

На правах рукописи

Саттарова Валентина Владимировна

**ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТЛОЖЕНИЯХ  
ОКРАИННОМОРСКИХ РИФТОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ  
(на примере впадины Дерюгина Охотского моря)**

25.00.11 – геология, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых,  
минералогия

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток  
2007

Работа выполнена в Тихоокеанском океанологическом институте им. В.И.Ильичева  
Дальневосточного отделения РАН

Научный руководитель Доктор геолого-минералогических наук  
А.С.Астахов (ТОИ ДВО РАН)

Официальные оппоненты Доктор геолого-минералогических наук,  
Г.Л.Кириллова (ИТиГ ДВО РАН, г.  
Хабаровск)

Доктор геолого-минералогических наук,  
С.А.Щека (ДВГИ ДВО РАН, г.  
Владивосток)

Ведущая организация Северо-Восточный комплексный научно-  
исследовательский институт ДВО РАН (г.  
Магадан)

Защита диссертации состоится 8 февраля 2007 г. в 10 часов на заседании  
диссертационного совета Д 005.006.01 при ДВГИ ДВО РАН, в конференц-зале, по  
адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДВГИ ДВО РАН

Отзывы в двух экземплярах, заверенные подписями и печатью учреждения, просим  
направлять по адресу: 690022, г. Владивосток, пр-т 100-летия Владивостока, 159, ДВГИ  
ДВО РАН, ученому секретарю диссертационного совета к.г.-м.н. Б.И.Семянюк.

Автореферат разослан «\_\_\_» декабря 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат геолого-минералогических наук

Б.И.Семянюк

## Введение

**Актуальность работы.** В последние десятилетия появилось много сведений об активной дефлюидизации земной коры и осадочных бассейнов в пределах задуговых спрединговых котловин. Выявлены гидротермальные сульфидные залежи и оксидные железомарганцевые образования, локализованные главным образом, на подводных вулканах и возвышенностях. Большой интерес с позиций возможности сопоставления с рудными образованиями древних осадочных формаций представляют барит-сульфидные и сульфидные полиметаллические образования задуговых рифтогенных впадин с низкими скоростями осадконакопления. В районах, доступных для изучения российскими учеными, подобные условия имеются в восточной части впадины Дерюгина Охотского моря, где выявлена массивная баритовая минерализация предположительно гидротермального генезиса. Донные осадки этого района характеризуются высокими содержаниями марганца, железа и ряда микроэлементов, что обычно характерно для районов гидротермальной деятельности.

Западная часть впадины, примыкает к зоне, характеризующейся высокой сейсмичностью и активными неотектоническими дислокациями. Сформированный здесь Дерюгинский рифтогенный прогиб и одноименный осадочный бассейн характеризуется интенсивной дефлюидизацией и высокой степенью постседиментационных изменений даже в голоценовых отложениях. На участках с высоким тепловым потоком мощный осадочный чехол способен генерировать значительное количество жидких и газообразных внутриформационных флюидов, которые могли быть источником вещества или определять специфические гидрохимические условия для формирования различных стратиформных и колчеданных рудных залежей. Это предопределило выбор впадины Дерюгина в качестве объекта благоприятного для изучения современного (голоценового) рудообразования в окраинных морях и исследования причин формирования повышенных и аномальных содержаний рудных элементов, что важно для понимания генезиса аналогичных древних рудогенерирующих и рудовмещающих осадочных формаций.

**Целью работы** является выяснение причин образования аномальных содержаний ряда рудных элементов в осадках впадины Дерюгина и получения количественной информации, необходимой для построения более точной модели седиментации и рудоотложения. Для этого решались следующие задачи:

1. Определение содержаний рудных элементов в донных осадках и минералах впадины Дерюгина современными аналитическими методами.
2. Построение литостратиграфических карт распределения и скоростей накопления рудных элементов.
3. Выяснение влияния флюидодинамического режима на темпы накопления рудных элементов.
4. Статистическая обработка массивов данных по отдельным литостратиграфическим горизонтам и типам отложений.
5. Построение модели, описывающей процессы накопления рудных элементов в зависимости от палеокеанологических условий.

**Научная новизна:** 1 - впервые изучено распределение и скорости накопления рудных элементов по отдельным литостратиграфическим горизонтам; 2 - оценен вклад

эндогенного и гидрогенного поступления Mn, Ni, Ba, Zn, Cu, Pb при формировании биогенно-терригенных отложений во впадине Дерюгина в условиях эпизодически проявляющихся процессов дефлюидизации; 3 - геохимически охарактеризован состав марганцевых металлоносных осадков впадины Дерюгина; 4 - предложена модель накопления рудных элементов в рифтогенном бассейне, учитывающая изменение палеоокеанологических условий.

**Практическая значимость.** Составленные карты распределения рудных элементов могут быть использованы при оценке перспектив района и организации поисково-разведочных работ на баритовые залежи, железомарганцевые, сульфидные руды и сопутствующие им металлы.

**Фактический материал и личный вклад автора.** В работе использовано 290 проб голоценовых и позднеплейстоценовых илов и 16 колонок впадины Дерюгина, предоставленные А.С.Астаховым, С.А.Горбаренко, Е.В.Грецкой, А.И.Свининниковым, Н.В.Астаховой, О.В.Дударевым. Автором подобран комплекс аналитических методов для анализа верхнечетвертичных отложений с высоким содержанием рудных элементов. Выполнен химический анализ основной массы проб с определением в них до 20 элементов (всего 4400 элементопределений), использованы все доступные результаты химических анализов осадков впадины Дерюгина. Проведена их обработка с использованием методов компьютерного статистического анализа, построены карты распределения элементов в различных литостратиграфических горизонтах, скоростей накопления рудных элементов для отдельных этапов голоцена, построена модель формирования аномальных содержаний рудных элементов.

**Основные защищаемые положения:**

1. Распределение рудных элементов в осадках впадины Дерюгина определяется резко контрастными условиями седиментации и скоростями накопления марганца и микроэлементов вблизи подводных флюидных источников различного типа.
2. Рудные элементы, по преобладающему способу поступления в осадки и определяющие аномальные и повышенные содержания, подразделяются на три группы: инфильтрационные (Ba, Hg, частично Cu, Pb, Mn, Fe), плюмовые (Mn, Ni, Zn, частично Hg, Ba) и гидрогенные (Mo, V, частично Hg, Pb).
3. Интенсивное накопление рудных элементов из водных плюмов происходило только в голоценовое время, когда существовала отчетливая стратификация водной толщи впадины. Из-за отсутствия стратификации водной толщи в период оледенения накопление рудных элементов на обширной площади впадины Дерюгина происходило только вблизи эндогенных источников.
4. Марганцевые металлоносные осадки формируются в центральной части впадины путем хемогенного осаждения марганца и микроэлементов из водных плюмов, эпизодически образующихся над эндогенными центрами в восточной части впадины, и последующим раннедиагенетическим обогащением марганцем слоев осадков.

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные выводы работы докладывались на XX Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2003), на V симпозиуме КОМЭКС российско-германского сотрудничества в районе Охотского моря и Курильской островодужной системы (Владивосток, 2004), на международном совещании по металлогении Севера Западной Пацифики (Владивосток, 2004), на VII конференции «Аналитика Сибири и Дальнего

Востока - 2004» (Новосибирск, 2004), на сессии полевой геологической школы ДВГИ – 2005 (Владивосток, 2005) и на VII Международном междисциплинарном научном симпозиуме «Закономерности строения и эволюции геосфер» (Владивосток, 2005).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 работ (7 тезисов и 4 статьи).

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 177 страниц, из них 92 страницы текста, 23 таблицы и 59 рисунков, список литературы включает 264 источника.

Диссертация выполнена в лаборатории морского рудообразования ТОИ ДВО РАН под руководством д.г.-м.н. А.С.Астахова. На разных этапах исследований автор пользовался советами и помощью д.г.-м.н. С.А.Щеки, д.г.-м.н. В.Т.Казаченко, д.г.-м.н. С.А.Горбаренко, д.г.-м.н. В.С.Пушкаря, к.г.-м.н. Н.В.Астаховой, к.г.-м.н. В.И.Киселева, к.г.-м.н. Ю.Г.Волохина, к.х.н. Г.А.Бахарева, проф. Жень Хонгбо, которым искренне признателен за ценные советы. Отдельные результаты работы обсуждались с к.г.-м.н. Н.Г.Вашенковой и к.г.-м.н. А.И.Свининниковым. Автор весьма признателен к.г.-м.н. В.И.Киселеву, Н.В.Зарубиной, В.Н.Каминской, Е.А.Ткалиной, В.Ф.Заниной, И.Н.Якушевой и проф. Жень Хонгбо за помощь в организации и выполнении аналитических работ; М.В. Иванову и К.И. Аксентову за предоставленные данные по рутти. При подготовке сводки по геологическому строению района, помимо литературных данных, использовались материалы, предоставленные к.г.-м.н. Б.В.Барановым.

