

МАРГАНЦЕВЫЕ МЕТАЛЛОНОСНЫЕ ОСАДКИ КОТЛОВИНЫ ДЕРЮГИНА  
ОХОТСКОГО МОРЯ: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ  
ФОРМИРОВАНИЯ

*А.С. Астахов<sup>1</sup>, В.В. Саттарова<sup>1</sup>, А.И. Свининников<sup>1</sup>, Н.В. Астахова<sup>1</sup>,  
М.М. Доманов<sup>2</sup>, М.В. Иванов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 10 февраля 2006 г.

Приведены результаты изучения вещественного состава и распространённости марганцевых металлоносных осадков в котловине Дерюгина. Они слагают поверхностный слой осадков мощностью до 30 см в полосе шириной до 40 км и протяжённостью 180 км в центральной части котловины вдоль Восточно-Дерюгинской шовной зоны, ограничивающей с востока Дерюгинский осадочный бассейн. Осадки обогащены относительно фоновых Mn в 35 раз, Au, Ni, Zn, Co – в 3–5 раз и, локально, Mo, V, Ba, Cu, Pb, Hg. Предполагается, что формирование их определяется действием нескольких процессов: осаждением марганца и некоторых микроэлементов из гидротермальных плюмов морских вод, эпизодически формирующихся над эндогенными источниками северной части котловины, осаждением из аноксидных придонных вод у восточной границы котловины Дерюгина осадочного бассейна и ранне-диагенетической миграцией марганца в поверхностные осадки.

**Ключевые слова:** марганец, металлоносные осадки, химический состав, генезис, котловина Дерюгина, Охотское море.

#### ВВЕДЕНИЕ

Металлоносными осадками принято считать неконсолидированные глубоководные отложения, формирующиеся в геологически активных районах океанов и морей и имеющие в абиогенной части необычно высокие по сравнению с фоновыми осадками содержания железа, марганца и некоторых микроэлементов. Интерес к их изучению первоначально определялся приуроченностью к высокотемпературным гидротермальным источникам срединно-океанических хребтов и задуговых спрединговых бассейнов [22]. В этом случае они изучались в качестве поискового признака сульфидного оруденения и для реконструкции истории гидротермальной деятельности. В последующем они начали изучаться и как самостоятельный объект для возможного практического использования.

Существуют несколько формальных критериев для отнесения осадков к металлоносным [11, 22] на основании соотношений рудных (Fe, Mn) элементов, избыточное накопление которых определяется гидротермальным привносом, и элементов литогенной

части, нерудных (Al, Ti). В предлагаемой работе используется коэффициент  $(Fe+Mn)/Ti$ , значения которого более 25 Н.М. Страхов [33] принимал для выделения металлоносных осадков. В то же время, Е.Г. Гурвич [22] считает все критерии выделения металлоносных осадков достаточно условными, так как значительные количества гидротермального вещества, поступающего на дно, накапливаются вне ареалов металлоносных осадков, в осадках, формально считающихся неметаллоносными. В настоящее время выявлены различные механизмы накопления металлов, поставляемых гидротермальным путем в водную толщу, включая осаждение дисперсных минералов железа и марганца из вулканических эксталяций [24] и сорбционное осаждение растворенных железа и марганца в водах гидротермального плюма на поверхности осаждающихся сквозь него осадочных биогенных и литогенных частиц [48]. Считается, что микроэлементный состав металлоносных осадков формируется, главным образом, за счет сорбции гидроксидами железа и марганца из морской воды. Лишь в некоторых случаях он определяется

эдафогенным материалом из разрушающихся гидротермальных построек или гидротермальными сульфидами [22].

В окраинноморских спрединговых бассейнах из-за высокой скорости поступления и накопления терригенного и биогенного вещества металлоносные осадки занимают значительно меньшие площади, чем на срединно-океанических хребтах и прилегающих к ним районах абиссальных котловин. Наиболее детально они изучены в окраинных морях юго-западной части Тихого океана (котловины Лау, Северо-Фиджийская, Вудларк). Доля гидротермального вещества в осадках этих бассейнов возрастает по мере удаленности от источников поступления терригенного вещества [22]. В тропе Окинава Восточно-Китайского моря с высокими скоростями осадконакопления, несмотря на наличие высокотемпературных гидротермальных источников и сульфидного оруденения, осадки с большим содержанием металлов, которые можно было бы отнести к металлоносным, не выделяются, хотя на присутствие гидротермального вещества в отложениях большей части котловины указывает многими исследователями [48, 51]. В связи с этим современные металлоносные осадки в окраинноморских бассейнах с большими скоростями осадконакопления встречаются редко, и каждая их находка требует детального изучения для определения причин и способов накопления рудных элементов.

Аномально высокие содержания марганца в поверхностных окисленных осадках котловины Дерюгина, а также повышенные содержания железа [12] и некоторых микроэлементов (Zn, Ni, V) [34] были выявлены по материалам первых рейсов НИС “Витязь” в 1949–1952 гг. Позднее аномальные концентрации марганца были определены и в восстановленных осадках [9, 16]. Определены также очень высокие скорости избыточного накопления его на локальных участках [3]. По последнему показателю восточная часть котловины Дерюгина превосходит даже типичный район развития металлоносных осадков – Восточно-Тихоокеанское поднятие [42]. Работами последних лет в котловине Дерюгина были формально определены металлоносные осадки двух типов – карбонатные, залегающие в восстановленных диатомовых илах голоценового возраста, и оксидные, слагающие поверхностный окисленный горизонт диатомовых илов [4, 6].

Целью данной работы явилось обобщение данных по вещественному составу, условиям залегания и источникам рудного вещества марганцевых металлоносных осадков котловины Дерюгина.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы пробы донных осадков, отобранных трубками, дночерпателями и малтикорерами в рейсах на НИС “Первенец” в 1982 г. [6], “Каллисто” в 1983 г. [18], “Морской геофизик” в 1980 г. и 1989 г. [21], “Пегас” в 1986 г. [40], “Академик Несмеянов” в 1993 г., “Академик М.А. Лаврентьев” в 1996, 1998 и 2002 гг. [43, 45, 46] и ГС “Маршал Геловани” в 1999 г. [43], “Профессор Хромов” в 2003 и 2004 г. [39, 49].

Химический анализ осадков выполнен атомно-абсорбционным и атомно-эмиссионным методами в Лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН. Определение содержаний Al, Ti, Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb, Mo в осадках атомно-абсорбционным методом выполнялось по стандартной методике [15, 30]. Замеры проводились на приборе “Hitachi Limited”, модель 180–5 с пламенным атомизатором. Для контроля в партию исследуемых проб вводили стандартные образцы СДО-2, СГХ-3. Определение этих же элементов атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) выполнялось на приборе “PLASMAQUANT 110” (Analitik Jena AG, Германия). Калибровка прибора осуществлялась по стандартным образцам ООПЕ402 (ил кремнистый) и MAG-1 (US Geological Survey, морской осадок). Разложение образцов производилось по методике кислотного разложения, т.к. при щелочном плавлении идет потеря летучих соединений свинца и цинка [35, 36, 50].

Содержания ртути в осадках определены атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915+ с пиролитической приставкой РП-91С по стандартной методике. Пробы для анализа высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и растирались в агатовой ступке. Содержания благородных металлов определялись нейтронно-активационным методом в ГЕОХИ РАН по стандартной методике [25].

Возраст отложений, вскрытых колонками, принят согласно ранее опубликованным результатам датирования различными методами [6]. Для всех колонок проводилась также литостратиграфическая корреляция с использованием магнитных характеристик, вариаций гранулометрического состава и содержаний биогенных элементов на основе разработанных ранее критериев [1, 18, 19]. Учитывались также изменения цветовых характеристик осадков и их физико-механических свойств. Возраст осадков приводится в радиопериодах без перевода в календарные.

Физико-механические свойства осадков определялись по стандартной методике [44]. Определе-

ние компонентного состава проб производилось путем изготовления и изучения микроскопических препаратов с полуколичественным определением основных осадкообразующих компонентов (обломочная, глинистая, биогенные карбонатная и кремнистая, вулканогенная, аутигенная и др.).

Статистическая и графическая обработка результатов исследований проводилась в пакетах стандартных программ EXCEL, STATISTICA-6.0. Карты распределения элементов и скоростей накопления строились в пакете SURFER-8 с интерполяцией по методу “kriging”.

#### ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Котловина Дерюгина является характерной неотектонической морфоструктурой, формирующейся в процессе рифтогенной деструкции земной коры в позднекайнозойское время. Здесь отмечено значительное уменьшение мощности континентальной земной коры до 20–25 км, предполагается наличие астеносферы и верхней мантии с аномальными свойствами [14, 37]. Г.С. Гнибиденко [17] выделяет два крупных осадочных бассейна: Северо-Сахалинский и Дерюгинский. Последний совпадает с одноименным спрединговым позднекайнозойским рифтогенным грабеном, в основном определяющим западную границу котловины [14], заполненным осадочными отложениями мощностью до 13 км (рис. 1). Границы его по изопахите 3 км совпадают на севере и северо-востоке с Восточно-Дерюгинской шовной зоной, а на западе – с Западно-Дерюгинской. Тектоническая позиция района восточнее Восточно-Дерюгинской разломной зоны трактуется неоднозначно. В.В. Харахинов [37] определяет ее как Восточно-Дерюгинский грабен, входящий вместе с Дерюгинским прогибом в Дерюгинскую рифтогенную зону. Г.С. Гнибиденко [47] выделяет в северо-восточной части котловины и на ее борту Ионовскую рифтовую систему. В более поздней работе [20] авторы под Ионовской рифтовой системой понимают всю котловину Дерюгина и ее обрамление. В ее северной части они выделяют Кашеваровскую вулканоплутогенную зону. Позднее она была определена как Кашеваровская рифтогенная зона с относительно молодым позднекайнозойским вулканизмом и процессами постмагматической дефлюидизации [26].

