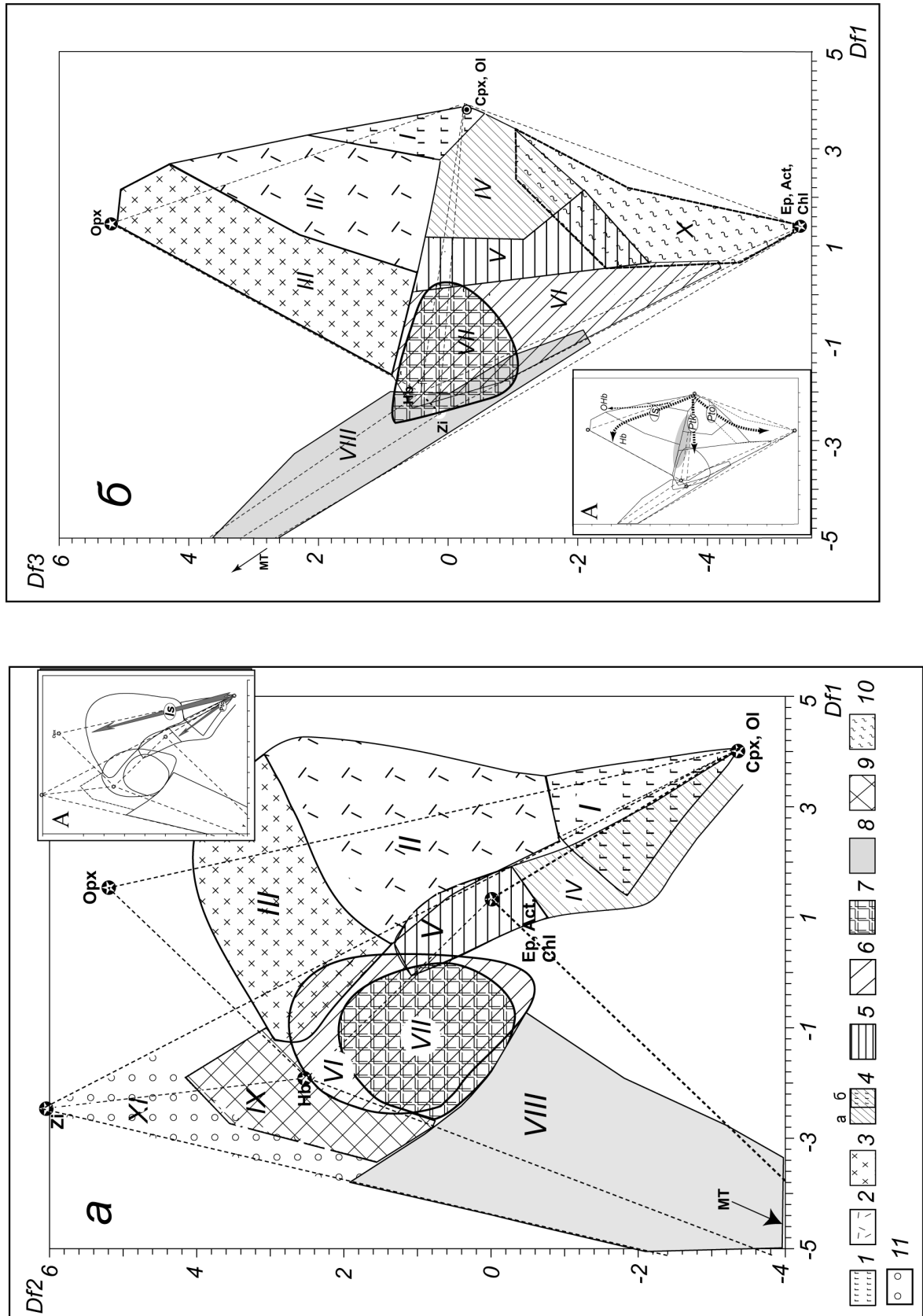


Рис.2. Индикционные литогенетические диаграммы современных седиментационных бассейнов в плоскости 1-ой и 2-ой (а) и 1-ой и 3-ей (б) дискриминантных функций [Деркачев и др., 2007; Derkachev, Nikolaeva, 2007]

Условные обозначения к рисунку 1:

