УДК 551.214(265)

ПРОГНОЗНАЯ ГИС МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОБАЛЬТМАРГАНЦЕВЫХ КОРОК ГАЙОТА БУТАКОВА (МАГЕЛЛАНОВЫ ГОРЫ, ТИХИЙ ОКЕАН)

© 2007 А.М. Асавин[1], Е.И. Чесалова[2], М.Е. Мельников[3]

[1]*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, Москва; e-mail: _alex@geokhi.ru*
[2]*Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва; e-mail: lena@sgm.ru*
[3]*ФГУГП «Южморгеология», Геленджик; e-mail: m_e_melnikov@mail.ru*

На основе технологии построения и анализа электронных карт исследовано распределение залежей кобальт-марганцевых рудных корок. Построены эмпирические зависимости мощности этих корок от глубины, pH среды, особенностей форм рельефа поверхности гайота. Используя ГИС технологии и выявленные закономерности построена прогнозная модель формирования кобальт-марганцевых рудных корок для гайота Бутакова Магеллановых гор Тихого океана. Модель подтверждает существующую гипотезу о преимущественно гидрогенном происхождении кобальт-марганцевых рудных корок и то, что главным фактором определяющим активность формирования корок являлось положение кислородного минимума в вертикальном разрезе водной толщи.

ВВЕДЕНИЕ

После открытия железомарганцевых руд на поверхности подводных гор прошло более ста лет. За это время учеными разработаны основные представления о термодинамике процессов гидрохимических реакций в морской воде, выявлены геохимические отличия кобальт-марганцевых рудных корок (КМК) подводных гор от железомарганцевых конкреций (ЖМК) морского дна, исследован минеральный состав руд. Достаточно детально изучена стратификация распределения растворенных металлов, кислорода, углекислоты и органического вещества в океане до глубин свыше 5000 м., над подводными горами в различных климатических зонах Мирового океана.

К крупнейшим исследованиям КМК подводных гор можно отнести работы Г.Б. Батурина, С.И. Андреева, Л.И. Аникеевой, А.В. Дубинина и др. (Аникеева др. 2002; Батурин, 1993, 2004; Батурин, Дубинчук, 1989; Дубинин, 2006; Железомарганцевые..., 1984; Железо-марганцевые ... 1990; Кобальтобогатые ... 2002; Bonatti et al., 1972; Hein et al., 2000; Koppers et al. 2003).

В последние годы ФГУГП «Южморгеология» ведет детальные геологоразведочные работы по Государственным контрактам с Федеральным агентством по недропользованию МПР на Магеллановых горах (Тихий океан). За это время получены результаты бурения рудных залежей, проведены геофизические работы и съемки морского дна (Мельников, 2005; Рашидов, 2006; Рашидов и др. 2003)

Прежние представления о повсеместном развитии КМК сменилось реальным видением ситуации. Выявлено сложное концентрически-зональное или пятнистое расположение наиболее продуктивных участков, показана сильная зависимость мощности руд от геоморфологических особенностей, оценено влияние подстилающего субстрата. Для КМК построена схема стратификации слоистых корок. Установлена геохимическая зональность в составе руд, часто дискордантная по отношению к их мощности. В настоящий момент в связи с накоплением большой первичной информацией о развитии руд на гайотах и активной разведкой этих руд в океане разработка численной модели формирования рудных залежей на подводных горах чрезвычайно актуальна. Уровень фундаментальных исследований создает предпосылки для разработки таких моделей.

Мы рассмотрели распределение железомарганцевых корок на примере гайота Бутакова (МЖ 39) Магеллановых гор Тихого океана (рис. 1). На основе детальных карт рудных зон был проведен расчет зависимости распространения КМК от морфологии поверхности гайота, глубины, величины pH. Работа основана на новых