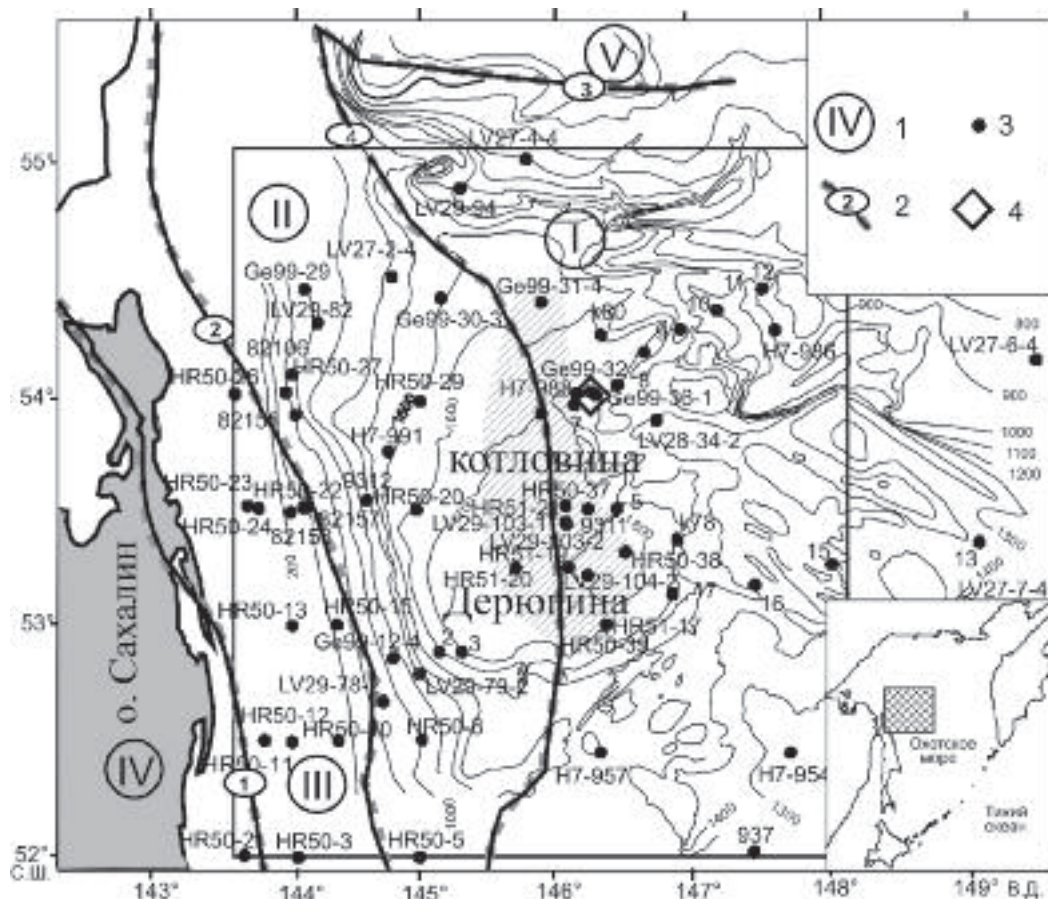
Флюидная деятельность наиболее изучена на шельфе и материковом склоне о. Сахалин. Вблизи Западно-Дерюгинской шовной зоны, особенно в ее северной части, выявлены многочисленные метановые источники, часто сопровождающиеся газогидра-

тами и интенсивной карбонатной минерализацией в осадках [8, 28, 29, 32, 41, 44]. Субмаринные источники восточной части котловины изучены недостаточно. На отдельных примерах можно полагать, что они поставляют преимущественно элизионные, газовые и водные флюиды по разломам из осадочного чехла на различных стадиях постседиментационных преобразований. Нельзя исключать и постмагматическую природу некоторых из них, так как в северной части котловины известен позднемиоценовый вулканизм [23] и предполагается наличие более молодых интрузивных тел в осадочном чехле [17, 26, 37].

Кашеваровская (Ионовская) рифтогенная система, включающая северо-восточную часть котловины Дерюгина и ее северо-восточный борт [26, 47], трассируется как зона со сложнорасчлененным рельефом дна и акустического фундамента, малой мощностью осадочного чехла, сложной блоково-надвиговой структурой с преобладанием разрывных нарушений северо-западного и субширотного простирания [45]. Эта зона отличается специфическим типом аутигенной минерализации, связанной с эндогенными источниками. Здесь известны массивные баритовые постройки, представляющие собой сросшиеся и частично разрушенные трубы неактивных “белых курильщиков” на участке предполагаемой разгрузки постмагматических флюидов в районе так называемых “Баритовых гор” [8, 31, 40, 44], и железомарганцевые корки на поверхности отдельных гор и возвышенностей [10]. При детальном исследовании района Баритовых гор [44, 45] массового поступления современных барийнесущих флюидов выявлено не было, но предполагаются пути их недавнего поступления по сбросам, опережающим крупный разлом северо-западного направления [41, 45]. Можно предполагать как постмагматическую их природу, исходя из возможного наличия относительно молодых магматических тел, внедрившихся в кайнозойские отложения [17, 26] или сформировавших небольшие вулканические постройки [23], так и элизионную их природу, исходя из того, что этот район находится на северной границе Дерюгинского осадочного бассейна в зоне латерального выклинивания осадочных толщ. В обоих случаях предполагаются процессы, подобные грязевому вулканизму [40].

Состав и стратиграфия верхнечетвертичных отложений котловины Дерюгина являются типичными для Охотского моря, и для большинства колонок может быть проведена достаточно надежная литостратиграфическая корреляция с хорошо изученными и датированными колонками на основании комплекса



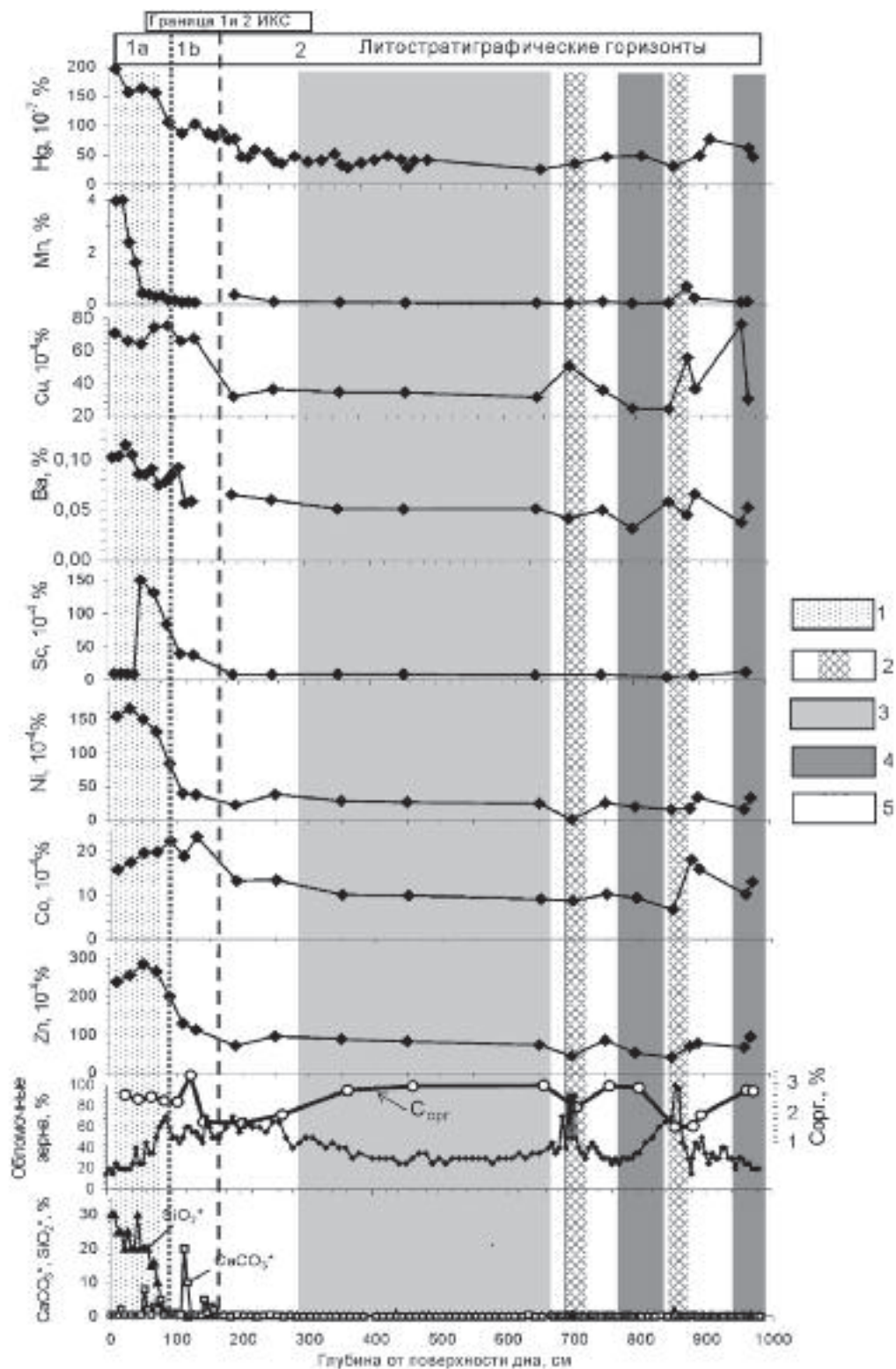


**Рис. 1.** Станции отбора донных осадков и некоторые элементы структурного районирования котловины Дерюгина и примыкающих районов.

Прямоугольник выделен фрагмент, приведенный на рис. 3, 5, 8, 9. 1 – структурно-тектонические зоны [14]: I – Центрально-Охотская система, II – Дерюгинская спрединговая рифтогенная система (Дерюгинский осадочный бассейн), III – Хоккайдо-Сахалинская складчатая кайнозойская система, IV – Северо-Сахалинский бассейн, V – Охотская позднемезозойская–раннекайнозойская складчатая система; 2 – шовные зоны, принятые в качестве границ структурно-тектонических зон (1 – Восточно-Сахалинская, 2 – Западно-Дерюгинская, 3 – Кашеваровская, 4 – Восточно-Дерюгинская); 3 – места отбора проб и колонок осадков; 4 – район массивной баритовой минерализации (Баритовые горы). На врезке – местоположение района исследований. Косой штриховкой показана область распространения окисных металлоносных осадков.

литологических, физических и геохимических характеристик осадков [6, 18, 46]. В большинстве колонок здесь вскрыты только отложения 2 и 1 изотопно-кислородных стадий (ИКС). Окисленные металлоносные осадки котловины Дерюгина входят в состав голоценовых диатомовых илов, начало накопления которых в Охотском море определяется как 6–8 тыс. лет назад. В целом же повышенные содержания Mn, Zn, Ni, Ba, Cu, Co, Hg характерны для отложений 1 ИКС возрастом менее 12.4 тыс. лет (рис. 2). Для последующих построений отложения 1 ИКС подразделялись на два литостратиграфических горизонта. Горизонт 1а с возрастом 0–8 тыс. лет соответствует “кремнистому” и “переходному” литостратиграфи-

ческим горизонтам, и его нижняя граница выделялась (снизу вверх) по уменьшению содержаний органического вещества, карбоната кальция и значений магнитной восприимчивости, увеличению содержания биогенного кремнезема [6, 18, 46]. Горизонт 1б с возрастом 12.4–8 тыс. лет соответствует “фораминиферовому”, преимущественно терригенному горизонту. Его нижняя граница – граница 2 и 1 ИКС – при литостратиграфическом расчленении выделялась по увеличению содержаний биогенного карбоната, органического углерода, а также на основании специфического чередования слоев осадков с различным цветом и вещественным составом [46].



**Рис. 2.** Стратиграфическое расчленение, особенности вещественного состава и содержание некоторых рудных элементов и биогенных компонентов в осадках колонки LV29-103-2.

Содержания химических элементов представлены по данным ICP-MS анализа; содержания биогенного кремнезема ( $\text{SiO}_2^*$ ), биогенного карбоната ( $\text{CaCO}_3^*$ ) и обломочных зерен – по результатам анализа микроскопических препаратов. 1 – кремнистые и слабокремнистые диатомовые илы; 2 – песчаные прослой турбидитов; 3–4 – монотонные пелиты без примеси материала ледового разноса и карбонатных остатков: 3 – оливково-серые, 4 – черные; 5 – терригенные алевит-пелитовые осадки.