1-9 - провинции, объединяемые: 1-3 - I фактором (доминирует эпидот-роговообманковая ассоциация) с факторными значениями: 1 - 0.9-1.0; 2 - 0.75-0.9; 3 - 0.5-0.75; 4-6 - II фактором (доминирует оливин-двупироксеновая ассоциация) с факторными значениями: 4 - 0.9-1.0; 5 - 0.75-0.9; 6 - 0.5-0.75; 7 - III фактором (доминирует роговообманково-слюдястая ассоциация); 8-9 - IV фактором (доминирует роговообманково-эпидот-цирконовая ассоциация с повышенным содержанием турмалина, анатаза, граната) с факторными значениями: 8 - 0.75-1.00; 9 - 0.5-0.75; 10 - роговообманково-эпидот-клинопироксеновая ассоциация с повышенным содержанием хлорита и актинолита; 11 - оливиновая ассоциация глубоководных желобов; 12 - эпидот-актинолит-хлорит-роговообманковая ассоциация глубоководных желобов; 13 - вулканокластические ассоциации; 14 - границы провинций и подпровинций (а - установленные, b - предполагаемые); 15 - граница минералогических ассоциаций между Восточно-Китайским и Филиппинским морями.

Буквы и цифры при них - индексы минералогических провинций и подпровинций [Деркачев и др., 2007; Derkachev, Nikolaeva, 2007].

Условные обозначения к рисунку 2:

Штриховкой и римскими цифрами показаны поля, характерные для ассоциаций тяжелых минералов осадков седиментационных бассейнов, сопряженных с геодинамическими обстановками: 1- юных островных дуг (I), 2-3- развитых и зрелых островных дуг: 2 - преимущественно клинопироксен-ортопироксеновые ассоциации (II), 18 - преимущественно ортопироксен-роговообманковые ассоциации (III); 4 - областей обстановок внутриплитных тектонических растяжений (рифтогенеза) (IVa) и внутриокеанических поднятий и островов (IVб); 5 - окраинно-континентальных вулканических поясов (V); 6 - разновозрастных складчатых и складчато-надвиговых областей различной природы (орогенных, коллизионных и др.) (VI); 7 - выступами кристаллического фундамента древних платформ (щитами) (VII); 8- древних платформ (VIII); 9 - ассоциации с высоким содержанием устойчивых минералов (преимущественно циркона), характеризующих высокоэнергетические обстановки минералогической дифференциации (сепарации) (IX); 10 - ассоциации эдафогенных отложений глубоководных желобов (области тектонического скупивания и дробления океанической коры) (X); 11 - ассоциации устойчивых к химическому выветриванию минералов, свойственные преимущественно корам выветривания по кислым магматическим породам (XI).

На врезках А показаны наиболее типичные тренды распределения ассоциаций тяжелых минералов: Is- островодужный; Pto - внутриплитный океанический; Ptk - внутриплитный континентальный, ОНб - с тенденцией увеличения количества базальтической и бурой роговой обманки, Нб - то же, но буро-зеленых роговых обманок.

Минеральные парагенезы (используемые при расчете дискриминантных функций), свойственные преимущественно мафическим магматическим породам разного состава: 1) клинопироксен-оливин, 2) ортопироксен, 3) бурая роговая обманка-базальтическая роговая обманка, 4) щелочной пироксен-щелочной амфибол; ассоциации, свойственные кислым интрузивным породам сиалического типа: 5) роговая обманка буро-зеленая и зеленая, 6) циркон-апатит-сфен; ассоциации, свойственные метаморфическим породам фаций зеленых сланцев: 7) эпидот-актинолит-тремолит-хлорит; ассоциации, свойственные метаморфическим породам высоких степеней метаморфизма: 8) гранат-анатаз-рутил-ставролит-андалузит-кианит-силлиманит-турмалин-кальцит (обломочный).

Уравнения линейных дискриминантных функций:

$$df_1 = -5.678x_1 - 5.703x_2 - 5.738x_3 - 5.659x_4 - 5.705x_5 - 5.78x_6 - 5.743x_7 - 5.742x_8 + 571.785;$$

$$df_2 = -59.797x_1 - 59.714x_2 - 59.739x_3 - 59.717x_4 - 59.764x_5 - 59.825x_6 - 59.704x_7 - 59.674x_8 + 5976.46$$

$$df_3 = -30.154x_1 - 30.098x_2 - 30.147x_3 - 30.059x_4 - 30.206x_5 - 30.108x_6 - 30.149x_7 - 30.139x_8 + 3015.14$$

Примечание: x_1 - сумма клинопироксена и оливина (Срх, Ол); x_2 - ортопироксен (Орх); x_3 - буро-зеленая и зеленая роговые обманки (Нб); x_4 - бурая и базальтическая роговые обманки (Онб); x_5 - сумма эпидота, актинолита, хлорита (Ер, Act, Chl); x_6 - сумма граната, анатаза, рутила, ставролита, андалузита, корунда, силлиманита, турмалина, кальцита (МТ); x_7 - сумма циркона, сфена, апатита (Zi); x_8 - сумма щелочного пироксена и амфибола (NaPx).