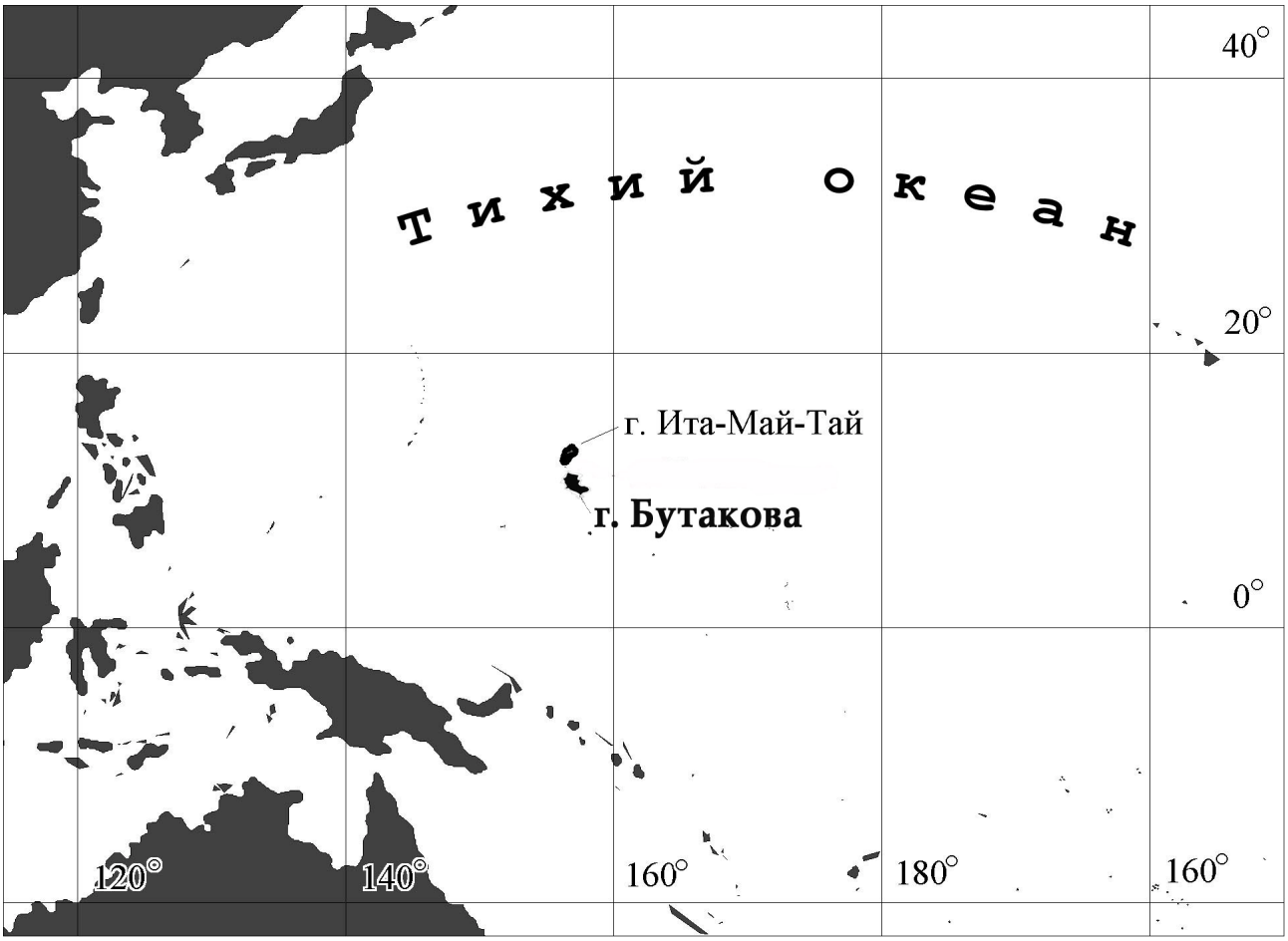

Рис. 1. Обзорная схема районов района расположения гайота Бутакова (МЖ39).