Мощность слоя осадков 1 ИКС резко меняется по площади котловины. На западном борту ее, являющемся склоном островного шельфа Сахалина, отмечена очень большая мощность, в отдельных колонках превышающая 20 м. К востоку она быстро уменьшается и на изобате 1500 м не превышает 2 м. В центральной части котловины и особенно на восточном склоне она еще меньше. Некоторые возвышенности в восточной части котловины и на примыкающем склоне, например, Баритовые горы, лишены покрова голоценовых отложений, и на поверхность дна там выходят отложения второй изотопно-кислородной стадии.

Отложения 2 ИКС с возрастом 24–12,4 тыс. лет представлены терригенными пелитами и алевритами с низким содержанием карбонатного и кремнистого биогенного материала, хотя содержание органического углерода терригенного растительного детрита достаточно высокое. Характерной особенностью их является наличие турбидитных горизонтов, а также черных и темноокрашенных осадков за счет рентгеноаморфных сульфидов железа типа гидротроилита (рис. 2). Эти отложения входят в состав мощной турбидитной фации, выделяемой по результатам сейсмоакустического профилирования в западной и центральной части котловины [45].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

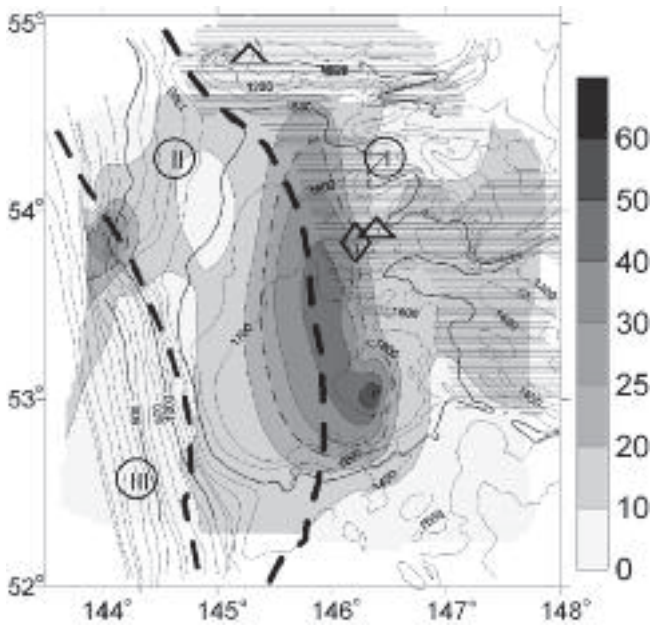
**Распределение рудных элементов по разрезу верхнечетвертичных отложений** в котловине Дерюгина имеет свои специфические особенности, которые могут быть продемонстрированы на примере колонки LV29-103-2 (рис. 2). Наиболее общей из них является повышенное содержание марганца и некоторых микроэлементов (Zn, Ni, Ba, Cu, Hg, Co) в осадках 1 ИКС, особенно в кремнисто-терригенном горизонте 1а. При этом в верхней части горизонта, наиболее обогащенной биогенным кремнеземом, отмечается локальное уменьшение содержаний этих элементов. При устранении влияния разбавления биогенным кремнеземом, например, при использовании значений отношений Zn/Al, Ba/Al, Ni/Al, содержания оказываются одинаковыми для всего горизонта 1а. Разбавляющее действие биогенных компонентов, не только кремнезема, но и карбоната, сказывается в распределении почти всех макроэлементов, как показано на примере железа в колонке Ge99-31 [5], уменьшение содержаний которого прослеживается уже в нижней части горизонта, где присутствует биогенный карбонатный материал. Специфическое распределение имеют молибден и серебро, обычно обогащающие осадки горизонта 1б [6, 9].

Характерной особенностью колонки LV29-103-2 является резкое обогащение части разреза голоценовых отложений скандием и обогащение медью и марганцем турбидитных песчаных горизонтов. Последнее отмечалось в колонке Ge99-31 [5], где в турбидитных слоях были выявлены марганцевые карбонаты (кутнагорит) и сульфиды марганца (марганцевый пирит), меди (кубанит), свинца (галенит). Предполагается, что это связано с миграцией межпластовых вод по флюидопроводящим горизонтам турбидитов [5].

**Марганцевые металлоносные осадки**, выделяемые по формальному критерию  $(Mn+Fe)/Ti > 25$  [11, 22, 34], выявлены в диатомовом горизонте и представлены двумя типами: карбонатными и оксидными (рис. 3). Карбонатные осадки, в которых марганец находится в составе марганцевых карбонатов (родохрозит, кутнагорит) и марганцовистого пирита, определены пока в единичных пробах [5]. Оксидные металлоносные диатомовые илы покрывают дно центральной части котловины в широкой полосе вдоль Восточно-Дерюгинской шовной зоны (ВДШЗ). Они слагают поверхностный слой осадков мощностью до 30 см в полосе шириной до 40 км и протяженностью 180 км (рис. 1). Границы распространения металлоносных осадков достаточно условны, так как максимальные содержания марганца не всегда приурочены к поверхностному слою из-за разрушения поверхностных осадков при отборе трубками. Ненарушенный поверхностный горизонт получен при отборе малтикорером и бокскорером, а при использовании гравитационных трубок он частично разрушается. Это можно проиллюстрировать на примере распределения марганца в колонке LV29-103-2 (рис. 2) и в монолите, отобранном малтикорером на этой же станции (рис. 4). Содержания марганца в верхних 4–5 см осадков в ненарушенном монолите превышают 5 %, тогда как в колонке такие содержания не обнаружены и в поверхностном слое осадков они составляют 3,96 %, что соответствует глубине 6–10 см в монолите малтикорера.

Наиболее характерной особенностью химического состава оксидных металлоносных осадков является высокое содержание марганца (табл. 1). Среднее содержание его превышает фоновое для верхнечетвертичных осадков котловины, определявшееся по известной методике [6], в 35 раз. Кроме того, они в 3–5 раз обогащены Au, Ni, Zn, Co и, локально, Mo, Ba, Cu, Hg, Pb, V. Избыточное накопление элементов в металлоносных осадках относительно фоновых верхнечетвертичных отложений котловины было рассчитано по методу Е.Г. Гурвича [22]. Он основывает-

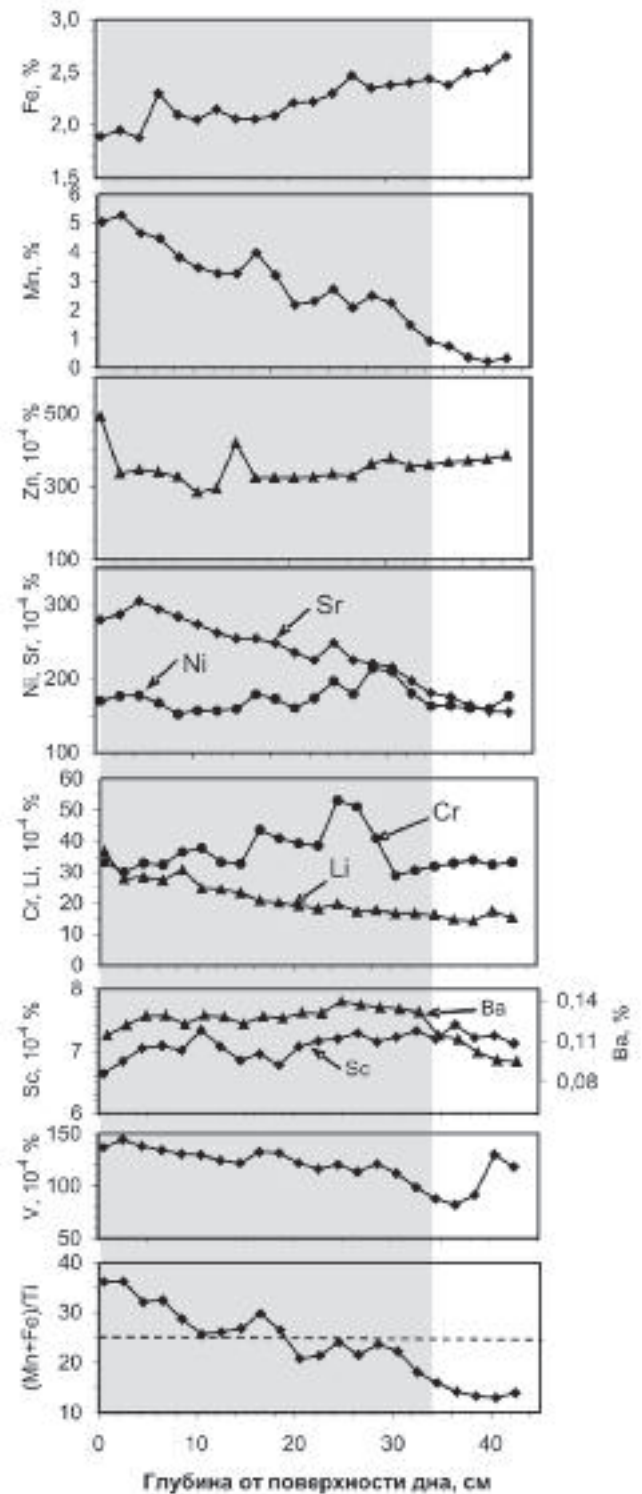




**Рис. 3.** Значения коэффициента  $(Mn+Fe)/Ti$  для поверхностных осадков котловины Дерюгина.

Тонкой штриховой линией показана граница распространения металлоносных осадков ( $(Mn+Fe)/Ti = 25$ ), горизонтальная штриховка – области с положительными значениями магнитного поля, в общих чертах определяющие распространение молодых вулканических пород в составе фундамента [26], треугольники – находки железомарганцевых корок. Остальные условные обозначения см. на рис. 1.

ся на допущении, что в металлоносных осадках алюминий накапливается только в фоновом материале. Соответственно роль избыточного накопления (%) в них других элементов будет пропорциональна отношению содержаний в осадках к фоновым, нормированным относительно алюминия. При сопоставлении рядов избыточного накопления рудных элементов в металлоносных осадках различных бассейнов (табл. 2) можно отметить сходство ряда избыточного накопления элементов для котловины Дерюгина и бассейнов окраинных морей запада Тихого океана с известными высокотемпературными гидротермальными проявлениями. В то же время, доля избыточных Ni, Zn, Co и Mn в котловине Дерюгина значительно больше и сопоставима с металлоносными осадками срединно-океанических хребтов, хотя содержание и доля избыточного железа значительно ниже. Содержание и доля избыточного марганца в осадках котловины Дерюгина оказались максимальными для всех приведенных в табл. 2 районов. Это, вероятно, определяется тем, что в котловине Дерюгина изучены только оксидные металлоносные осадки, в которых содержание марганца увеличено за счет



**Рис. 4.** Вариации содержаний химических элементов в осадках монолита, полученного малтикорером на станции LV29-103-1.

Серой заливкой показаны темноокрашенные (окисленные) осадки.

Таблица 1. Среднее содержание (%) макро- и микроэлементов в осадках котловины Дерюгина Охотского моря.