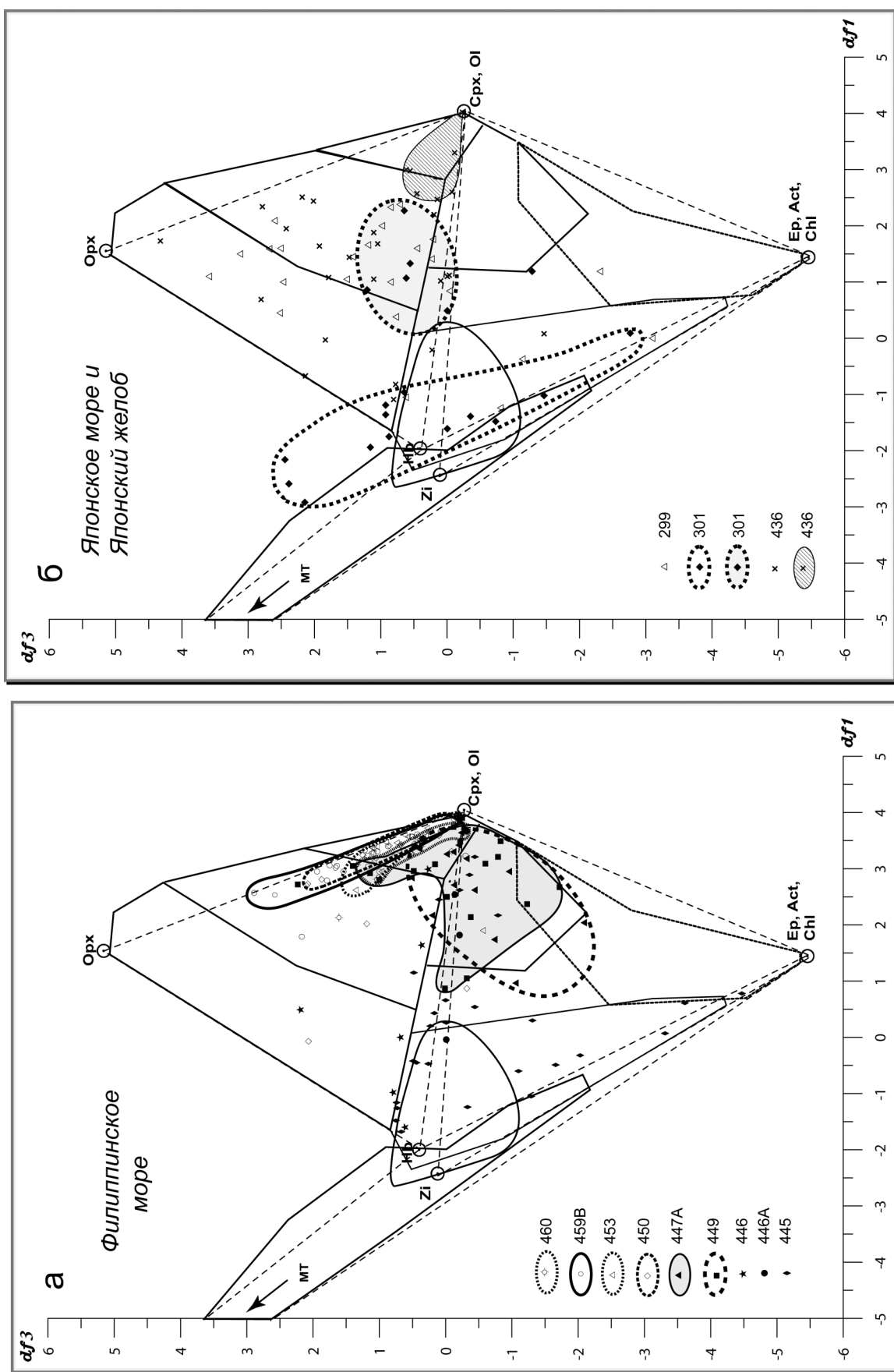


Рис 3. Положение минералогических ассоциаций кайнозойских отложений конвергентной активной окраины на литодинамической диаграмме