ГИС-методах анализа пространственных данных и общей целью работы являлась разработка численной модели, позволяющей прогнозировать развитие железомарганцевых рудных корок на подводных горах. ГИС технологии позволяют совместить результаты численного трехмерного моделирования с рассчитанными по теоретическим функциональным зависимостям полями различных параметров, определяющих пространственные закономерности формирования корок. Данное исследование является попыткой оценить вклад ведущих процессов на основе реально наблюдаемых эмпирических закономерностей развития рудных тел на поверхности гайота, оценить какие из них являются главными в формировании рудных корок, а какие второстепенными.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Батиметрические карты гайота были построены по данным широкополосной съемки эхолотом Simrad EM12 S-120 в рейсах НИС «Геленджик» в 1999-2003. Это карты являются основной топографической основой крупномасштабного (1:200000) ГИС проекта по рудоносности подводных гор. На карты были нанесены данные по бурению скважин на поверхности гайота, отбору проб драгами и результаты подводного фотопрофилирования. В результате этих работ удалось построить детальные карты железомарганцевого оруденения подводных гор с выделением зон развития неконсолидированных осадков и участками отсутствия корок, распределения мощностей корок и металлов в них. Систематизация данных (Мельников, 2005) позволила нам в данном ГИС проекте проследить границы распространения рудных корок на поверхности гайота и выделить участки развития корок разной толщины. ГИС проект выполнен с помощью программы ARC/INFO v.9.0.

Руды формируются в несколько этапов, что фиксируется их стратификацией, наличием перерывов и несогласий между слоями. Наиболее мощные корки сформировались в течение нескольких десятков млн. лет. На Рис. 2 представлена фотография образца где показана типовая стратификация корки. Стратификация детально рассмотрена в работах (Мельников, 2005; Мельников, Пуляева, 1994; Пуляева, 1999) и отражает эволюцию седиментогенеза и историю формирования кобальтмарганцевого оруденения в Тихом океане.

Построенная трехмерная карта гайота представлена на Рис. 3. Показано развитие разных по

Рис. 2. Образец слоистой гидрогенной корки. Цифрами показаны слои КМК: римскими - классификация слоев по Мельников и Пуляева 1994; Пуляева 1999, арабскими - по Кобальтбогатые..., 2002.

мощности типов рудных корок на поверхности гайота. Каждый из выделенных типов состоит из комбинации различных по возрасту слоев и приурочен к определенному участку гайота – границам вершины, склона, центральной всхолмленной части или плоской краевой части. На вершинной плоской части гайота расположено много безрудных участков. Нами использовалось следующее ранжирование корок по мощности отражающая как наличие или отсутствие древних слоев и их мощность. Всего выделено 5 градаций:

1. До 1 см мощности (обычно это только корки III слоя)
2. От 1 до 4 см мощности (это корки обычно сложенные только слоем III или слоями II и III)
3. От 4 до 7 см мощности (это обычно корки с отсутствием в разрезе одного или двух слоев)
4. От 7 до 10 см мощности (корки с полным разрезом, состоящим из четырех слоев)
5. Свыше 10 см мощности (корки с полным разрезом и повышенными мощностями отдельных слоев, а также иногда с присутствием древних реликтовых слоев.

Соответствие данной градации с градацией по возрасту (то есть стратификацией) достаточно сложное и требует отдельного исследования в будущем. В данной работе хотелось бы подчеркнуть, что классификация слоев корок, используемая в ФГУП «Южморгеология» является именно возрастной и базируется на стратиграфических и палеонтологических признаках (литологические типы слоев, несогласия, минералогический и палеонтологический состав), в то время как классификация используемая во ВНИИОкеангеология более детальная и, в большей степени, опирается на структурные и минералогические характеристики слоев (плотные, сухаристые, с преобладанием тобоидов и т.п.). Для задач данного исследования важна именно мощность коркового слоя, а не ее минералогическая, или возрастная типизация, поэтому мы использовали простые размерные критерии (мощность корки).

Кроме того, мы использовали классификацию поверхности гайота по уклону дна. Этот геоморфологический параметр в ряде работ определяется как важнейший для формирования корок (Аникеева и др. 2002; Кобальтбогатые..., 2002). Его ранжирование мы пробовали выполнить в различных вариантах, однако, полагаясь на точность измерения, мы остановились на шаге 5^0, как наиболее эффективном. Таким образом, было выделено 6 классов уклона склона подводной горы - $0\text{-}5^0$, $5\text{-}10^0$, $10\text{-}15^0$, $15\text{-}20^0$, $20\text{-}25^0$, $25\text{-}90^0$.

Помимо уклона дна было проведено геоморфологическое районирование гайота по степени расчлененности рельефа. С этой целью в скользящем окне было просчитано количество положительных и отрицательных вторичных форм рельефа, в результате чего была построена карта оценка распределения экстремумов отражающая степень расчлененности рельефа (рис. 4).