### **Глава 1. Обзор геолого-геохимических исследований Охотского моря**

В главе рассмотрены основные этапы геолого-геофизической изученности дна Охотского моря и проанализированные результаты геохимических исследований верхнеплейстоцен-голоценовых осадков данного района, а также обоснование выбора объекта изучения.

### **Глава 2. Объекты и методы геохимического изучения осадков впадины Дерюгина**

В работе использованы пробы голоценовых и позднеплейстоценовых илов, отобранные трубками, дночерпателями и малтикорером (рис. 1), а также опубликованные данные по некоторым другим колонкам [Астахова, 2000, Грецкая, 1990]. Результаты первичных исследований колонок и проб в рейсах получены из рейсовых отчетов [Cruise., 1997, 1999, 2000, 2002]. Определение компонентного состава проб производилось путем изготовления и изучения микроскопических препаратов с полуколичественным определением основных осадкообразующих компонент (биогенные карбонатная и кремнистая, аутигенная и др.). Определение химического состава осадков выполнялось по методике кислотного разложения [Tolland M. et al., 1992, Стрекопытов, Дубинин, 1997; Томпсон, Уолш, 1988] с последующим анализированием проб методами ICP-MS, ICP-AES и атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Органическое вещество в пробах донных осадков определялось колориметрическим методом [Почвы. Методы..., 1991]. Для определения оксидов кремния, марганца и железа колориметрическим методом использовались отработанные методики, подробно описанные в работе М.М. Сочевановой (1969).

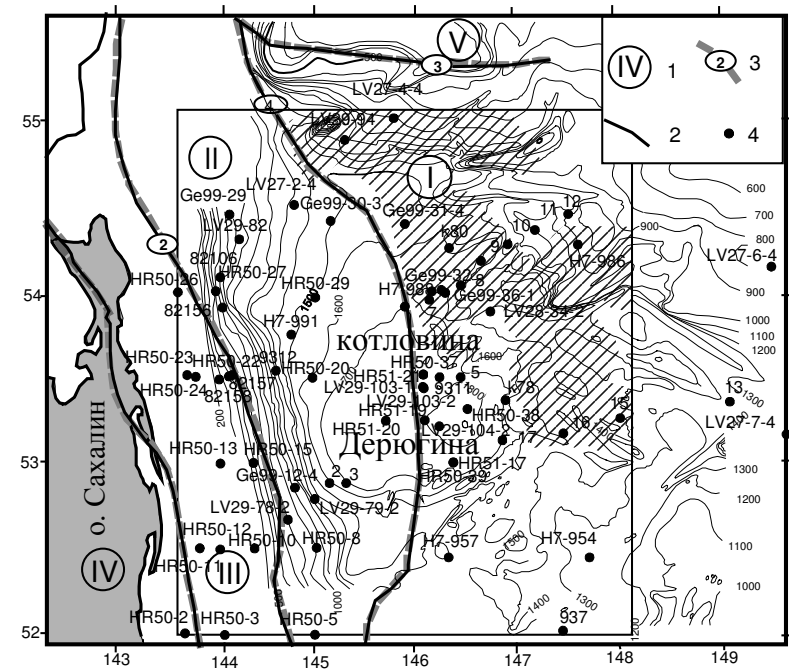


Рис. 1. Станции отбора донных осадков на схеме структурного районирования впадины Дерюгина Охотского моря [по Варнавскому и др., 2002]. Условные обозначения: I – структурно-тектонические зоны: I – Центрально-Охотская система, II – Дерюгинская срединговая рифтогенная система, III – Хоккайдо-Сахалинская складчатая кайнозойская система, IV – Северо-Сахалинский бассейн; 2 – границы структур; 3 – номера основных шовных зон, принятых в качестве границ структурно-тектонических зон (1 – Восточно-Сахалинская, 2 – Западно-Дерюгинская, 3 – Кашеваровская, 4 – Восточно-Дерюгинская); 4 – станции отбора колонок и проб поверхностных осадков. Прямоугольником выделен район исследования. Косой штриховкой показаны участки с отрицательными значениями магнитного поля в пределах района исследования, в общих чертах определяющих положение Кашеваровской рифтогенной зоны [Кулинич, Обжиров, 2003].

### Глава 3. Краткие сведения о геологическом строении дна Охотского моря и района исследований

Охотское море – одно из крупнейших дальневосточных морей, расположенное в северо-западной части Тихого океана у берегов Азии и отделяющееся от океана цепью Курильских о-вов и п-овом Камчатка. В основании осадочного чехла Охотского моря залегает сложно построенная гетерогенная по составу и возрасту, толща пород, представляющая собой акустический фундамент (АФ), выделяемый в основном по

материалам сейсмических исследований. Глубина залегания поверхности АФ изменяется в очень широких пределах - от 7-10 км (в наиболее погруженных частях глубоководных впадин) до 500 м и менее. В большей части территории Охотского моря АФ отождествляется с "консолидированной" корой, а на участках глубоких прогибов осадочного чехла, он представлен кремнисто-глинистыми слабометаморфизованными образованиями верхнемелового-нижнепалеогенового возраста. Наиболее древний АФ находится предположительно в пределах Кашеваровского поднятия и сложен гнейсами, гранитогнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, орто- и парасланцами, зеленокаменно-измененными вулканитами того же возраста. Состав отложений и темпы осадконакопления в Охотском море определяются интенсивностью поступления осадкообразующего материала и его составом. На границе бассейна, примыкающей к берегу, за счет интенсивного привноса терригенной взвеси резко увеличена мощность пелитово-алевритовых терригенных осадков. В глубоководной части моря осадконакопление идет путем преимущественного обтекания существующих форм рельефа. Скорость его определяется главным образом интенсивностью поступления биогенного и терригенного материала.

В западной части Охотского моря у северной оконечности о. Сахалин расположена впадина Дерюгина. Границы ее в основном определяются рифтовыми системами: Западно-Дерюгинской и Кашеваровской (Восточно-Дерюгинской), ограничивающую впадину с северо-востока [Gnibidenko, 1991]. Восточный борт ее характеризуется высокими значениями теплового потока, достигающими  $200 \text{ мВт/м}^2$  [Смирнов и др., 1980; Структура..., 1996]. В Кашеваровской рифтогенной зоне, где выявлено гидротермальное баритовое оруднение предполагается флюидная активность. На западном борту впадины Дерюгина при глубине моря 800 м в керне глинистых осадков обнаружены газогидраты [Обжиров и др., 1999; Соловьев и др., 1994; Cruise..., 2000]. Газогеохимические исследования подтверждают активные гидротермальные процессы, протекающие во впадине Дерюгина: вдоль зон разломов отмечается в придонной воде высокое содержание метана, водорода, углекислого газа, гелия и сероводорода. Мощность осадочного слоя неравномерна. В западной части у берегов о. Сахалин достигает 10-13 км, на восточном борту значительно уменьшается, в центре впадины местами составляет до 250 м (в местах поднятий акустического фундамента). Впадина Дерюгина выполнена кайнозойскими, преимущественно глубоководными, морскими терригенными и кремнисто-терригенными отложениями. В большинстве колонок из впадины Дерюгина вскрыты только отложения 1 и 2 изотопно-кислородных стадий (ИКС) (рис.2). Возрастное расчленение основано на результатах анализа изотопного состава кислорода раковин планктонных фораминифер и корреляции полученной изотопной кривой со стандартной изотопно-кислородной стратиграфией [Martinson et al., 1987]. Отложения 2 ИКС с возрастом 24-12,4 тыс. лет представлены терригенными пелитами и алевритами с низким содержанием карбонатного и кремнистого биогенного материала. Характерной чертой их является интенсивное диагенетическое изменение и наличие турбидитных прослоев. Отложения 1 ИКС, с возрастом менее 12,4 тыс. лет отличаются высоким содержанием биогенных компонентов, тонким гранулометрическим составом и наличием в верхней части горизонта диатомовых илов. При последующем анализе распределения рудных элементов и расчете скоростей накопления использовалось расчленение отложений 1

ИКС на литостратиграфические горизонты. В ее составе выделены два литостратиграфических горизонта: Ia (0-8 тыс. лет) соответствующий выделенным ранее «диатомовому» и «переходному» горизонтам и Ib (12,4-8 тыс. лет) соответствующий «фораминиферовому» горизонту [Gorbarenko et al., 2002].