Элемент	Лигостратиграфические горизонты				Металлоносные осадки (МО)	Фоновые (Ф) для верхнечетвертичных осадков котловины Дерюгина	МО/Ф
	1a (0–8 тыс. лет)		1b (8–12.4 тыс. лет)	2 (> 12.4 тыс. лет)			
	окисленные	восстановленные					
Si	29.39	30.03	27.79	27.33	27.21	30.07	0.90
Al	3.90	4.80	6.64	7.89	3.75	6.08	0.62
Fe	2.22	2.77	3.81	3.91	2.14	3.45 (2.45*)	0.62 (0.87*)
Mn	2.12	0.30	0.14	0.16	<b>3.49</b>	0.10	34.90
Ca	0.93	1.13	1.26	1.21	0.96	1.19	0.81
Mg	1.45	1.28	1.30	1.23	1.35	1.27	1.06
Ti	0.22	0.28	0.36	0.39	0.19	0.32 (0.23*)	0.59 (0.83*)
Ba	0.114	0.070	0.064	0.125	0.1280	0.0800	1.60
Sr	0.0238	0.0200	0.0240	0.0187	0.0270	0.0234	1.15
V	0.0112	0.0100	0.0122	0.0108	0.0120	0.0108	1.11
Ni	0.0134	0.0055	0.0052	0.0037	<b>0.0155</b>	0.0038	4.08
Cu	0.0054	0.0034	0.0048	0.0054	0.0059	0.0041	1.44
Zn	0.0293	0.0150	0.0131	0.0102	<b>0.0303</b>	0.0090	3.37
Pb	0.0017	0.0012	0.0017	0.0019	0.0017	0.0015	1.13
Co	0.0026	0.0018	0.0016	0.0018	<b>0.0025</b>	0.0008	3.13
Cr	0.0041	0.0042	0.0056	0.0057	0.0036	0.0048	0.75
Li	0.0022	0.0027	0.0041	0.0044	0.0024	0.0038 (0.0025*)	0.63 (0.96*)
Zr	0.0073	0.0083	0.0102	0.0109	0.0069	0.0085	0.81
Mo	0.0004	0.0006	0.0006	0.0004	<b>0.0007</b>	0.0003	2.33
Sc	0.0008	0.0016	0.0022	0.0012	0.0007	0.0008	0.88
Hg, 10 <sup>-7</sup> %	125	87	79	56	99	60	1.65
Au, 10 <sup>-7</sup> %	-	-	-	-	<b>14.5</b>	2.9**	5.00

\* – в качестве фоновых использовались только диатомовые илы горизонта 1a, \*\* – средние содержания для нематаллоносных диатомовых илов горизонта 1a. Жирным шрифтом выделены содержания химических элементов, превышающие фоновые в 3 и более раз.

Таблица 2. Избыточное накопление (%) элементов в металлоносных осадках котловины Дерюгина и других районов Мирового океана [22].

Регион	Бассейн	Al	Cr	Zr	Ti	Sc	Fe	Li	V	Pb	Cu	Hg	Ba	Mo	Co	Zn	Ni	Au	Mn
Окраинные моря запада Тихого океана	Котловина Дерюгина (Охотское море)	0	17	23	-5 (25*)	29	0 (29*)	0 (35*)	44	45	57	59	61	74	80	82	85	88*	98
	Западный Вудларк (Соломоново море)	0					17		17	10	21				17	11	7		21
	Манус (море Бисмарка)	0					31		31	33	31				23	24	21		23
	Бассейн Лау (море Фиджи)	0					48			74	51				36	44	40		84
	Северо-Фиджийская котловина (море Фиджи)	0					48			73	52				55	48	44		83
Срединно-океанические хребты (СОХ)	Хр. Хуан-де-Фука, г. Осевая	0	70	58	36		67		73		58		62		68	73	69		85
	Юго-восток Тихого океана	0	4	78	7	56	81	22	88	85	93		46		92	78	91	80	92
	Северная часть ВТП	0	68	79	28	56	78		82	63	77		28	89	84	76	68	90	91
	Индоканский СОХ	0	9	59	0		69	46	71	75	67			92	82	51	78		79
	САХ, поле ТАГ	0	45				91		79		98		69		81	97	34		63

\* – в качестве фоновых использовались голоценовые диатомовые илы котловины Дерюгина. ВТП – Восточно-Тихоокеанское поднятие, САХ – Срединно-Атлантический хр., ТАГ – название рудного поля в соответствии с аббревиатурой проекта "Транс-Атлантический Геотраверс"



раннедиагенетической миграции его из нижележащих восстановленных отложений.

При анализе пространственного **распределения рудных элементов в поверхностном слое донных осадков**, включающем и металлоносные (рис. 5), можно выделить две основных группы рудных элементов по типу локализации: образующие повышенные содержания в центральной части котловины вблизи ВДШЗ (Mn, Zn, Ni, V, Mo, частично Cu, Hg, Li) и образующие повышенные содержания в Кашеваровской рифтогенной зоне (Fe, Ba, Hg, Co, Li, частично Pb, Mn, Cu, Zn, Ni). Донные осадки вдоль ВДШЗ характеризуются резко повышенным содержанием марганца, что собственно и определяет локализацию здесь марганцевых металлоносных осадков, обогащенных Ni, Zn, Co, Cu, Mo, Pb, Hg. Донные осадки Кашеваровской рифтогенной зоны (КРЗ) отличаются повышенным содержанием железа, бария, ртути, кобальта и лития, которые определяют специфику этой зоны, а также локальными аномалиями Pb, V, Mn, Zn, Ni. При этом только свинец и кобальт вместе с железом значительно обогащают осадки. Остальные указанные элементы образуют лишь локальные участки с повышенными содержаниями.

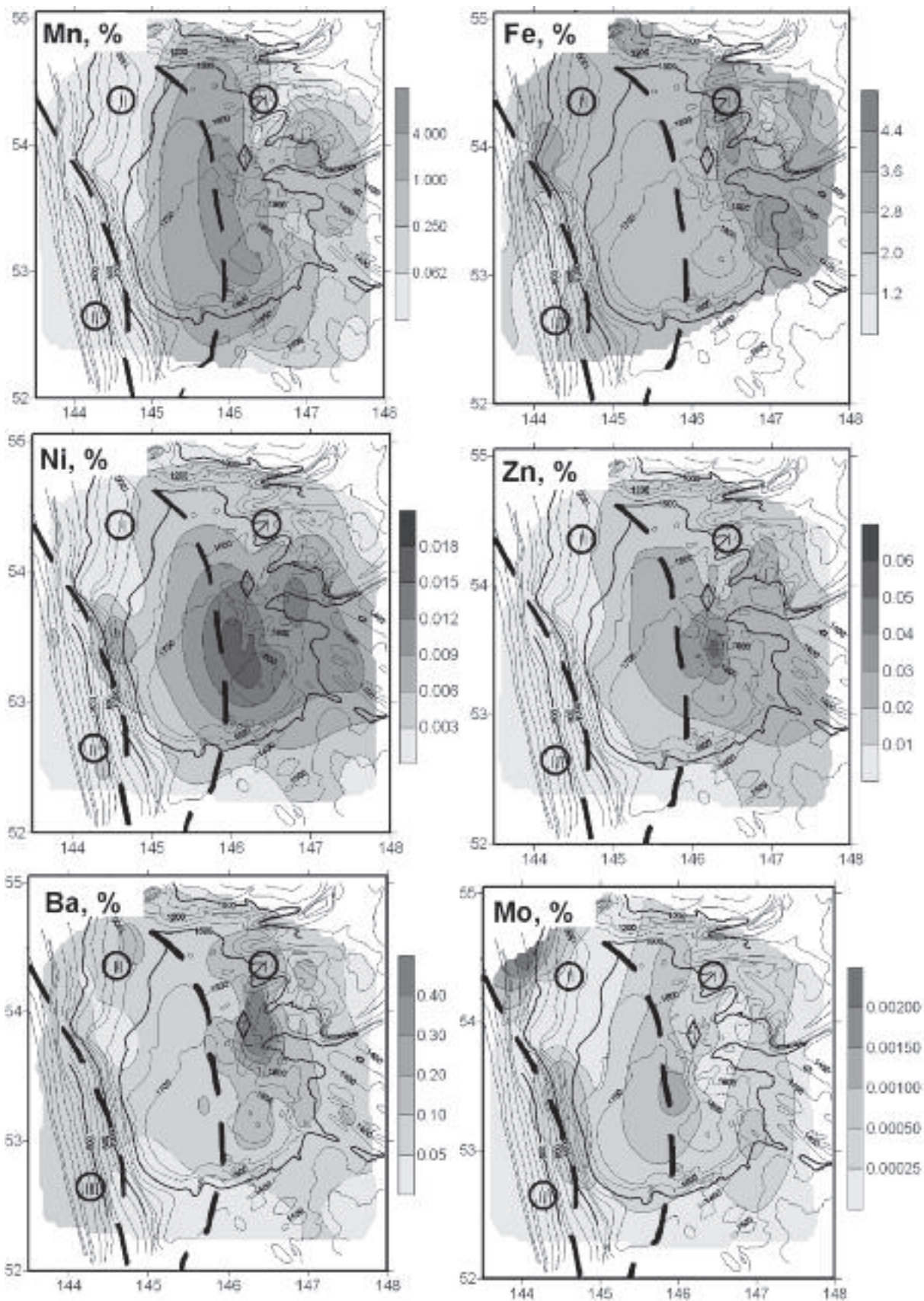
Ранее при анализе процессов осадконакопления и химического состава осадков было выявлено несколько факторов, определяющих концентрацию рудных элементов в верхнечетвертичных отложениях котловины Дерюгина [6, 9, 16, 21]: соотношение биогенного и терригенного материала в осадках, различные источники терригенного вещества, поставка металлов низкотемпературными гидротермами, хемогенное и биогенное осаждение из придонных вод вблизи эндогенных источников со специфическими гидрохимическими условиями. Исходя из этого, представленные карты распределения могут быть проинтерпретированы следующим образом.

В распределении рудных элементов в осадках КРЗ существенно сказывается отсутствие на возвышенностях диатомовых илов голоценового возраста и, иногда, рыхлых отложений. В результате на поверхность дна выходят терригенные осадки позднеплейстоценового или более древнего возраста или коренные породы, в том числе магматические среднего и основного состава. Как те, так и другие обогащены железом и, очевидно, свинцом и кобальтом. При анализе гранулометрических фракций колонки Ge-99-31 было выявлено обогащение свинцом крупных гранулометрических фракций осадка, в отличие от других рудных элементов (Mn, Zn, Ni, Cu, Ba), концентрирующихся в тонких фракциях [6]. Это свидетельствует о поступлении обломочного материала,

обогащенного свинцом, из размываемых (разрушающихся) древних отложений подводных возвышенностей. Кобальт, так же как и железо, является типичным элементом продуктов разрушения средних и основных магматических пород (магнетит, титаномагнетит). В них также содержатся и другие сидерофильные (V) и халькофильные (Ni, Zn) микроэлементы, которые локально обогащают осадки этой зоны.

Эндогенным привнесом, вероятнее всего, определяется распределение в осадках КРЗ марганца, бария (рис. 5) и ртути. Аномальные концентрации их отмечены в районе Баритовых гор, где известны неактивные баритовые постройки, подобные «белым курильщикам» [7, 31, 44]. Там же и севернее известны железомарганцевые образования с предположительно гидротермальным источником рудного вещества [10]. Вблизи них в осадках выявлены высокие содержания (рис. 5) и скорости накопления [3, 6] марганца. При этом, в отличие от других рудных элементов, образующих повышенные содержания в осадках КРЗ за счет выноса из более древних отложений, марганец, ртуть и барий не коррелируются с железом в осадках. Пятна с повышенным их содержанием не совпадают с участками повышенного содержания железа, как это характерно для Pb, Zn, Ni (рис. 5).