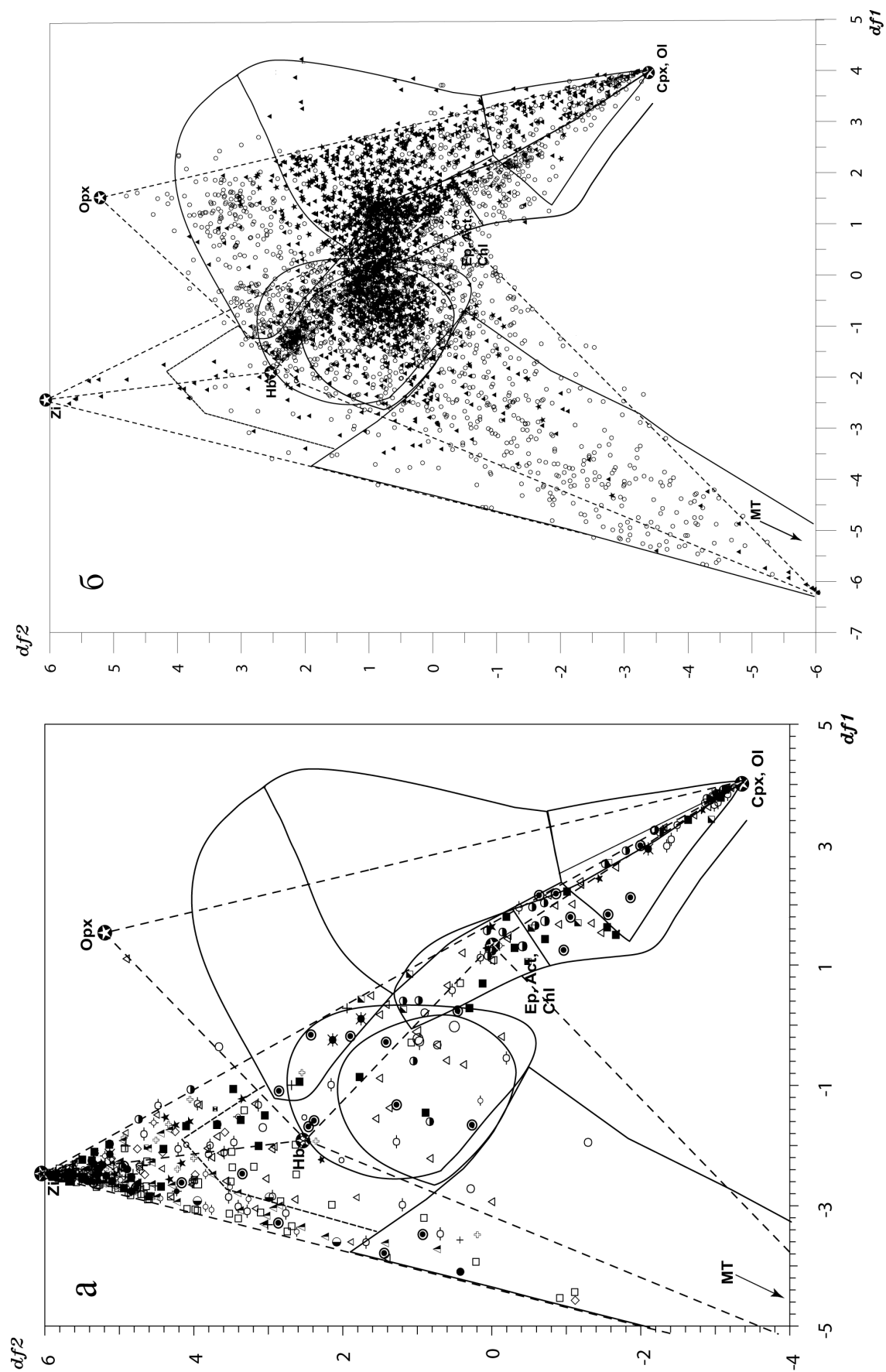


Рис. 4. Сравнение минеральных ассоциаций мезозойских отложений Сихотэ-Алинской складчатой области (а) и современных морских осадков на индикаторных литогеохимических диаграммах

а - значки - минеральные ассоциации разных структурно-формационных комплексов мезозойских отложений Сихотэ-Алия данные анализов по: [Геосинклинальный..., 1987; Маркевич и др., 1997, 2000; Филиппов и др., 2000].

б - минеральные ассоциации современных морских осадков (генеральная выборка из 4250 анализов).