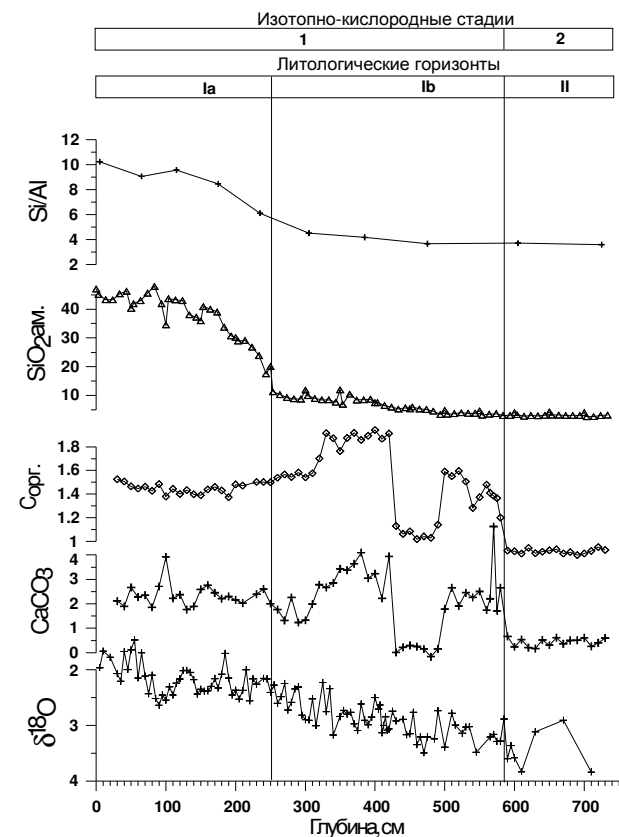


Рис. 2. Стратиграфическое расчленение голоценовых и позднеледниковых осадков впадины Дерюгина по изотопному составу кислорода раковин планктонных фораминифер *Globigerina bulloides* и вариациям содержания биогенных элементов на примере колонки LV27-2-4 [Gorbarenko et al., 2002; Астахов и др., 2005]. Литологические горизонты: Ia – голоценовый кремнистый горизонт, Ib – голоценовый терригенный, II – позднеледниковый терригенный.

**Рудная минерализация в Охотском море и районе исследования.** Впадина Дерюгина является уникальным природным объектом. В восточной части впадины



Дерюгина выявлены крупные проявления массивных баритов. Выделяется несколько их типов [Астахова и др., 1986; Astakhova, 1993, 1996]: мономинеральные травертиноподобные образования (96,5 %  $\text{BaSO}_4$ ); сферический барит (70,0 %  $\text{BaSO}_4$  и 13,22 %  $\text{SiO}_2$ ); баритовый цемент в полимиктовых песчаниках и конгломератах (до 58,9 %  $\text{BaSO}_4$ ); подводные каналы, внутренняя часть которых выполнена баритом (92,7 %  $\text{BaSO}_4$ ); "пропитка" баритом отдельных участков вмещающего осадка (26,8-24,1%  $\text{BaSO}_4$ ) с образованием жеод и замещением органических остатков; переотложенный барит в светло-коричневом пелитовом осадке (12,5 %  $\text{BaSO}_4$ ). Баритовая минерализация приурочена к области сочленения вулканотектонической депрессии с восточной приподнятой частью фундамента впадины Дерюгина [Астахова и др., 1990].

В северо-восточной части впадины Дерюгина на поверхности баритовых построек обнаружены железомарганцевые образования. Тонкие 1-2 мм корочки железомарганцевых гидроокислов покрывают внешнюю поверхность травертиноподобного барита. Внутри некоторых образцов также наблюдаются тонкие прослой гидроокислов марганца. На удалении от баритовых холмов на поверхности осадка обнаружены как плотные, темно-коричневые, толщиной около 1 см, так и рыхлые, более светлые корки, мощностью до 1,5 см. Содержание Fe достигает 15,2%, Mn - 14,5%. По химическому составу корок центральной части Охотского моря отмечено, что суммарное содержание в них рудных элементов достигает 30 вес. %. Концентрация марганца в них меняется от 3,1 до 16,0 %, а железа - от 13,5 до 17,7 %, Mn/Fe - от 0,18 до 1,42. Содержание некоторых микроэлементов, таких как Co, Ni, Си, Zn, составляет 0,05 %; 0,12 %; 0,03 %; 0,09 % соответственно [Astakhova et al., 2005].

Интенсивное образование карбонатов в осадке происходит в районах газовых выходов на морском дне. Аутигенные карбонаты были обнаружены в нескольких колонках донных осадков, поднятых в районе придонной газовой аномалии на склоне северо-восточного шельфа Сахалина [Мониторинг..., 2002; Обжиров и др., 2000]. Изученные аутигенные карбонаты в осадочном слое условно подразделяют на четыре минералогических вида: плотные карбонатные конкреции и корки, «генойши», кристаллы гидрокальцита и слаболифитифицированные прослой с карбонатным цементом. Наименее изучены в данном районе кристаллы гидрокальцита, т.к. очень неустойчивы к изменениям внешней среды и быстро разрушаются при извлечении из осадка с образованием карбонатного порошка [Астахов, 1986]. Наиболее распространены конкреции, образованные пелитоморфным карбонатом, цементирующим терригенный материал и органические остатки. Содержание карбоната в конкрециях варьирует от 62,7 до 95,9 %. Карбонатные образования типа «генойши» залегают в осадках верхнеплейстоценового возраста [(Астахов, 1986; Астахов и др., 1988) и представляют собой пористые «кристаллы» в форме призм и пирамид тетрагональной сингонии и встречаются совместно с одиночными конкрециями шаровидной, эллипсоидальной и удлиненной формы. По изотопному составу углерода карбонатный цемент и «генойши» близки, формирование их связано с ранним диагенезом осадков и идет путем деструкции рассеянного органического вещества и перераспределения биогенного карбоната [Обжиров и др., 2000]. В осадках колонки Ge99-31-4, отобранной в северной части впадины Дерюгина были выявлены марганцевые карбонаты [Астахов и др., 2004]. Карбонат представлен длиннопризматическими микрокристаллами длиной 5-15 микрон и диаметром менее 2-4 микрон, образующими сплошные массы с включениями

терригенных зерен и диагенетического пирита. Основная масса карбонатных минералов по результатам валового рентгеноструктурного анализа представлена кальцитом и магниальным кальцитом с примесью доломита [Астахов и др., 2004].

В донных осадках впадины Дерюгина широко распространены немагнитные сульфиды, представленные пиритом с содержанием железа до 49,2 % [Астахова, Разжигаева, 1988]. Содержание микроэлементов, определенных методом атомно-абсорбционной спектрометрии, следующее ( $10^{-4}$  %): Mn – 510, Ni – 425, Co – 232, Cu – 85, Pb – 108, Cr – 43, Ag – 40, Sb – 482, As – 1700. По сравнению с диагенетическими пиритами других районов, в пиритах впадины Дерюгина отмечается некоторое увеличение содержаний Ni, Co, Cu, Ag [Астахова, Разжигаева, 1988, Обжиров и др., 1999]. Пробы аутигенного пирита характеризуются легким изотопным составом серы с величиной  $\delta^{34}\text{S}$  -36,1 ‰, что указывает на его биогенное происхождение [Астахова, Разжигаева, 1988; Обжиров и др., 1999]. В колонке Ge99-31 выявлены также марганцевые пириты с содержанием марганца до 3,0 %, а также тонкодисперсные рудные сульфиды (галенит, кубанит).

#### **Глава 4. Геохимия верхнеплейстоцен-голоценовых отложений впадины Дерюгина**

**Распределение рудных элементов по разрезу** рассматривалось на примере нескольких колонок из восточной и западной частей впадины. При этом для отдельных литостратиграфических горизонтов отмечаются некоторые особенности химического состава (рис. 3). Относительно однородным распределением большинства проанализированных элементов характеризуются *терригенные илы 2 ИКС*. Отличительной особенностью *голоценовых терригенных илов* является локальное увеличение содержания железа (до 5-6 %), свинца, молибдена и значения коэффициента Mo/Mn. Для западной части отмечается повышенные содержания Li, а для восточной части - V и Co. *Голоценовые диатомовые илы*, характеризующиеся высоким содержанием  $\text{SiO}_{2\text{св}}$  (до 50 %), обогащены марганцем и некоторыми микроэлементами (Ba, Zn, Ni). При этом в восточной части отмечается также частично повышенное содержание Cu, Co и Hg.