В осадках центральной части котловины вблизи ВДШЗ выделяется крупная комплексная аномалия (Mn, Zn, Ni, Cu, Hg, V, Mo, Pb), занимающая значительную часть поля металлоносных осадков. Локализация ее вдоль тектонической структуры, а не в соответствии с рельефом дна позволяет предполагать влияние эндогенных источников на условия накопления рудных элементов. Оно, очевидно, проявляется несколькими способами для различных групп элементов. В формировании аномальных содержаний марганца, как отмечалось ранее [3, 6], преобладающими являются осаждение из плюмов, образующихся над гидротермальными источниками, и раннедиагенетическая миграция из нижележащих осадков. При эпизодической активизации низкотемпературной гидротермальной деятельности в районе Баритовых гор, например, в период формирования там массивных баритов, происходившего в голоцене [13], в толще воды могут формироваться устойчивые плюмы со специфическими гидрохимическими условиями, благоприятными для осаждения марганца и микроэлементов (далее «гидротермальные плюмы»). Эти условия могут определяться либо повышенными содержаниями рудных элементов, либо изменением физико-химических характеристик морских вод. Подобное явление отмечено, например, в южной части трога Окинава, где уста-



**Рис. 5.** Содержания рудных элементов в поверхностных осадках котловины Дерюгина (условные обозн. см. на рис. 1).



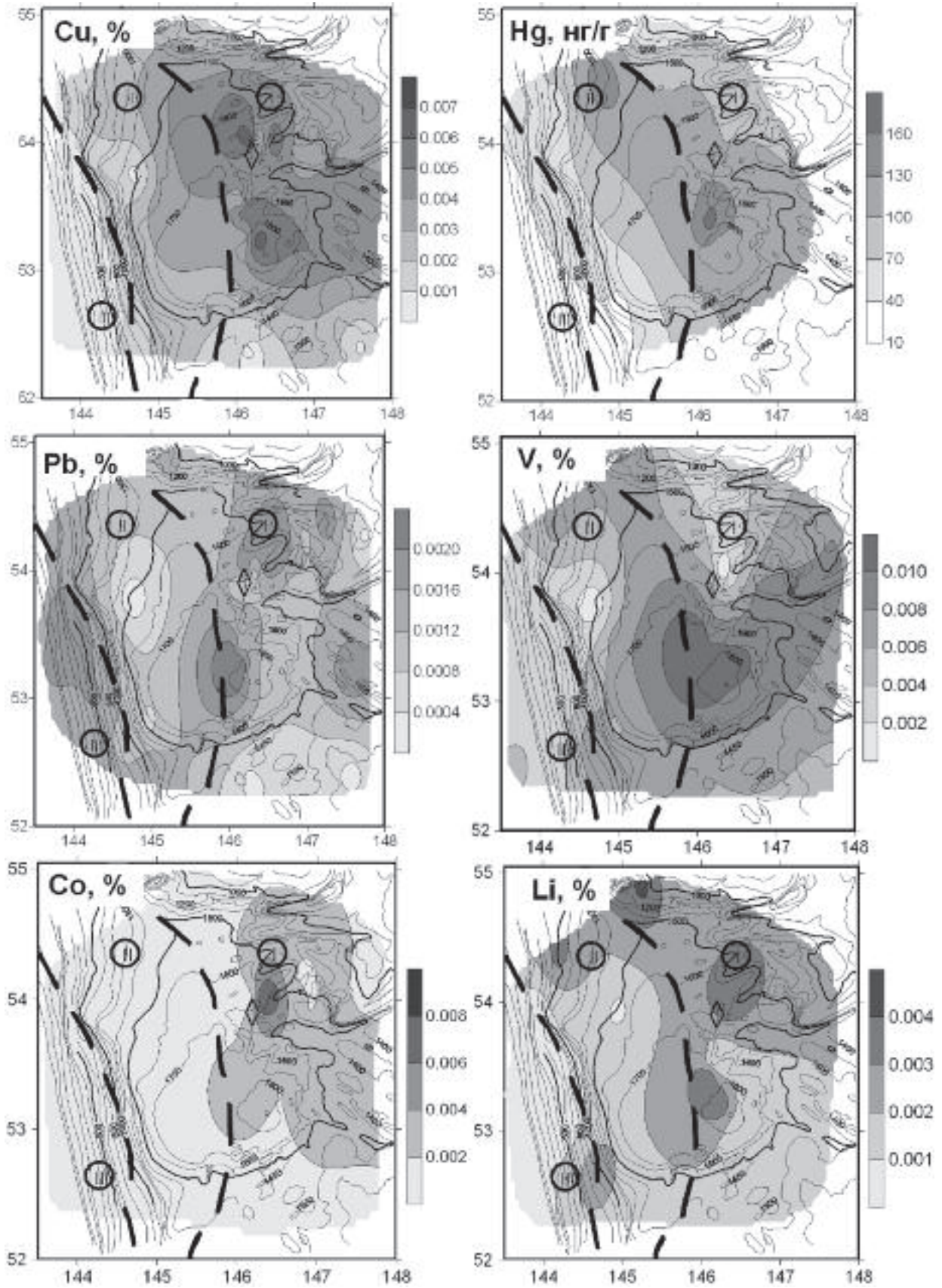


Рис. 5. Продолжение.



новлено накопление гидроксидов марганца и железа на поверхности биогенных и терригенных частиц, осаждающихся сквозь гидротермальный плюм, обогащенный марганцем [48]. В нашем случае можно предполагать обогащение гидротермальных плюмов, эпизодически формирующихся над Баритовыми горами, марганцем, барием, ртутью. Другие элементы, как это имеет место во многих районах распространения металлоносных осадков [22, 27], могут соосаждаться оксогидроксидами марганца и железа из морских вод с фоновыми содержаниями.

Накопление марганца в относительно узкой полосе, приуроченной к ВДШЗ, также, очевидно, связано с изменением физико-химических условий придонных и иловых вод под влиянием элизионных флюидов, поступающих из осадочных толщ Дерюгинского осадочного бассейна. В какой-то мере специфические условия здесь уже зафиксированы инструментально – очень низкие содержания кислорода в придонной воде южной части этой зоны на станциях LV29-103 и LV29-104 [46]. Тем не менее, зона с высокими содержаниями марганца в поверхностных осадках и в отложениях 1 ИКС в целом, при аномально высоких скоростях его накопления в голоценовое время [6], занимает значительно более протяженную на север полосу, включая и районы КРЗ, где предполагаются эндогенные источники марганца. Ранее [3, 6] интенсивное накопление марганца на столь обширной площади в голоценовых отложениях и отсутствие его повышенных и аномальных содержаний в отложениях 2 ИКС объяснялось формированием обширных гидротермальных плюмов над эндогенными источниками только в периоды межледниковий, когда в котловине Дерюгина происходила стратификация водных масс [19]. Во время оледенений имело место интенсивное вертикальное перемешивание вод, и гидротермальные плюмы могли формироваться только вблизи источников. Полученные новые данные позволяют предполагать, что еще одним фактором формирования аномальных содержаний марганца в поверхностных осадках и отложениях 1 ИКС были и физико-химические условия придонных и иловых вод вблизи ВДШЗ, определившие возможность сохранения марганца в осадках в процессе его раннедиагенетического перераспределения. В то же время, этот процесс, проявляясь повсеместно, не приводит к формированию аномальных содержаний вне зоны, где имелись условия для первичного седиментационного накопления марганца.

Еще один механизм обогащения рудными элементами металлоносных осадков может определяться формированием в местах разгрузки элизионных флюидов сероводородных и аноксидных придонных

вод, благоприятных для хемогенного осаждения рудных элементов (V, Mo, Ag), что характерно для бассейнов с сероводородным заражением [38]. Специфика сероводородных обстановок в котловине Дерюгина рассматривалась ранее на примере накопления молибдена на участках с сероводородным заражением придонных и иловых вод вблизи газовых источников на склоне Сахалина [6], где осадки обогащены V, Mo (рис. 5), а также Ag [9]. Близкие условия можно предполагать на южном участке ВДШЗ, где также отмечено повышенное содержание V, Mo (рис. 5) и Ag [9], хотя сероводородное заражение там не отмечено. В то же время, выявлено очень низкое содержание кислорода в придонных водах [46], что позволяет отнести их к аноксидным или субоксидным.

Для выявления основных закономерностей формирования химического состава металлоносных осадков был выполнен **многокомпонентный статистический анализ** элементного состава поверхностного слоя отложений. По результатам корреляционного и кластерного (рис. 6) анализов установлено, что марганец в металлоносных осадках ассоциируется с группой элементов V-Sc-Cu-Mo, частично Sr, и не связан с другой группой элементов, которые также обогащают их – Zn-Ni-Co. В нижележащих восстановленных осадках он также ассоциируется с Mo, слабее с Ni и Ba (Sc и V в выборке не учитывались), но, так же как указанные элементы, имеет и слабые положительные корреляционные связи с элементами группы Pb-Mg-Co-Cu-Zn. Эти результаты косвенно свидетельствуют о различных механизмах формирования повышенных содержаний марганца и отдельных групп микроэлементов в металлоносных осадках.

Факторный анализ, выполненный для разделения отдельных проб поверхностных осадков на основании содержания в них комплекса химических элементов, позволил выделить три фактора по значимости влияния на изменчивость выборки (рис. 7). На основании результатов кластерного анализа для металлоносных осадков в выборку не были включены Si, Ca, Cr, Zr – характерные элементы биогенного и терригенного вещества осадков котловины, противостоящие по множественным корреляционным связям типичным элементам металлоносных осадков. Во всех трех определенных значимых факторах одним из главных или главным элементом явилось железо. Это связано с различными источниками его поступления в донные осадки [27, 34]. Оно считается характерным элементом гидротермальной поставки, хотя основная масса его в отложениях окраинных морей находится в составе терригенных глинистых минералов (смектиты, хлориты, железистые гидрослюда). Кроме того, оно концентрируется

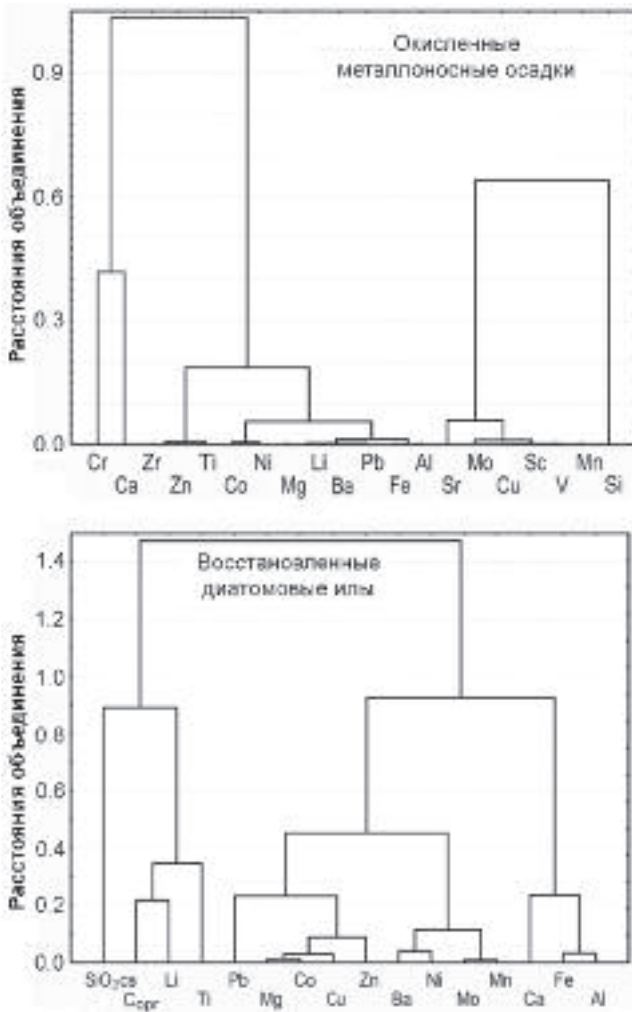


Рис. 6. Дендрограммы химических элементов для окисленных металлоносных и восстановленных диатомовых илов котловины Дерюгина.