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РУД

В настоящее время общепринятым механизмом описывающим образование КМК является гидрогенная отсадка вещества из морской воды (Батурин 1993; Дубинин, 2006; Дубинин, Батурин. 1994; Кобальтбогатые..., 2002; Banakar et al., 2007; Hein et al., 2000). При этом определяющим фактором реализации реакций осаждения растворенных в морской воде рудных компонентов является окислительно-восстановительная стратификация океанической толщи по глубине (Кобальтбогатые..., 2002; Glasby et al., 1999; Johnson et al. 1996; Lewis, Luther, 2000; Verlaan et al., 2004). В результате химических реакций (главным образом обусловленных режимом углекислоты и растворением органических остатков жизнедеятельности микроорганизмов в океанической воде) возникает кислородный минимум, меняется pH среды. Осуществляется наиболее интенсивное протекания процессов окисления марганца и железа и соответственно отложение железомарганцевых корок обогащенных полиметаллами и редкими элементами. Таким образом, зная положение кислородного минимума можно рассчитать, где именно на поверхности гайота будет происходить отложения руд. Однако определение положения уровня этого горизонта составляет достаточно сложную задачу. На изменение вертикального положения горы и соответственно палео глубины поверхности гайота в геологическом времени оказывают влияние локальные тектонические движения, глобальные изменении уровня океана,