При анализе **пространственного распределения рудных элементов в верхнеплейстоцен-голоценовых отложениях** выявилась сложная картина. Карты распределения для некоторых элементов существенно усложнены из-за преобладания в осадочном слое, вскрытом трубками, голоценовых или верхнеплейстоценовых отложений. Если в колонках присутствуют только верхнеплейстоценовые отложения, или они преобладают, содержания многих элементов (Zn, Ni, Mn, Fe) оказываются значительно ниже, чем в соседних колонках, представленных преимущественно голоценовыми осадками. Поэтому более детальный анализ распределения рудных элементов в осадочном чехле проводился для отдельных литостратиграфических горизонтов.

**Верхнеплейстоценовые терригенные отложения** характеризуются довольно низкими и равномерными содержаниями рудных элементов. В распределении рудных элементов в **голоценовом терригенном горизонте** выделяется несколько зон повышенных содержаний в пределах Кашеваровской рифтогенной зоны в районе «Баритовых гор» (Mn, Ba, Zn, Ni, Cu, Pb, частично Fe) и к северу от них, в центральной части котловины (Hg, Fe) и в западной ее части (Hg, Ba) (рис. 4).

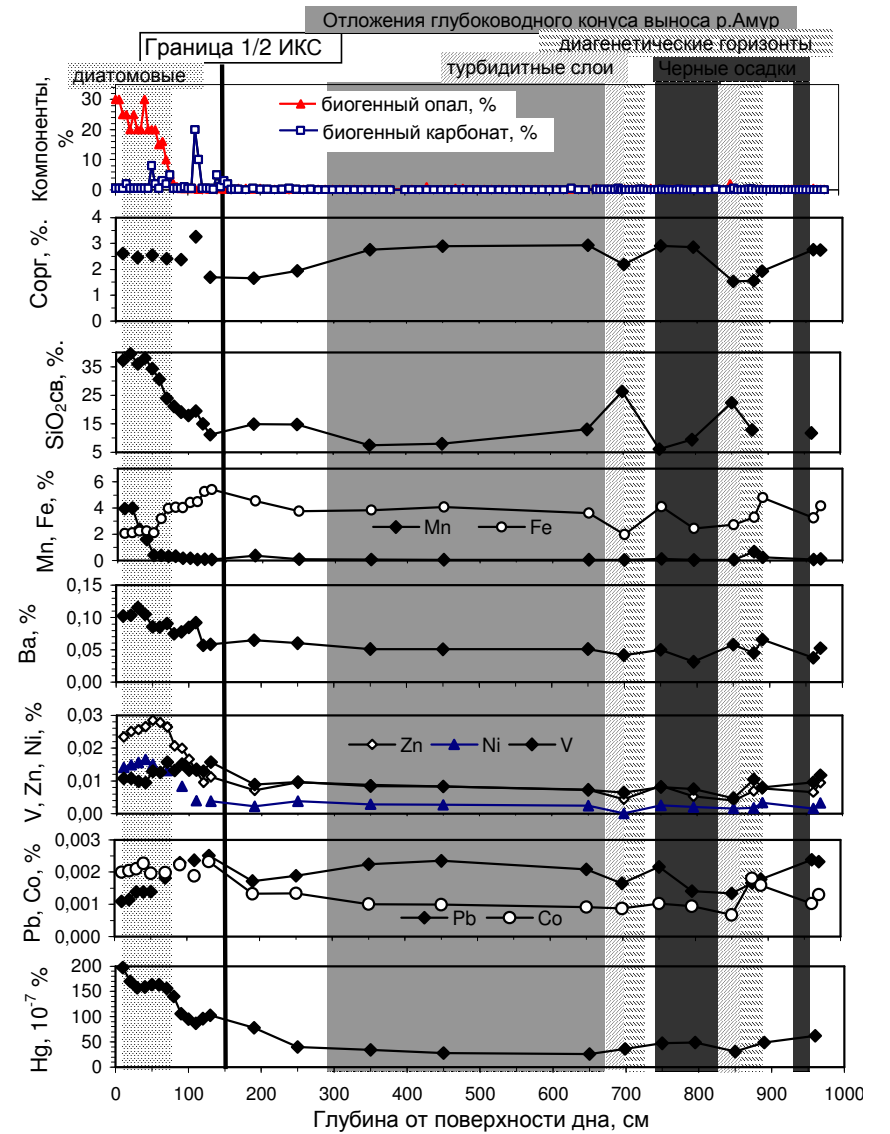


Рис. 3. Содержание биогенных компонентов и некоторых рудных элементов в осадках колонки LV29-103-2. Содержания биогенных компонентов представлены по результатам анализа микроскопических препаратов [Cruise..., 2003].

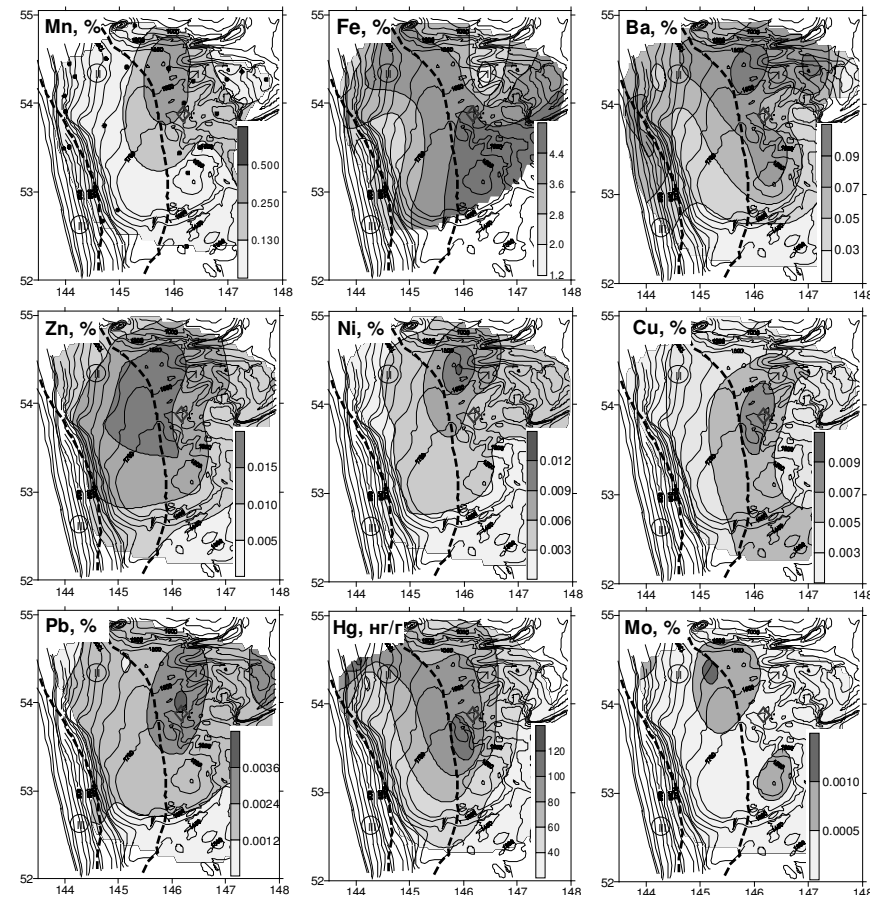


Рис. 4. Распределение рудных элементов в осадках голоценового терригенного горизонта.

Осадки **голоценового диатомового горизонта** (рис. 5) характеризуются контрастным распределением Mn, Zn, Ni, Cu, Hg вблизи «Баритовых гор» и к югу от них, исключением является железо, обогащающее осадки юго-восточнее «Баритовых гор» в пределах Кашеваровской рифтогенной зоны и молибдена, повышенные содержания которого приурочены к западной части впадины. Подобное распределение рудных элементов характерно и для **поверхностного слоя осадков**, но в отличие от диатомовых осадков выделяется область аномальных содержаний марганца (до 4-5 %) вдоль Восточно-Дерюгинской шовной зоны.