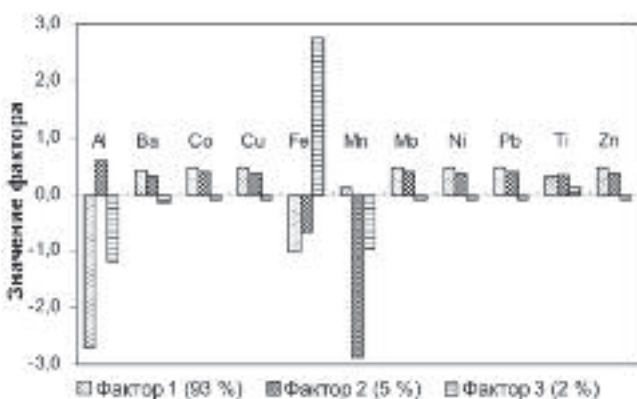


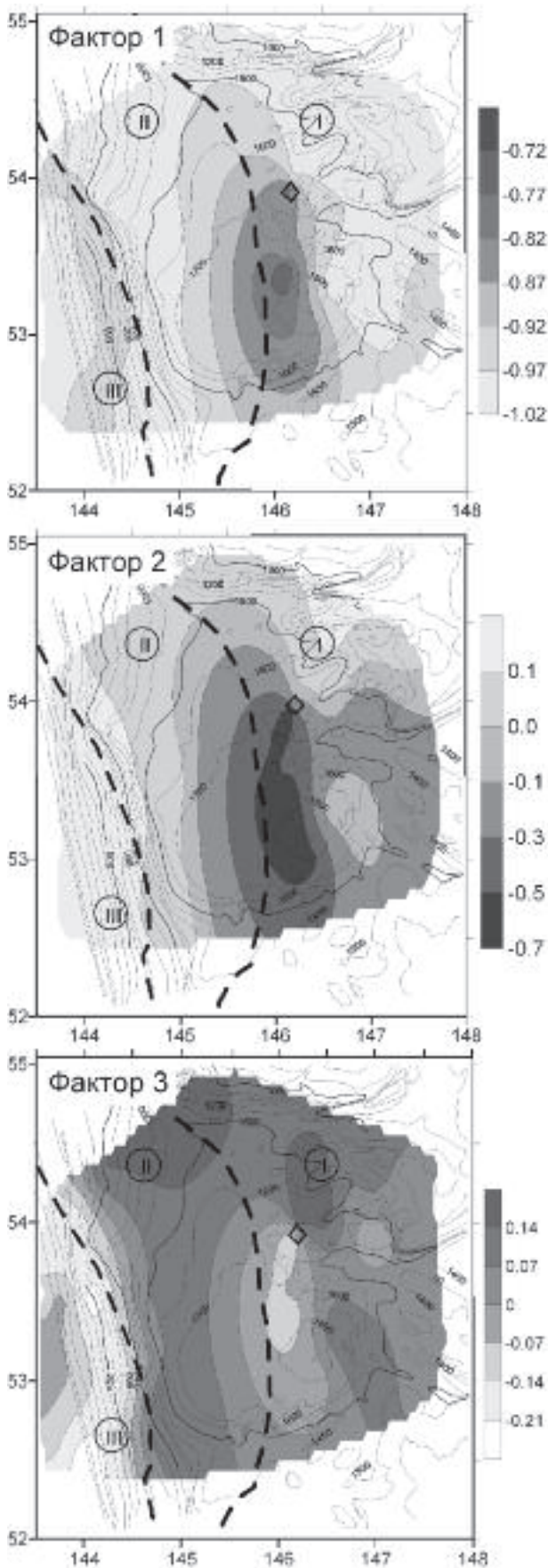
Рис. 7. Гистограммы факторных нагрузок для трех факторов по содержаниям 11 химических элементов в поверхностных осадках котловины Дерюгина.

в обломочном материале разрушения средних и основных магматических пород.

Отрицательные значения первого фактора (рис. 7), определяющего 95 % изменчивости выборки, зависят от совокупного влияния алюминия и железа – основных элементов, определяющих специфику глинистого вещества на фоне биогенного и обломочного терригенного материала. Им противостоят титан, барий и все использованные рудные микроэлементы, дающие примерно равный вклад в изменчивость значений фактора. Менее значимы вариации содержаний марганца. На основании этого по значениям 1 фактора выделился участок в центральной части котловины вдоль ВДШЗ, суммирующий аномалии Ni, V, Co, Cu, Mo, Pb, Zn (рис. 8). Он попадает и в область обогащения марганцем, хотя вклад его в формирование этого фактора незначителен.

Положительные значения 3 фактора, дающего всего 2 % изменчивости выборки, определяются почти исключительно содержаниями железа. В результате по значениям 3 фактора (рис. 8) оконтуривались участки КРФ, где предполагается поступление железа с продуктами разрушения магматических пород возвышенностей и отдельных гор, а также северная и западная части котловины, где можно предполагать привнос с севера терригенного материала, обогащенного высокожелезистыми глинистыми минералами.

Наиболее интересен для интерпретации условий образования металлоносных осадков оказался фактор 2, дающий 5 % изменчивости выборки. Отрицательные значения его определяются марганцем и железом, а противостоят им все остальные элементы, включая макроэлементы терригенного материала и микроэлементы, накапливающиеся в осадке за счет биогенного и хемогенного осаждения из морских вод. Такие ассоциации элементов позволяют предполагать определяющее влияние в образовании отрицательных значений этого фактора рудного вещества, осаждающегося из гидротермальных плюмов. По отрицательным значениям этого фактора оконтуривалось поле в центральной части котловины, почти полностью совпадающее с областью распространения металлоносных осадков, а также часть КРЗ. Там выявлены локальные участки с повышенными содержаниями железа, цинка, никеля, местами марганца (рис. 5). В целом же, как для металлоносных осадков, так и для всего горизонта диатомовых илов корреляция содержаний железа и марганца не характерна. Это связано, с одной стороны, с интенсивной постседиментационной миграцией марганца, с другой – с нахождением основной массы железа в составе терригенных компонент



осадка. Полученные данные свидетельствуют о том, что совместное накопление железа и марганца является достаточно значимым процессом в формировании изменчивости химического состава поверхностных осадков.

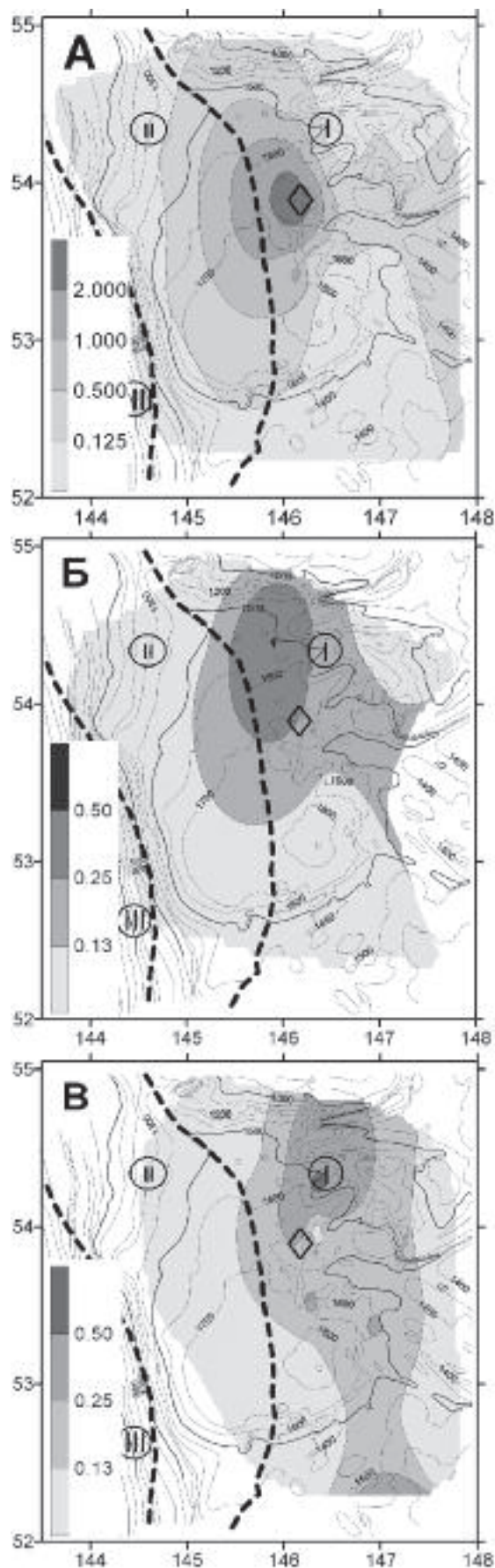
Учитывая большую роль **раннедиагенетической миграции марганца** в поверхностный слой осадков для формирования аномальных его содержаний и металлоносных осадков в целом, целесообразно рассмотреть его распределение в нижележащих отложениях. На рис. 9 представлены карты средних содержаний марганца в осадках диатомового голоценового горизонта 1a (0–8 тыс. лет), терригенного голоценового горизонта 1b (8–12.4 тыс. лет) и позднеплейстоценового терригенного горизонта 2 (> 12.4 тыс. лет), построенные по содержаниям в колонках [6]. Во всех этих горизонтах аномальные и повышенные содержания марганца отмечаются в пределах КРЗ. Для диатомового голоценового горизонта резко обозначилась аномалия в районе Баритовых гор. Она не прослеживалась в распределении марганца в поверхностных осадках (рис. 5), так как на поверхность дна там выходят терригенные позднеплейстоценовые отложения с малым содержанием марганца. Аномалия же в диатомовых илах определяется высоким содержанием марганца в голоценовых осадках колонок, отобранных вблизи Баритовых гор.