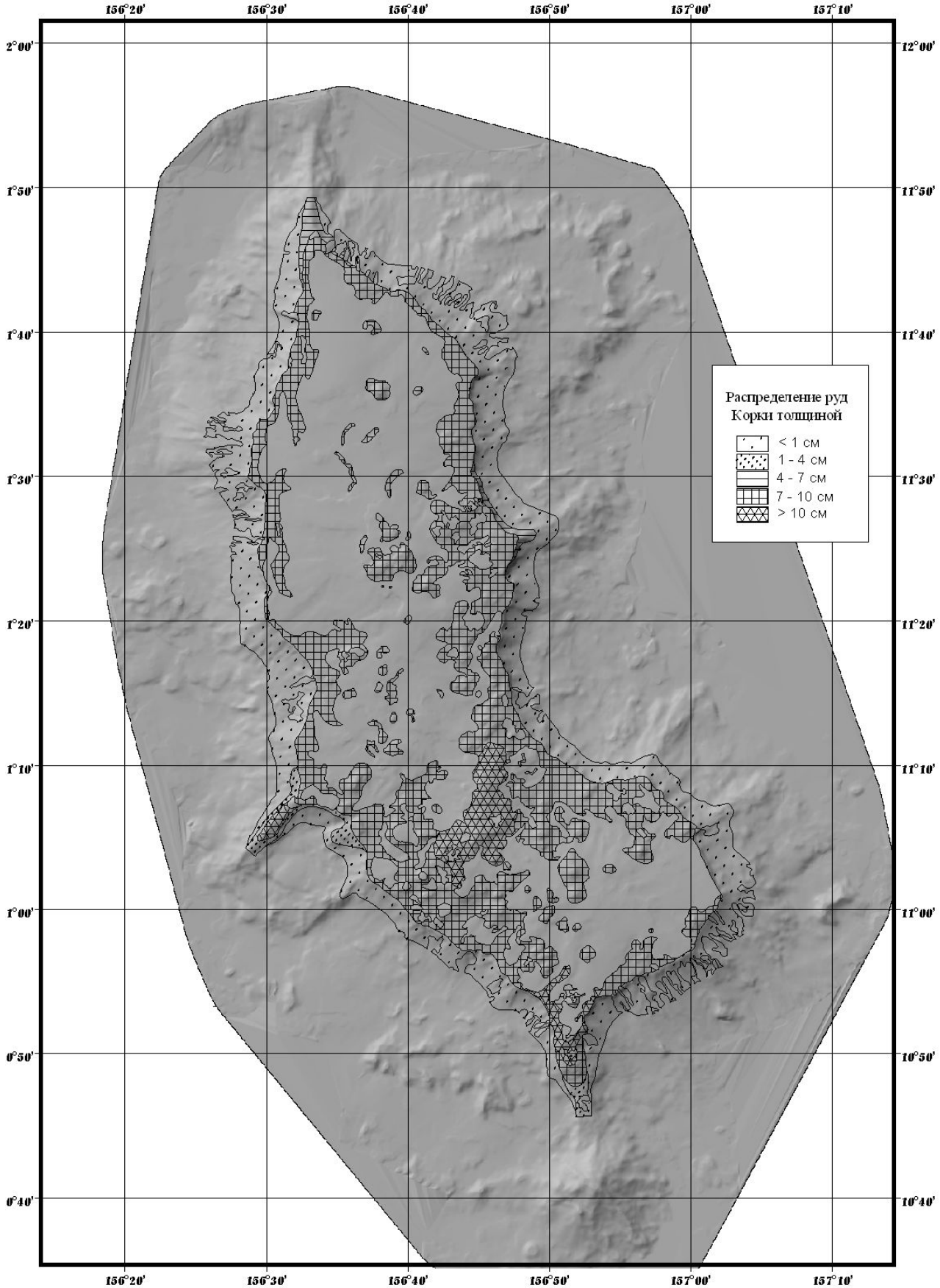

Рис. 3. Трехмерная карта гайота Бутакова с границами развития железомарганцевых корок различной толщины.