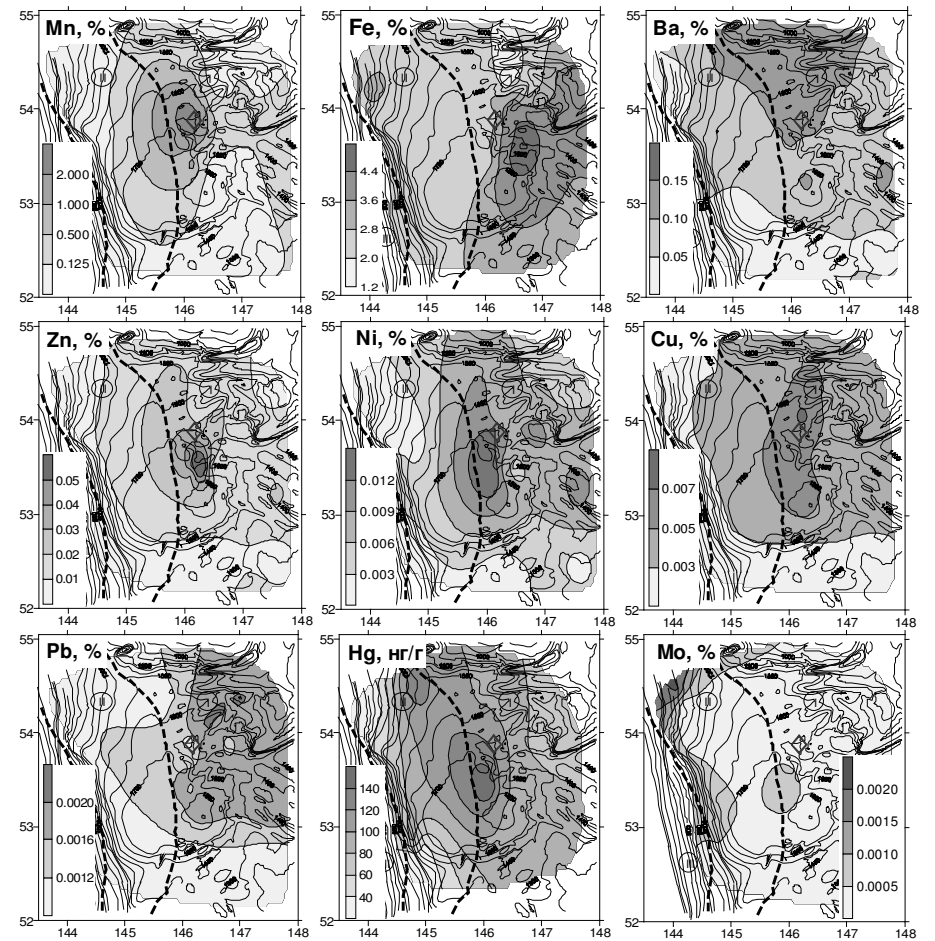


Рис. 5. Распределение рудных элементов в голоценовом диатомовом горизонте.

Исходя из представленных данных по скоростям осадконакопления и средних содержания рудных элементов для различных литостратиграфических горизонтов рассчитывались **скорости накопления «избыточных» масс** отдельных элементов ( $S$ , г/см<sup>2</sup> в тыс. лет) по формуле:  $S = (C - C_f) \times R_m / 100$ ; где:  $R_m$  – скорость осадконакопления в абсолютных массах (г/см<sup>2</sup> тыс. лет),  $C$  – среднее содержание элемента в осадках,  $C_f$  – среднее фоновое содержание элемента. Построенные карты скоростей накопления для голоценового терригенного горизонта (рис. 6) в общем виде

отражают особенности распределения элементов в осадках, выявленные при анализе карт их содержаний. Но для голоценового диатомового горизонта интенсивные скорости накопления Mn, Ni, Zn, частично Ba отмечаются в центральной части впадины вдоль Восточно-Дерюгинской шовной зоны (рис. 7). По сравнению с картами содержаний эти аномальные зоны выражены более контрастно.

Для выявления основных закономерностей формирования химического состава осадков был выполнен **многокомпонентный статистический анализ**. По результатам корреляционного анализа были выявлены две основные ассоциации элементов. В первую группу входят элементы терригенных компонент осадка Al-Ti-Fe-Li. Во вторую ассоциацию - различные по характеру поведения в морских обстановках элементы (Mn, Zn, Ni, Ba, Pb).

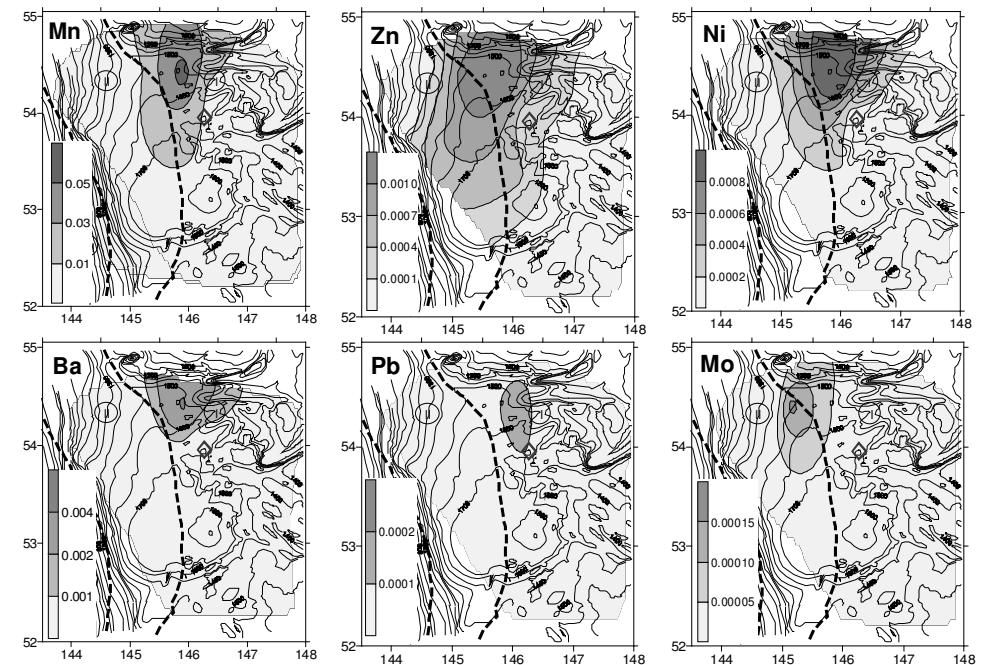


Рис. 6. Скорости накопления ( $\text{г/см}^2$  в тыс. лет) «избыточных» масс рудных элементов для голоценового терригенного горизонта.

Согласно результатам факторного анализа было выделено три фактора (рис. 8). Отрицательные значения первого фактора, определяющего 93 % изменчивости выборки зависят от совокупного влияния алюминия и железа. Менее значимы вариации содержаний марганца. По значениям 1 фактора выделился участок в центральной части впадины вдоль ВДШЗ (рис. 9). Он включает и область обогащения осадков марганцем,

хотя вклад его в формирование этого фактора незначителен. Второй фактор, дающий 5 % изменчивости выборки, определяется марганцем и железом, им противостоят все остальные элементы. Такой набор элементов позволяет предполагать определяющее влияние на формирование 2 фактора гидротермальной поставки рудных элементов. По отрицательным значениям его выделяется поле в центральной части впадины, а также часть КРЗ (рис. 9). Положительные значения 3 фактора, дающего всего 2 % изменчивости выборки, определяются содержаниями железа и титана. В результате по значениям 3 фактора оконтурились участки КРЗ (рис. 9), где предполагается поступление железа и титана с продуктами разрушения магматических пород возвышенностей и отдельных гор, а также северная часть впадины, где можно предполагать привнос с севера терригенного материала обогащенного высокожелезистыми глинистыми минералами.