Для более древних терригенных отложений повышенные содержания марганца, хотя и на порядок меньшие, чем в диатомовых илах, установлены на северо-восточном склоне котловины, и, частично, вблизи Баритовых гор (рис. 9). Именно здесь можно предполагать нахождение эндогенных источников, эпизодически поставляющих марганец в иловые или придонные воды. Известно, что накопление его из гидротермальных плюмов во многих районах распространения металлоносных осадков происходит, главным образом, на значительном удалении от источников, там, где существуют условия для накопления осадков и сохранения в них марганца [22, 27]. Это может быть связано с гидродинамическими условиями либо с физико-химическими особенностями придонных и иловых вод. На возвышенностях в районе Баритовых гор в голоцене осадки не накапливались из-за повышенной подвижности придонных вод.

Интенсивное накопление марганца в котловине Дерюгина имело место только в голоцене, когда

**Рис. 8.** Карта распределения значений трех факторов для поверхностных осадков котловины Дерюгина (условные обозн. см. на рис. 1).





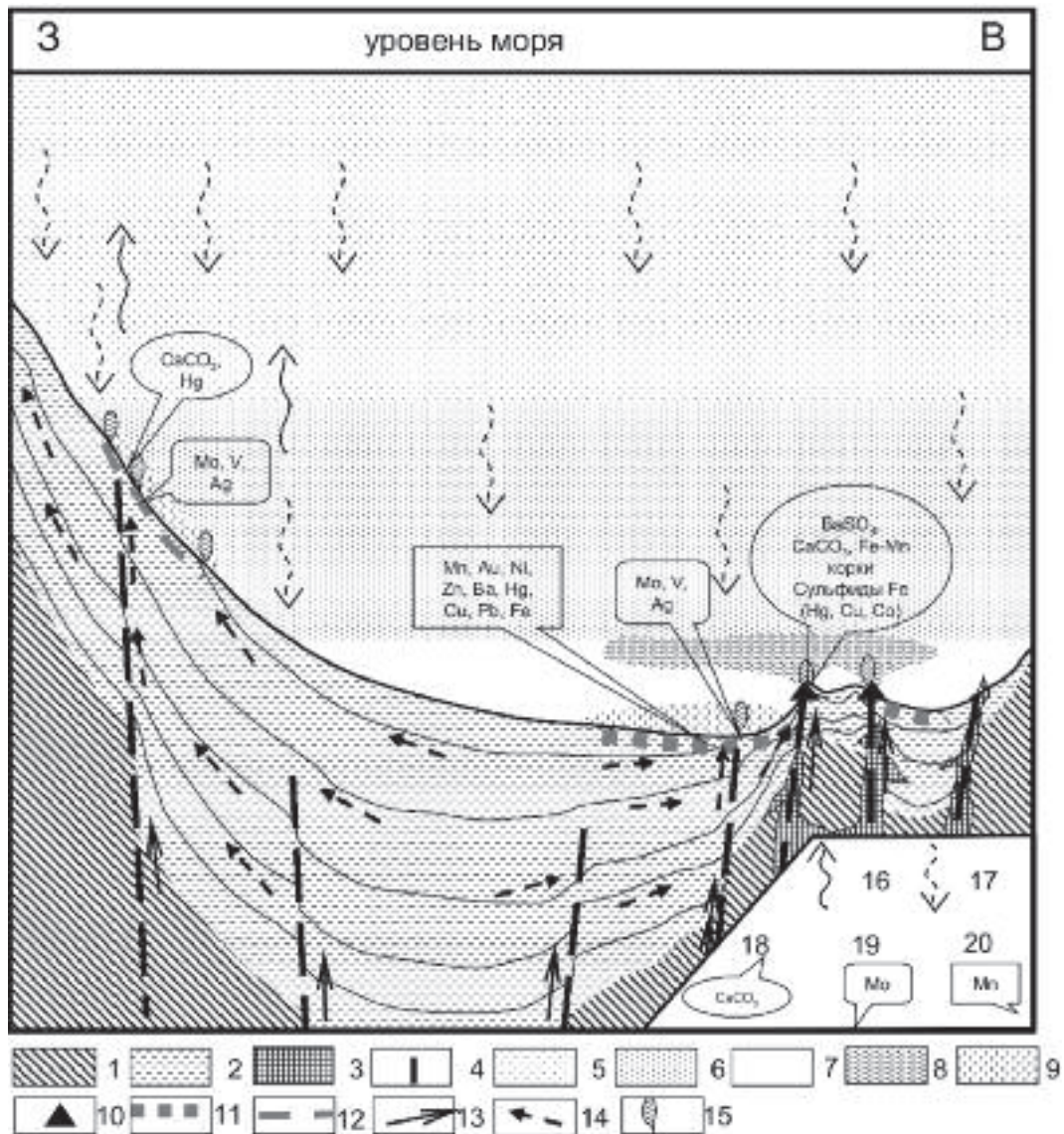
были сформированы массивные баритовые постройки Баритовых гор [13], хотя активизация гидротермальной деятельности происходила в этом районе и ранее [9]. Наиболее важным событием, произошедшим в начале голоцена, когда началось интенсивное накопление марганца на значительной площади котловины, явилась стратификация водной толщи [19]. До этого зимнее конвективное перемешивание вод охватывало всю толщу, включая придонные воды, и обширные плюмы со специфическими гидрохимическими условиями не формировались. Обогащение осадков марганцем и микроэлементами за счет их осаждения из гидротермальных плюмов могло происходить только вблизи таких источников, что и отмечено недалеко от Баритовых гор в колонке Н7-988 [9]. В голоцене же произошла стратификация вод, сформировались поверхностная, промежуточная и глубинная водные массы (рис. 10). При эпизодической активизации низкотемпературной гидротермальной деятельности в районе Баритовых гор, например, в период формирования там массивных баритовых построек, в глубинной водной массе, не подверженной конвективному перемешиванию и относящейся, к тому же, к слою кислородного минимума [12, 46], могут формироваться устойчивые водные плюмы с повышенными содержаниями рудных элементов, либо со специфическими гидрохимическими условиями, благоприятными для осаждения рудных элементов из морских вод (рис. 10).

В формировании металлоносных осадков может быть также значительной роль элизионных источников ВДШЗ, изменяющих гидрохимию придонных и иловых вод и создающих специфические условия для:

- накопления в осадках из морских вод элементов, характерных для аноксидных обстановок (V, Mo, Ag);
- сохранения в осадках различными способами элементов (Mn, Ni, Zn, Au, Hg, Ba, Fe), поступающих на дно с биогенным и терригенным веществом, осаждающимся сквозь гидротермальные плюмы в глубинной водной массе;
- накопления и сохранения в поверхностных осадках марганца, поступающего из восстановленных осадков при их раннедиагенетических изменениях.

**Рис. 9.** Среднее содержание марганца в осадках различных литостратиграфических горизонтов.

А – Ia, голоценовый диатомовый (0–8 тыс. лет.), Б – Ib, голоценовый терригенный (8–12.4 тыс. лет), В – II (> 12.4 тыс. лет) (условные обозн. см. на рис. 1).



**Рис. 10.** Модель формирования марганцевых металлоносных осадков котловины Дерюгина (условный субширотный разрез, вертикальный масштаб для водной толщи значительно крупнее, чем для земной коры).

1–3 – геологические комплексы: 1 – акустический фундамент, 2 – осадочный чехол, 3 – кайнозойские вулканиты; 4 – разрывные нарушения; 5–7 – водные массы котловины: 5 – поверхностная, 6 – промежуточная, 7 – глубинная; 8–9 – водные плюмы, эпизодически формирующиеся над эндогенными источниками: 8 – инфильтрационными, 9 – элизионными; 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: 13 – инфильтрационных (межформационных), 14 – элизионных (внутриформационных); 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 повышенные и аномальные содержания в поверхностных осадках: 18 – за счет поставки вещества эндогенными флюидами, 19 – за счет осаждения из придонных вод со специфическими физико-химическими условиями, определяемыми и влиянием эндогенных источников, 20 – осадившиеся из гидротермальных плюмов в глубинной водной массе.



Определение масштабов и механизма реализации каждого из указанных факторов требует дальнейших исследований.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование окисленных металлоносных осадков котловины Дерюгина связано с резко аномальным обогащением марганцем поверхностных осадков за счет раннедиагенетической миграции его в окисленный слой из восстановленных диатомовых илов, первично обогащенных марганцем и другими рудными элементами. Этот процесс имеет место в относительно узкой полосе вдоль Восточно-Дерюгинской шовной зоны, где существуют условия для первично-седиментационного накопления марганца и микроэлементов из морских вод, а также для их последующего перераспределения. Эти условия определяются:

- близостью эндогенных источников, поставляющих марганец и некоторые другие элементы и формирующих плюмы в глубинных водах с их повышенным содержанием;

- поступлением по разломной зоне элизионных газовых и водных флюидов из осадочных толщ Дерюгинского осадочного бассейна, определяющих специфические физико-химические условия придонных и иловых вод, что, в свою очередь, определяет возможность накопления элементов аноксидных обстановок и сохранения в осадках марганца и микроэлементов, осаждающихся из гидротермальных плюмов;

- определенной глубиной моря, в связи с чем днище котловины находится ниже границы промежуточных и глубинных водных масс, а придонные воды относятся к слою кислородного минимума.

В накоплении рудных элементов в донных осадках котловины Дерюгина и формировании металлоносных осадков прослеживается влияние нескольких процессов:

- осаждение Mn, Ba, Hg и, возможно, Fe из гидротермальных плюмов, эпизодически формирующихся в глубинной водной массе над низкотемпературными гидротермальными источниками Баритовых гор и более северных районов, и соосаждение оксогидроксидами марганца и железа микроэлементов (Au, Ni, Zn, Co, Cu);

- осаждение V, Mo, Ag, Pb и некоторых других микроэлементов из аноксидных и сероводородных придонных и иловых вод со специфическими гидрохимическими характеристиками, формирующихся вблизи элизионных источников по периферии Дерюгинского осадочного бассейна;

- раннедиагенетическое перераспределение марганца с концентрацией его в поверхностном слое осадков, наиболее эффективно проявляющееся вблизи Восточно-Дерюгинской шовной зоны.

Помимо марганца окисленные металлоносные осадки обогащены в 3–5 раз относительно регионального фона золотом, никелем, цинком, кобальтом и, локально, молибденом, ртутью, медью, барием, свинцом, что определяется не диагенетическим перераспределением, а первично-седиментационным накоплением микроэлементов в голоценовых осадках этой зоны.

*Основная часть экспедиционных работ выполнена в рейсах российско-германского проекта КОМЕХ и МЧС РФ по теме “Система ведения реестра подводных потенциально опасных объектов РФ”. Аналитические исследования и обобщения выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 05-05-65217-а) и ДВО РАН (грант 06-III-A-07-249). Авторы признательны Н. Биебоу, Р.Г. Кулиничу, С.А. Горбаренко, В.В. Кобылянскому за помощь в организации экспедиционных работ, Е.В. Михайлику за помощь в редактировании текста рукописи. Большую помощь в выполнении аналитических работ оказали В.И. Киселев, Г.М. Колесов, Г.А. Бахарева, В.Ф. Занина, И.Н. Якушева.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов А.С., Вагина Н.К., Горбаренко С.А. и др. Скорости голоценового осадконакопления в Охотском море // Тихоокеан. геология. 1988. № 4. С. 3–14.
2. Астахов А.С. Физико-механические свойства и абсолютные массы голоценовых отложений Охотского моря // Тихоокеан. геология. 1991. № 2. С. 50–55.
3. Астахов А.С., Горбаренко С.А., Ващенко Н.Г., Волохин Ю.Г. Распределение и скорости накопления марганца в донных осадках Охотского моря // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 5. С. 47–60.
4. Астахов А.С., Астахова Н.В. Потенциальные минеральные ресурсы марганца в Охотском и Японском морях // Вестн. ДВО РАН. 2003. № 4. С. 141–150.
5. Астахов А.С., Крецер Ю.Л., Кулинич Р.Г., Тиедемманн Р. Карбонатная и сульфидная рудная минерализация в осадках Дерюгинской рифтогенной зоны Охотского моря // Докл. РАН. 2004. Т. 395, № 4. С. 511–516.
6. Астахов А.С., Горбаренко С.А., Бахарева Г.А. и др. Распределение и скорости накопления рудных элементов в голоценовых отложениях котловины Дерюгина Охотского моря // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 2. С. 115–132.
7. Астахова Н.В., Липкина М.И., Мельниченко Ю.В. Гидротермальная баритовая минерализация во впадине Дерюгина Охотского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 295, № 1. С. 212–215.