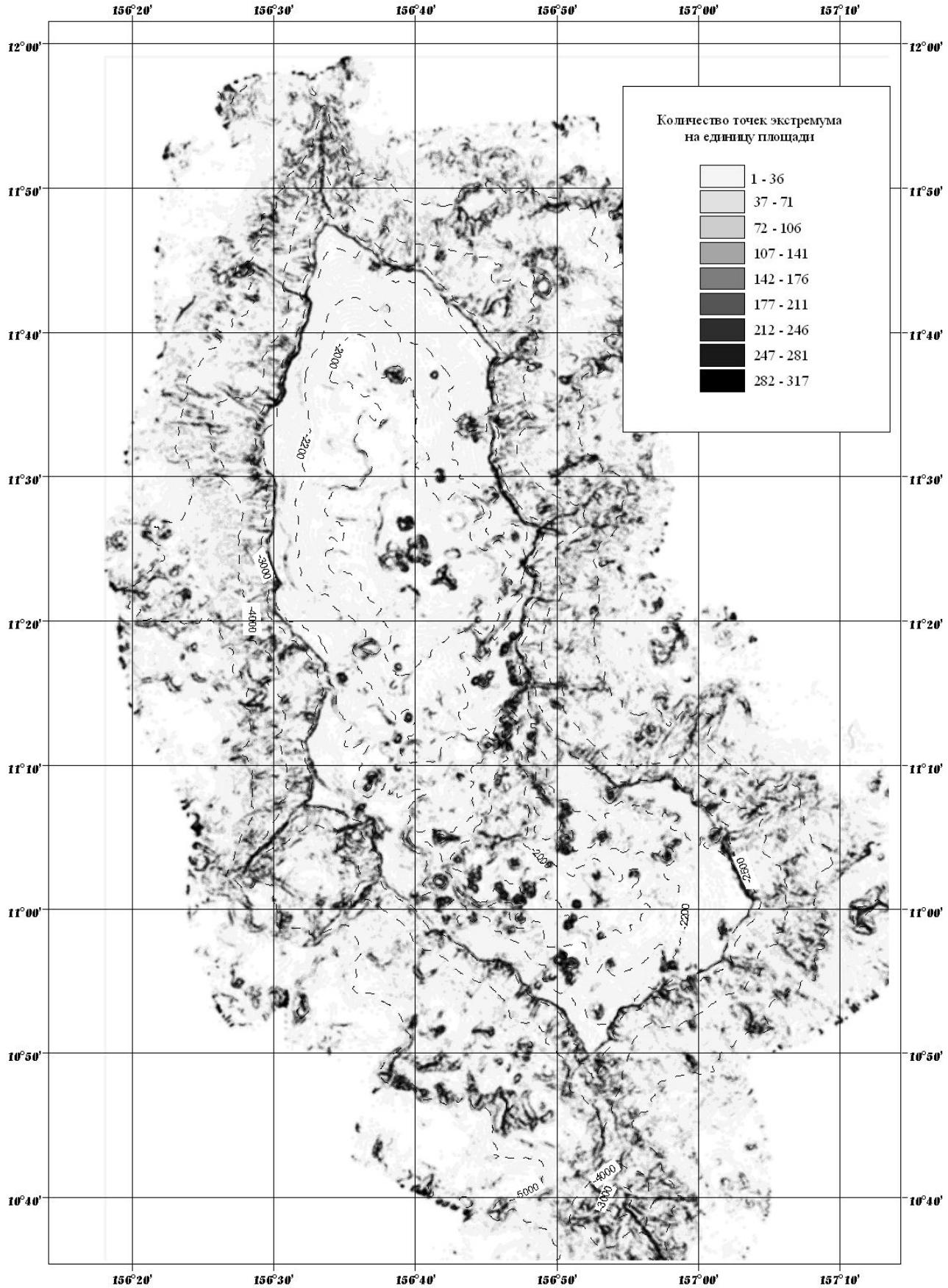

Рис. 4. Геоморфологическая карта развития вторичных форм рельефа – расчлененности поверхности гайота.

изменения режима кислорода и оксидов углерода при эволюции Земли. Часть этих факторов можно учесть, однако слабая изученность конкретной геологической истории развития гайота не позволяет с достаточной точностью, заранее определить глубину положения кислородного минимума. Скорее наоборот, изучая положение горизонтов наиболее мощных корок на поверхности гайота, мы можем оценивать палео уровень кислородного минимума в прошлом. В тоже время можно надеяться, что накопление фактов в результате изучения подводных гор и эволюции океана, позволит в будущем с большей точностью оценивать окислительно-восстановительный режим древних океанов.

В настоящее время ряд исследователей большое внимание обращает на влияние подводных течений вокруг подводных гор (Горяинов и др. 1986; Зырянов, 1995; Михайлик и др. 2006; Masaki Kawabe et al., 2005; Turnewitsch et al., 2004). Действительно, подводные наблюдения указывают на существование сильных течений сложной формы. Скорость течений по-видимому может достигать 10-20 км/ч (Зырянов 1995; Turnewitsch et al. 2004). В результате такой гидродинамической активности уровень кислородного минимума также может смещаться по вертикали относительно уровня вдали от подводных гор. По мнению указанных исследователей течения вокруг подводных гор образуют спиральные вихревые потоки направленные снизу вверх (гидродинамических вихрей Тейлора-Хогга) (Зырянов, 1995). В результате этих потоков уровень кислородного минимума может исчезнуть или сдвинуться на меньшую глубину. Это также может отразиться на изменении активности отложений КМК, их составе (Byrne et al., 1988; Donat, Bruland, 1995) то есть уменьшении их мощности на определенных участках и горизонтальных уровнях гайота. Однако в настоящий момент работ посвященных этим вопросам мало и эти явления изучены явно не достаточно.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ГИС МЕТОДОВ

Суммарный эффект рассмотренных процессов, прежде всего, будет выражен в изменении глубины на которой расположены наиболее мощные корки и безрудные горизонты. Другими словами на графиках зависимости мощности рудных слоев от глубины океана должен существовать максимум, отражающий наиболее оптимальные условия формирования рудных горизонтов.

Попытки найти расположение такого максимума предпринимались на базе исследования геологических горизонтальных разрезов через гайот (Горяинов и др. 1986; Мельников, 2005,).

Однако ГИС методы позволяют более полно использовать не только линейные разрезы, но и площадные параметры развития рудных зон, что позволяет получить более представительные и точные зависимости мощности корок от месторасположения на поверхности гайота. Методика построения зависимостей заключается в расчете площадей пересечения полигонов различных «сеточных» параметров (т.е. параметров, величина которых представлена в ГИС проекте в виде изолиний значений по площади равномерного опробования). Рассчитывается площади ограниченные изолиниями выбранного интервала значений, которые образуют замкнутые полигоны на карте. Слои, которые представляют параметры, которые мы исследуем на предмет взаимосвязи, клиппируются в пакете ARC/INFO, и рассчитываются площади пересечения полигонов одного параметра по отношению к другому. В результате мы получаем строгую зависимость одного параметра от другого. Например, зависимость толщины рудной корки от глубины океана может быть представлена в виде графика площадей полигонов корок с одной мощностью располагающихся на полигонах соответствующих интервалов глубин: 1.5-2 км, 2-2.5 км, 2.5-3 км и т.д. То есть по оси абсцисс откладываются площади корок одной толщины, попадающие в определенный интервал глубин, который в виде значений отложен на оси ординат.