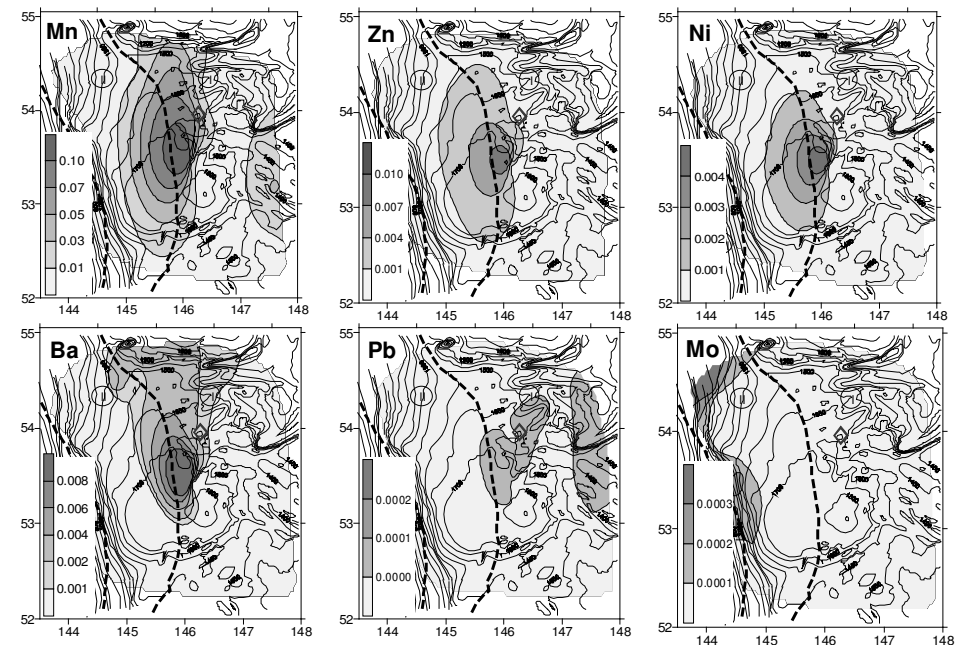


Рис. 7. Скорости накопления ( $\text{г/см}^2$  в тыс. лет) «избыточных» масс рудных элементов для голоценового диатомового горизонта.

В этой же главе рассмотрена **геохимия металлоносных осадков**, для выделения которых в данной работе используется показатель Н.М.Страхова -  $(\text{Fe}+\text{Mn})/\text{Ti}$  более 25. Отмечается, что марганцевые МО впадины Дерюгина выявлены в диатомовом горизонте и представлены двумя типами: карбонатными и оксидными. Карбонатные осадки, в которых марганец находится в составе марганцевого карбоната (кутнагорит) и марганцовистом пирите определены пока в единичных пробах [Астахов

и др., 2004]. Оксидные - покрывают дно центральной части впадины в широкой полосе вдоль ВДШЗ (рис. 10). Они слагают поверхностный слой осадков мощностью до 30 см в полосе шириной до 40 км и протяженностью 180 км. Характерной особенностью химического состава оксидных металлоносных осадков является высокое содержание марганца. Среднее содержание его превышает фоновое для верхнечетвертичных осадков впадины в 35 раз. Кроме того, они в 3-5 раз обогащены Ni, Zn, Co.

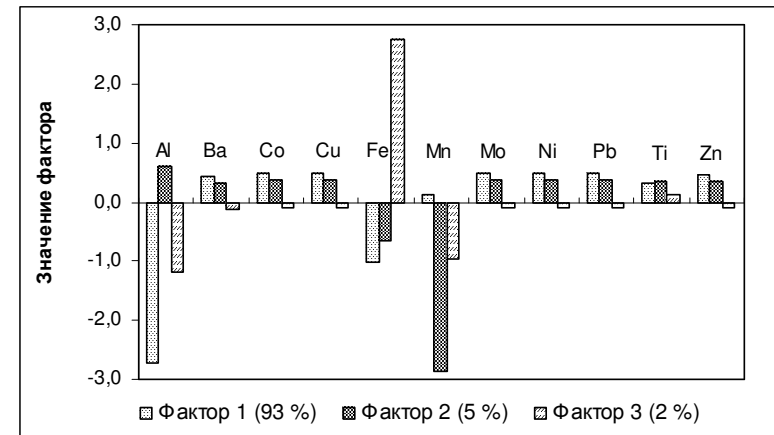


Рис. 8. Гистограммы факторных нагрузок для трех факторов по содержаниям 11 химических элементов в поверхностных осадках впадины Дерюгина.

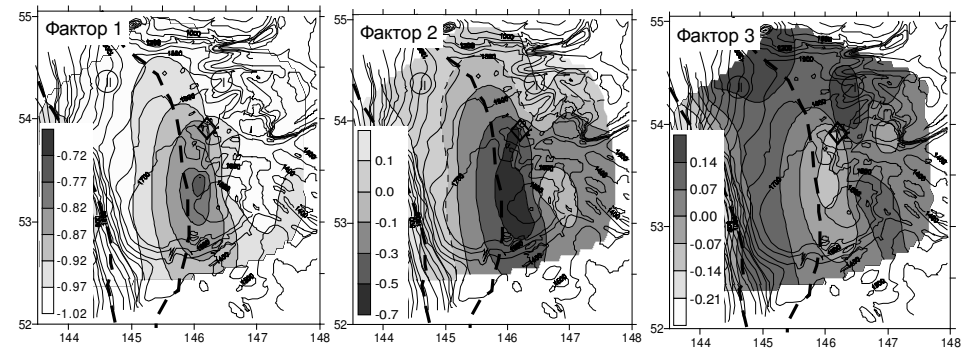


Рис. 9. Карта распределения значений трех факторов для поверхностных осадков впадины Дерюгина.



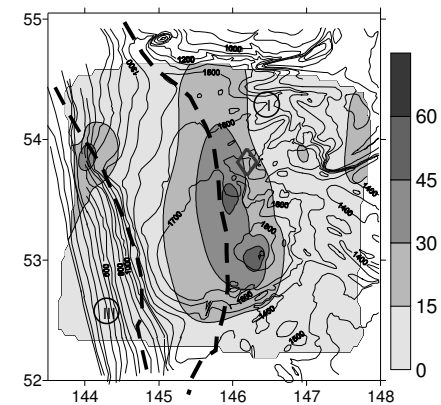


Рис. 10. Средние значения литохимического модуля  $(Fe+Mn)/Ti$  для поверхностного слоя осадков впадины Дерюгина.

#### Глава 5. Закономерности формирования аномальных и повышенных концентраций рудных элементов

В данной главе рассмотрены основные факторы, определившие интенсивную аутигенную минерализацию и высокие скорости накопления рудных элементов в голоценовых отложениях впадины Дерюгина: роль эндогенных источников, диагенетические процессы, палеоокеанологические условия бассейна.

Локализация известных эндогенных источников, распределение аномальных содержаний и темпов накопления рудных элементов, аутигенная минерализация в осадках и диагенетические изменения позволяют предполагать наличие инфильтрационных скоплений рудного вещества в минеральной или рассеянной формах в местах постоянного или эпизодического поступления элизионных флюидов по периферии Дерюгинского осадочного бассейна или постагматических флюидов в пределах КРЗ. С последними, вероятно, связаны наиболее крупные минералопоявления «Баритовых гор» – массивные баритовые постройки и железомарганцевые корки [Кулинич, Обжиров, 2003]. Предполагается, что железо и марганец для формирования корок поставлялись низкотемпературными гидротермами [Астахова, Саттарова, 2005]. Формирование баритов определялось привнесом бария низкотемпературными гидротермами и сульфатом морских вод [Astakhova, 1993]. К инфильтрационным можно отнести значительную часть карбонатных конкреций и карбонатного цемента осадков районов газовых источников, распространенных на склоне о. Сахалин и в районе Баритовых гор. В этих же районах отмечены и инфильтрационные скопления ртути в осадках (рис. 11) [Астахов и др., 2007]. Здесь под слоем газогидратов, являющимся временным флюидоупором, совместно с ртутью накапливается и селен, что позволяет предполагать возможность его инфильтрационного накопления. Колонка Ge99-29-3 характеризуется также повышенным содержанием Mo, S, Fe и Sb, что в значительной степени, определяется раннедиагенетическим перераспределением в осадочном слое. Плюмовым накоплением рудных элементов определяется, скорее всего, обогащение Mn, Zn, Ni, Cu, Ba, Hg, осадков центральной части котловины вблизи ВДШЗ. Локализация их вдоль