8. Астахова Н.В., Обжиров А.И., Астахов А.С., Горбаренко С.А. Аутигенные карбонаты в зонах газовых аномалий окраинных морей Востока Азии // Тихоокеан. геология. 1993. № 4. С. 34–40.
9. Астахова Н.В. Геохимические особенности осадков впадины Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 2. С. 87–93.
10. Астахова Н.В., Саттарова В.В. Геохимия железомарганцевых образований центральной части Охотского моря // Вулк. и сейсм. 2005. № 3. С. 29–33.
11. Багурич Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 302 с.
12. Безруков П.Л. Донные отложения Охотского моря // Тр. Ин-та Океанологии АН СССР. 1960. Т. 32. С. 15–97.
13. Вагина Н.К., Астахова Н.В. О возрасте гидротермальной минерализации во впадине Дерюгина Охотского моря // Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона: Тезисы докладов Международного симпозиума. Находка: Изд-во ДВО АН СССР, 1988. Т. 1. С. 17–19.
14. Варнавский В.Г., Жаров А.Э., Кириллова Г.Л. и др. Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского осадочного бассейна. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 148 с.
15. Воробьев В.С., Воронкова М.А., Пятова В.Н. и др. Атомно-абсорбционное определение кремния, железа, кальция, магния и марганца в силикатных карбонатных горных породах и бокситах // Методы химического анализа минерального сырья. М.: ВИМС, 1977. С. 72–89.
16. Воронова В.А., Ильев А.Я. Специфика четвертичного осадконакопления в окраинном Охотском море // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. IV. Структура и вещественный состав осадочного чехла северо-запада Тихого океана. Южно-Сахалинск: Изд-во ИМГиГ ДВО РАН, 1997. С. 130–142.
17. Гнибиденко Г.С. О рифтовой системе дна Охотского моря // Докл. АН СССР. 1976. Т. 229, № 1. С. 163–165.
18. Горбаренко С.А., Ковалюх Н.Н., Одиноква Л.Ю. и др. Верхнечетвертичные осадки Охотского моря и реконструкция палеоокеанологических условий // Тихоокеан. геология. 1988. № 2. С. 25–34.
19. Горбаренко С.А., Лесков В.Ю., Артемова А.В. и др. Ледовый покров Охотского моря в последнем оледенении и голоцене // Докл. РАН. 2003. Т. 388, № 5. С. 678–682.
20. Гранник В.М., Сергеев К.Ф. Охотоморский сектор кайнозойской активной окраины Азии // Докл. РАН. 2001. Т. 376, № 3. С. 369–372.
21. Греция Е.В. Исходный нефтегазоматеринский потенциал органического вещества осадков (на примере впадин Охотского моря). Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 111 с.
22. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Науч. мир. 1998. 340 с.
23. Емельянова Т.А., Корнев О.С., Леликов Е.П. и др. Состав и радиоизотопный возраст вулканитов дна Охотского моря // Препринт. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2001. 48 с.
24. Зеленов К.К. Железо и марганец в эксталяциях подводного вулкана Бану-Вуху (Индонезия) // Докл. АН СССР. 1964. Т. 155, № 6. С. 1317–1342.
25. Колесов Г.М., Аникиев В.В. Специфичность методологии отбора и анализа проб и интерпретации данных экспедиционных океанологических исследований // Журн. аналит. химии. 1999. Т. 54, № 9. С. 918–928.
26. Кулинич Р.Г., Обжиров А.И. Барит-карбонатная минерализация, аномалии метана и геофизические поля во впадине Дерюгина (Охотское море) // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 4. С. 35–40.
27. Лисицын А.П., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 255 с.
28. Обжиров А.И., Астахова Н.В., Липкина М.И. и др. Газогеохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря. Владивосток: Дальнаука, 1999. 183 с.
29. Обжиров А.И., Астахов А.С., Астахова Н.В. Генезис и условия формирования аутигенных карбонатов в четвертичном осадочном чехле района Сахалино-Дерюгинской газовой аномалии (Охотское море) // Океанология. 2000. Т. 40, № 2. С. 280–288.
30. Пятова В.Н., Воронкова М.А., Иванов Н.П. и др. Атомно-абсорбционное определение меди, цинка, свинца, кадмия, висмута, сурьмы, кобальта, никеля в горных породах и рудах // Методы химического анализа минерального сырья. М.: ВИМС, 1977. С. 96–109.
31. Саломатин А.С., Баранов Б.В., Отрошенко О.С., Юсупов В.И. Акустическая съемка Баритовых холмов Охотского моря // XII сессия Российского акустического общества. 25-29 авг. 2003 г.: Сб. трудов. Т. 4. Акустика океана. Атмосферная акустика. М.: ГЕОС, 2003. С. 142–144.
32. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д., Обжиров А.И., Дуглас В.К. Газовые гидраты Охотского моря // Отеч. геология. 1994. № 2. С. 10–17.
33. Страхов Н.М., Нестерова И.Л. О влиянии вулканизма на геохимию морских отложений на примере Охотского моря // Геохимия осадочных пород и руд. М.: Наука, 1968. С. 223–252.
34. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза // Труды Геологического ин-та АН СССР. М.: Наука, 1976. Вып. 292. 299 с.
35. Стрекопытов С.В., Дубинин А.В. Определение Zr, Hf, Mo, W и Th в стандартных образцах океанских отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Журн. аналит. химии. 1997. Т. 52, № 12. С. 1296–1298.
36. Томпсон М., Уолш Д.Н. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно-связанной плазмой. М.: Недра, 1988. 96 с.
37. Харахинов В.В. Тектоника Охотоморской нефтегазоносной провинции: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Оха-на-Сахалине: СахалинНИПИморнефть, 1998. 77 с.
38. Холодов В.Н. Орולי сероводородных бассейнов в осадочном рудообразовании // Литология и полез. ископаемые. 2002. № 5. С. 451–473.
39. Хусид Т.А., Доманов М.М., Свининников А.И. Особенности видового состава и распределения фораминифер во впадине Дерюгина (Охотское море) // Изв. РАН. Сер. биол. 2006. № 2. С. 217–224.
40. Astakhova N.V. Hydrothermal Barite in the Okhotsk Sea // Resource Geology. 1993. N 17. P. 169–172.
41. Baranov B., Dozorova K., Karp B. Tectonics of the Okhotsk Sea: extension and compression. Cruise Reports: KOMEX V and VI. RV Professor Gagarinsky Cruise 26, MV Marshal Gelovany Cruise 1 / Biebow N., Ludmann T., Karp B., Kulnich R. (Eds.) // GEOMAR Report 88, Kiel. 2000. P. 68–88.

42. Bostrom K., Kraemer T., Gartner S. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in Pacific pelagic sediments // *Chemical Geology*. 1973. V. 11, N 2. P. 123–148.
43. Cruise Report. RV Akademik M.A.Lavrentyev Cruise 27. German-Russian expedition for geological/geophysical Okhotsk Sea research / Nurnberg D., Baranov B.V., Karp B.Ya. (Eds.) // GEOMAR Report. 1997. 60. 150 p.
44. Cruise Reports: KOMEX I and II. RV Professor Gagarinsky. Cruise 22, RV Akademik Lavrentiev Cruise 28 / Biebow N., Hutten E. (Eds.) // GEOMAR Report 82, Kiel. 1999. 188 p.
45. Cruise Reports: KOMEX V and VI. RV Professor Gagarinsky Cruise 26, MV Marshal Gelovany Cruise 1/ Biebow N., Ludmann T., Karp B., Kulinich R. (Eds.) // GEOMAR Report 88, Kiel. 2000. 296 p.
46. Cruise report: KOMEX. RV Akademik M.A. Lavrentiev Cruise 29, Leg 1 and Leg 2 / N.Biebow, R.Kulinich, and B.Baranov (Eds.). GEOMAR Report, 110. Kiel. 2003. 190, 176 pp.
47. Gribidenko G.S. The rift system of the Okhotsk sea // Proc. I Intern. Conf. Asian Marine Geology. Beijing: China Ocean Press. 1990. P. 73–81.
48. Hsu S.C., Lin F.J., Jeng W.L., Chung Y.C., Shaw L.M. Hydrothermal signature in the southern Okinawa Trough detected by the sequential extraction of settling particles // *Marine Chem*. 2003. V. 84. P. 49–66.
49. Kobylansky V.V., Domanov M.M., Svininnikov A.I. The geochemistry of heavy metal enrichment in surface sediments of Derugin Basin (Okhotsk Sea) // *Climate Variability and Sub-Arctic Marine Ecosystems*, Victoria, B.C., Canada, 16-20 May, 2005. P. 79.
50. Totland M., Jarvis Ian, Jarvis Kym E. An assessment of dissolution techniques for the analysis of geological samples by plasma spectrometry // *Chemical Geology*. 1992. V. 95, N 1–2. P. 35–62.
51. Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Mercury anomaly in the Okinawa trough sediments – an indicator of modern seafloor hydrothermal activity // *Chinese journal of geochemistry*. 1995. V.14, N 1. P. 33–39.

*Рекомендована к печати О.В. Чудаевым*

***A.S. Astakhov, V.V. Sattarova, A.I. Svininnikov, N.V. Astakhova, M.M. Domanov, M.V. Ivanov***

### **Manganese metalliferous sediments in the Deryugin Basin (Sea of Okhotsk): chemical composition and geological settling**

The results of the study of the chemical composition and location of manganese metalliferous sediments are cited. They make up a surface sediment layer up to 30 cm thick, up to 40 km wide and 180 km in extent in the central part of the basin along the East Deryugin suture zone; the latter limits the Deryugin sedimentary basin on the east. The sediments are enriched with respect to background sediments in Mn by 35 times, Au, Ni, Zn, Co by 3-5 times, and locally, in Mo, V, Ba, Cu, Pb, and Hg. Their formation is presumed to be determined by several processes: precipitation of manganese and some trace elements from the sea water plumes occasionally formed above the hot vents in the northern part of the basin; sedimentation from anoxic bottom waters that are formed above the eastern boundary of the Deryugin sedimentary basin, and early diagenetic migration of manganese into surface sediments.

***Key words:* manganese, metalliferous sediments, chemical composition, genesis, Deryugin Basin, Sea of Okhotsk.**