Эта методика позволяет заменить качественное представление о связи мощности корок с глубиной океана или другими управляющими обстановкой рудоотложения параметрами на количественные функции, фактически рассчитываемыми по ГИС картам. Точность оценки построенной зависимости можно увеличить за счет увеличения числа классов (сужения интервалов значения параметра). Результаты расчетов зависимости мощности корок от угла наклона склонов представлены в табл. 1. В табл.2 представлены данные расчета по интервалу глубин. Мы использовали относительные внемасштабные единицы измерения площади для упрощения дальнейшего анализа и возможности сопоставления с данными других авторов. Для этого площадь всего гайота пересчитывалась на площадь занимаемую рудными интервалами и рассчитываемая площадь приводилась к относительной доли рудной площади к безрудной части. Следует отметить, что при увеличении числа классов поверхности (по величине угла склона гайота) вид зависимости не менялся, поэтому мы остановились на данной классификации, как наиболее оптимальной. Точность расчета площадей для гайота Бутакова была достаточно высокой, поскольку детальность съемки на различных участках по изобатам достигала 20 м. Точность оценки площади была значительно выше, чем точность определения

Таблица 1. Расчет площадей занимаемых рудными участками разного типа.

	Углы наклона склонов						
	0-3º	3-5º	5-10º	10-15º	15-20º	20-25º	25-90º
Типы рудных тел по мощности	Рассчитанная площадь руд расположенных на поверхности гайота с различными углами наклона (в относительных единицах)						
Корки <1 см	0.9	23.1	81.6	72.7	93.2	110.9	97.4
Корки 1-4 см	32	141.4	23.4	40.2	78.5	87.7	226.7
Корки 4-7 см	2044.3	3172.3	3988.9	2000.6	1136.3	677.1	357.4
Корки 7-10 см	126.4	212.7	463.3	391.4	220.8	96.2	46.1
Корки >10 см	659.4	1229.6	652.5	95.5	17.8	7.3	2.8
Конкреции	9122.4	7741.2	4689.9	1750.8	952.4	500.9	242.6
Безрудная площадь	2274.6	3383.1	5735.3	4723	4549.5	3546.9	3406.1
Общая рудная площадь	2934	4931.1	6387.9	4818.4	4567.4	3554.3	3409

Таблица 2. Расчет площадей занимаемых рудными участками разного типа.

	Интервал глубины, км									
	1.5 - 1.3	1.7 - 1.5	2.0 - 1.7	2.3 - 2.0	2.5 - 2.3	3.0 - 2.5	3.5 - 3.0	4.0 - 3.5	4.5 - 4.0	5.0 - 4.5
Типы рудных тел по мощности	Рассчитанная площадь руд расположенных на поверхности гайота с различными глубинами (в относительных единицах).									
Корки <1 см	0	0	0	542	1656	3036	2440	4216	2123	0
Корки 1-4 см	0	0	0	0	0	197	440	1377	1088	0
Корки 4-7 см	0	0	0	1	1155	1756	1103	702	96	0
Корки 7-10 см	7	40	3548	10143	6886	2979	697	307	0	0
Корки >10 см	2	13	189	782	824	603	401	529	0	0
Конкреции	0	16	1409	6995	10203	3392	147	251	194	0
Безрудная площадь	0	32	1907	9619	11570	14678	18396	41915	64310	36290
Общая рудная площадь	9	69	5146	18463	20724	11963	5228	7382	3501	0

границы рудных интервалов, поскольку частота опробывания рудной зоны проводилась по сетке примерно с полукилометровым шагом.

Данные представленные в таблицах 1, 2 и на рисунках 5, 6 показывают, что для корок разного типа форма графика зависимости их распространенности от глубины океана и угла наклона склона гайота сильно различаются. На графиках можно выделить распределения с хорошо выраженным максимумом и кривые близкие к линейной функции. Площади распространения корок разного типа приурочены к разным глубинам, максимумы на графиках рис. 5 не совмещаются. Это по видимому, можно объяснить сменой положения кислородного минимума во времени. Зависимость от угла наклона склона опосредованно включает в себя и глубину океана как, определяющий параметр, поэтому ее роль выделить достаточно сложно. Управляющие факторы необходимо рассматривать совместно для построения общей функции описывающей распространенность корок разного типа на поверхности гайота.