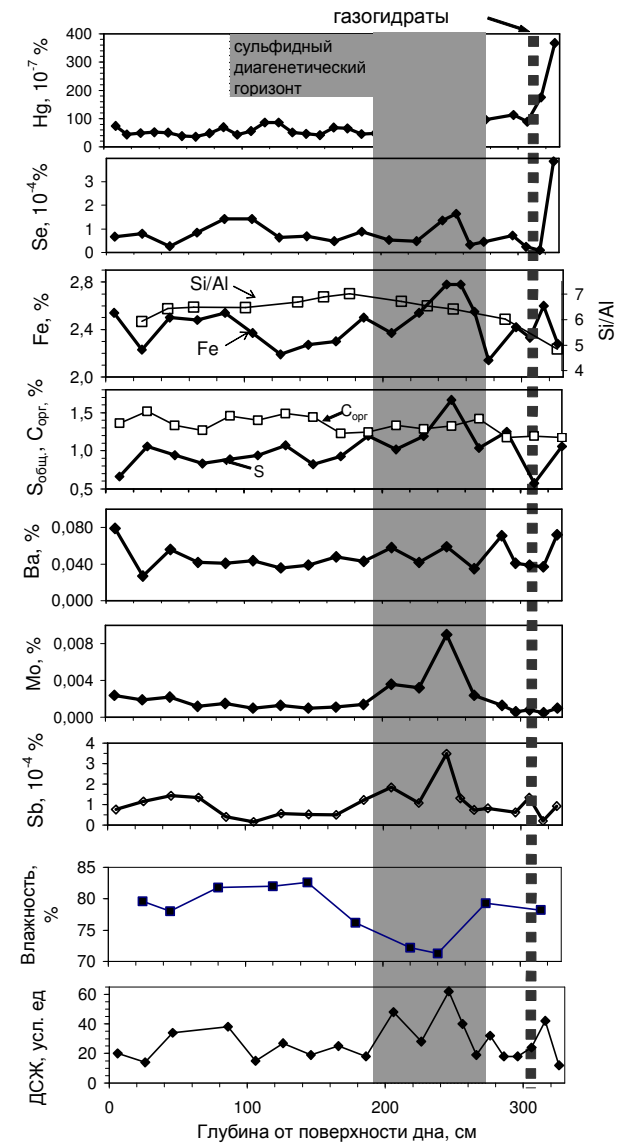


Рис. 11. Содержание биогенных, рудных и некоторых литолого-геохимических характеристик осадков колонки Ge99-29-3 [Астахов и др., 2007]. Условные обозначения: ДСЖ – диагенетические сульфиды железа [Диденко, 2001].

тектонической структуры позволяет предполагать наличие нескольких эпизодически активизирующихся эндогенных источников, поставляющих в водную толщу рудные элементы или изменяющих физико-химические условия вод.

Интенсивное накопление молибдена по периферии Дерюгинского осадочного бассейна объясняется существованием аноксидных условий, в том числе и сероводородным заражением иловых и придонных вод, в зоне распространения метановых источников. Эта зона наиболее контрастно оконтуривается аномальными значениями коэффициента  $Mo/Mn$  (рис. 12). Значения более 0,01-0,02, характерные для сероводородных бассейнов осадконакопления [Холодов, 2002] отвечают осадкам, где отмечено локальное сероводородное заражение вблизи метановых источников [Соловьев и др., 1994; Обжиров и др., 2000; Cruise..., 1999; Cruise..., 2000], локализованных в относительно узкой полосе вдоль Западно-Дерюгинской шовной зоны и к северу от нее. Раннедиагенетическое перераспределение марганца на редокс-барьере предполагается одним из основных факторов, определившим резкое обогащение поверхностного слоя осадков центральной части котловины и формирование там металлоносных осадков. Характерной особенностью осадков впадины вблизи шовных зон, ограничивающих Дерюгинский осадочный бассейн, является интенсивное диагенетическое изменение, обычно не характерное для верхнечетвертичных отложений районов с отсутствием признаков дефлюидизации. Постседиментационные изменения осадков выражены в частичной цементации осадка карбонатами, формировании сульфидов, выполняющих полости в вулканическом стекле, скелетов диатомей, спикул губок и раковин радиолярий и фораминифер, смектитизации отдельных прослоев пелитовых осадков, особенно на границах песчаных слоев турбидитов. Кроме того, выявлены марганцевые карбонаты (кутнагорит), марганцовистый пирит с содержанием марганца от 0,4 до 5,3 %, тонкодисперсные рудные сульфиды (галенит, кубанит).

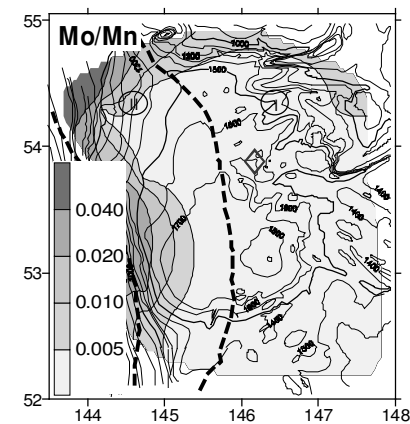


Рис. 12. Средние значения литохимического модуля  $Mo/Mn$  для диатомового слоя осадков впадины Дерюгина.

Диагенетические горизонты с цементацией осадков карбонатами или сульфидами установлены во многих колонках склона о. Сахалин. Предполагается, что

их формирование связано с биохимическими и физико-химическими процессами на барьерах при контакте морских и иловых вод в условиях привноса метана из осадочного чехла [Обжиров и др., 2000; Cruise..., 2003]. Эти горизонты выделяются также и по физико-механическим свойствам осадков [Cruise..., 2003]. Например, в колонке Ge99-29-3 (рис. 11) сульфидный диагенетический горизонт выделяется по низким значениям влажности и повышенным величинам плотности осадков, а также увеличению содержаний Fe, S, Mo, Sb.

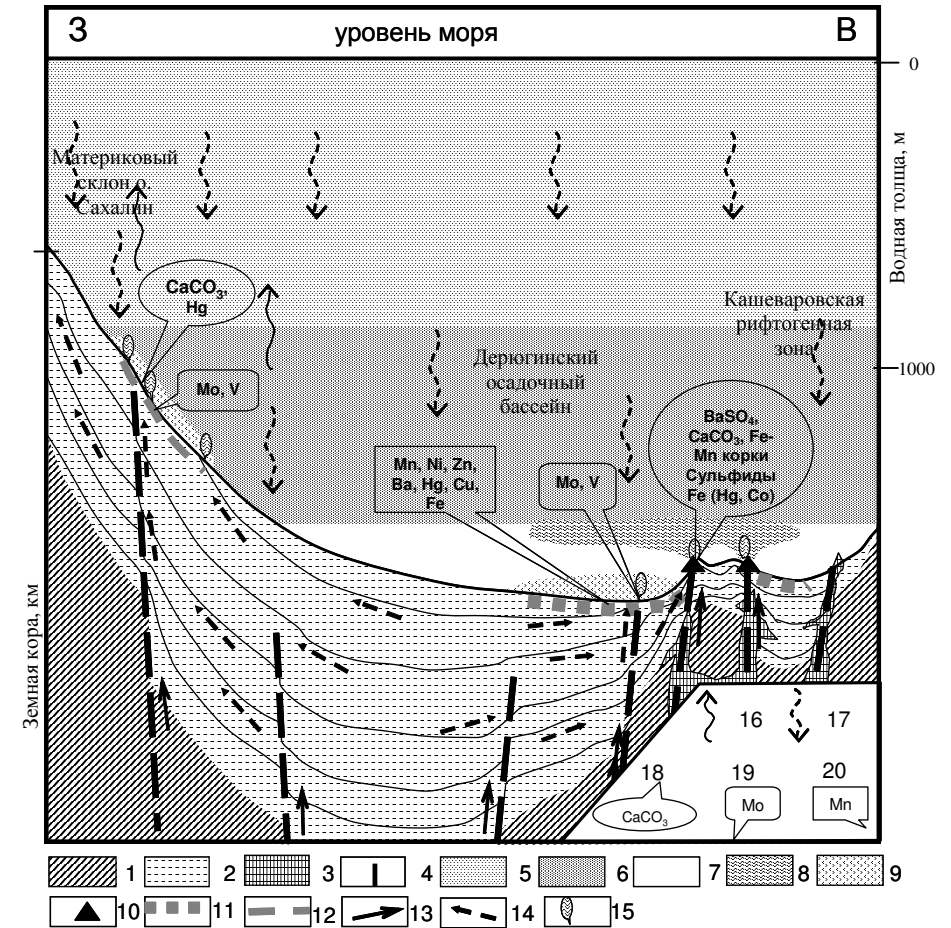


Рис. 13. Модель формирования марганцевых металлонесущих осадков впадины Дерюгина (условный субширотный разрез). Условные обозначения: 1 – акустический фундамент, 2 – осадочный чехол, 3 – позднекайнозойские вулканиты; 4 – разрывные

нарушения; 5 – поверхностная, 6 - промежуточная водная масса, 7 - глубинная; 8-9 – водные плюмы, эпизодически формирующиеся над эндогенными источниками; 10 – массивные рудные образования на поверхности дна (бариты, железомарганцевые корки); 11 – марганцевые металлоносные осадки; 12 – интенсивное диагенетическое изменение осадков вблизи мест разгрузки элизионных флюидов; 13-14 – направление движения флюидов в осадочном чехле; 15 – поступление эндогенных флюидов в водную толщу; 16 – миграция газов в водной толще от эндогенных источников; 17 – осаждение биогенного кремнистого и карбонатного материала; 18-20 – минералы, формирующиеся на поверхности дна и химические элементы, образующие аномальные содержания в поверхностных осадках: 18 – за счет поставки вещества эндогенными флюидами, 19 – осадения из придонных вод со специфическими физико-химическими условиями, определяемыми влиянием эндогенных источников, 20 – осадившиеся из «гидротермальных» плюмов в глубинной водной массе.

В распределении и темпах накопления марганца и многих микроэлементов (Ni, Zn, Co, Cu, Ba, Hg) наиболее контрастно проявляется стратиграфический контроль. В диатомовых осадках литостратиграфического горизонта Ia содержание марганца почти на порядок выше, чем в терригенных отложениях горизонтов Ib и II. Менее контрастно это проявляется и для микроэлементов (Zn, Ni, Co, Cu, Ba, Hg). При анализе же распределения марганца и микроэлементов по отдельным колонкам можно отметить, что увеличение содержаний их началось и в литостратиграфическом горизонте Ib. Наиболее важным событием, произошедшим в начале голоцена, когда началось интенсивное накопление марганца на значительной площади впадины явилась стратификация водной толщи [Горбаренко и др., 2003]. При этом увеличилась глубина моря, уменьшилась ледовитость, увеличилась биопродуктивность, сократилось поступление терригенного материала с суши. В результате резко изменился и состав формирующихся осадков. Терригенные алевролиты и смешанные осадки с большим количеством грубого материала ледового разноса сменились диатомовыми илами или терригенными, обогащенными органическим веществом и карбонатом.

Обогащение рудными элементами этих же отложений определило формальное существование корреляционных связей между биогенными и рудными элементами, хотя генетической зависимости между ними нет. Интенсивное накопление в них марганца и ассоциирующих с ним микроэлементов отмечено только в зоне возможного распространения эндогенных плюмов от Баритовых гор и некоторыми другими районами предполагаемой эндогенной активности в глубоководной части впадины, не приуроченной к определенному батиметрическому уровню.

В этой же главе предложена схематическая модель формирования марганцевых металлоносных осадков впадины Дерюгина (рис. 13). На ней показаны возможные способы формирования гидротермальных и газовых флюидов из элизионного Дерюгинского осадочного бассейна и постмагматических флюидов Кашеваровской рифтогенной зоны и процессы накопления рудных элементов в зависимости от палеоокеанологических условий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составе верхнечетвертичных отложений впадины Дерюгина выявлены осадки с аномальными и повышенными содержаниями марганца и многих микроэлементов. Они локализуются как вблизи известных и предполагаемых эндогенных источников КРЗ, так и на значительном удалении от них. При анализе процессов осадконакопления, литологических и геохимических особенностей отдельных литостратиграфических горизонтов, изучения скоростей накопления рудных элементов в отдельные этапы голоцена было установлено, что геологические условия являются основными для локализации таких отложений. Это определяется специфическими геологическими процессами, связанными с современным развитием Дерюгинского рифтогенного прогиба и пострифтового развития КРЗ. Влияние этих процессов на осадконакопление и рудообразование во впадине Дерюгина опосредуется через активный флюидодинамический режим.

Выделяются три источника поступления рудных элементов в осадки: инфильтрационное, плюмовое и гидрогенное. При инфильтрационном поступлении рудных элементов с эндогенными флюидами в местах выходов формируется массивная рудная минерализация на поверхности дна (бариты, железомарганцевые корки) или рассеянная рудная минерализация, определяющая аномальные содержания Ва, Мп, Нг, Se, иногда Fe, Cu, Pb. За счет рудного вещества морских вод, поставляемого в водные плюмы эндогенными источниками, происходило интенсивное накопление в осадках Мп, Zn, Ni, Ba, Hg, Cu. Гидрогенное накопление рудных элементов (Mo, V) характерно для аноксидных и сероводородных обстановок, возникающих вблизи метановых источников.

Определяющими факторами для плюмового и гидрогенного накопления рудных элементов являются вариации палеоокеанологических условий, с которыми связана стратификация водных масс (от чего зависит возможность формирования обширных водных плюмов и возникновение сероводородных обстановок над эндогенными источниками, а также биопродуктивность, влияющая на интенсивность биогенного осаждения рудных элементов из плюмов и поверхностных вод). В холодные этапы четвертичной истории вся водная масса впадины Дерюгина была подвержена вертикальному конвективному перемешиванию и плюмы над эндогенными источниками не формировались. Плюмовое накопление рудных элементов началось в начале голоцена, когда возникла придонная водная масса. Наиболее же интенсивным оно стало в последние 6-8 тыс. лет. Наиболее интенсивное гидрогенное накопление отмечено для постледникового события беллинг-аллеред (10-12,4 тыс. лет назад), когда во всей северо-западной Пацифике произошла интенсификация слоя кислородного минимума.

Марганцевые металлоносные осадки выявлены в слое диатомовых голоценовых илов и представлены двумя типами: карбонатными и оксидными. Наиболее распространены оксидные покрывающие дно центральной части котловины в широкой полосе вдоль ВДШЗ.

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации:**

1. **Саттарова В.В.** Определение элементного состава морских рудных образований методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной

плазмой // XX Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск, 2003. С. 173-174.

2. Астахова Н.В., **Саттарова В.В.** Железомарганцевые образования центральной части Охотского моря // Геология морей и океанов. Тез. докл. XV Международной школы морской геологии. М., 2003. С. 66-67.

3. **Саттарова В.В.**, Киселев В.И., Зарубина Н.В. Определение элементного состава позднечетвертичных отложений котловины Дерюгина (Охотское море) АЭС-ИСП методом // Тез. докл. VII Конференции "Аналитика Сибири и Дальнего Востока". Новосибирск, 2004. С. 64.

4. Астахов А.С., Горбаренко С.Г., Бахарева Г.А., Грецкая Е.В., **Саттарова В.В.** Распределение и скорости накопления рудных элементов в голоценовых и позднеплейстоценовых отложениях котловины Дерюгина Охотского моря // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 2. С. 115-132.

5. Астахова Н.В., **Саттарова В.В.** Геохимия железомарганцевых образований центральной части Охотского моря // Вулканология и сейсмология. 2005. № 3. С. 29-33.

6. Астахов А.С., Валлманн К., Иванов М.В., Колесов Г.М., **Саттарова В.В.** Распределение и скорости накопления ртути в верхнечетвертичных отложениях котловины Дерюгина Охотского моря // Геохимия. 2007. Т. 45. № 1. С. 1-17.

7. Астахов А.С., **Саттарова В.В.**, Свининников А.И., Астахова Н.В., Доманов М.М., Иванов М.В. Марганцевые металлоносные осадки котловины Дерюгина Охотского моря: особенности химического состава, геологические условия формирования // Тихоокеанская геология (в печати).

8. Astakhova N.V., Astakhov A.S., **Sattarova V.V.** Sediment Chemistry and Ore mineralization of the Derugin Riftogenic Zone, the Sea of Okhotsk // Proceedings of the Interim IAGOD Conference: Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins. 2004. PP. 73-76.

9. Astakhov A.S., Gorbarenko S.A., Bakhareva G.A., Gretskaia E.V., **Sattarova V.V.** Distribution and Accumulation Rates of Fe, Mn, Ba and Trace Metals in Holocene Sediments of the Derugin Basin (Okhotsk Sea): Influence of Biogenic and Chemogenic Precipitation // Fifth Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk – Kurile Island Arc System, Program & Abstracts, Vladivostok. 2004. P. 41.

10. Astakhova N.V., **Sattarova V.V.** Geochemistry of Ferromanganesian Formation in the Central Part of the Okhotsk Sea // Fifth Workshop on Russian-German Cooperation in the Sea of Okhotsk – Kurile Island Arc System, Program & Abstracts, Vladivostok. 2004. P. 42.

11. Astakhova N.V., Astakhov A.S., **Sattarova V.V.**, Vvedenskaya I.A. Ferromanganesian Mineralization in the Marginal Seas of the Eastern Asia // Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres: Materials of VII Intern. Interdisciplin. Symposium. Vladivostok, 2005. P. 258-261.

Подписано в печать 20.10.2006 г. Формат 60x90/16.

Уч.-изд.л. 1. Тираж 100.

Отпечатано в ТОИ ДВО РАН 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43