ГИС МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

Полученные данные и разработанная методика ГИС расчета позволяют нам перейти к построению прогнозной количественной модели формирования рудных покровов на поверхности гайота. При моделировании мы ставим задачу найти эмпирическую функцию определяющую многопараметрическую зависимость мощности рудного слоя от глубины океана, наклона склона горы, величины pH или иных факторов. В качестве начальных учитываемых параметров в модели были выбраны угол наклона склонов и значение pH.

Прямое введение в функцию глубины не использовалось, поскольку pH уже является функцией глубины. В работе (Kenneth et al., 1996) показано, что в Тихом океане форма зависимость pH от глубины во всех изученных районах близка к классической. На кривых наблюдается два минимума. Один в районе 1.5-2 км связан с реакцией разложения органического углерода и второй ниже критической глубины карбонат накопления. По усредненной кривой изменения величины pH от глубины (Кобальтбогатые..., 2002) мы построили аппроксимирующее уравнение. Расчет был выполнен с помощью пакета MATLAB v. 4.0 в виде многочлена третей степени (pH – значение в морской воде; D - глубина в метрах) –

$$pH = 8.53 - 0.11 * D^{0.5} + 0.005D - 7.57E^{-5} *$$
$$* D^{1.5} - 1.21E^{-6} * D^2 + 4.24E^{-8} D^{2.5} - 2.97E^{-10} * D^3$$

Коэффициент корреляции уравнения составляет 0.98 для 95% значимости. Данное уравнения затем было использовано в пакете ARC/INFO v. 9.0 для расчета значений pH на поверхности гайота (рис. 7). Расчет выполнялся по покрытию батиметрии. Генерация таких «расчетных» карт-слоев позволяет проводить анализ двумерной корреляции различных расчетных параметров связанных наблюдаемыми характеристиками теоретической зависимостью. В данном случае анализ подобных корреляций позволяет выявить генетические связи между окислительной обстановкой на поверхности гайота и развитием коры железомарганцевых руд. Такой анализ может быть выполнен как просто визуально – на основе совпадения или несовпадения границ аномалий на картах исследуемых параметров, так и более строго на основе расчета площадей пересечения полигонов. Целью построения модели является расчет по значениям известных (глубина океана) и расчетных параметров (pH) в заданной точке величины мощности рудной коры на поверхности гайота. В результате моделирования строится результирующая карта прогнозного признака OPI (ore-predicted-indicator), форма аномалий которого, должна совпадать с формой рудных зон. Подбираются весовые множители в функции управляющих параметров, такие чтобы полученная функция наилучшим способом описывала распределение рудных тел.

В используемой нами простой линейной формуле расчета OPI весовой множитель при значении pH равен пяти, что отражает большой вклад pH при расчете поискового признака. Существенный вклад также вносит изрезанность рельефа. На рис. 8 показана расчетная карта значений OIP на поверхности гайота Бутакова. Сходство этой карты с картой распространенности корок и их мощностей доказывает, что нам удалось построить достаточно близкую к реальности прогнозная модель формирования руд. Наибольшую сложность представляет оценка вклада угла наклона поверхности гайота. Из результатов проведенных расчетов (табл. 1, рис. 6) следует, что КМК разной толщины по-разному распределяются на поверхности в зависимости от угла наклона. Распространенность маломощных корок (менее 1 см) и корок толщиной 7-10 см сильно зависит от угла наклона. На графиках хорошо выражен максимум для этих м типов корок, тогда как остальные, менее развитые на гайоте разновидности корок, распределены довольно равномерно. Такая не «симметричность» в распределении корок, по-видимому, отражает смену гидродинамического режима при формировании более древних и молодых корок. Поскольку в данной модели мы строили единую функцию для всех типов корок, то результирующие коэффициенты функции OPI для угла наклона склона, в основном определяются формой залежей наиболее широко представленных на гайоте Бутакова молодых типов корок.

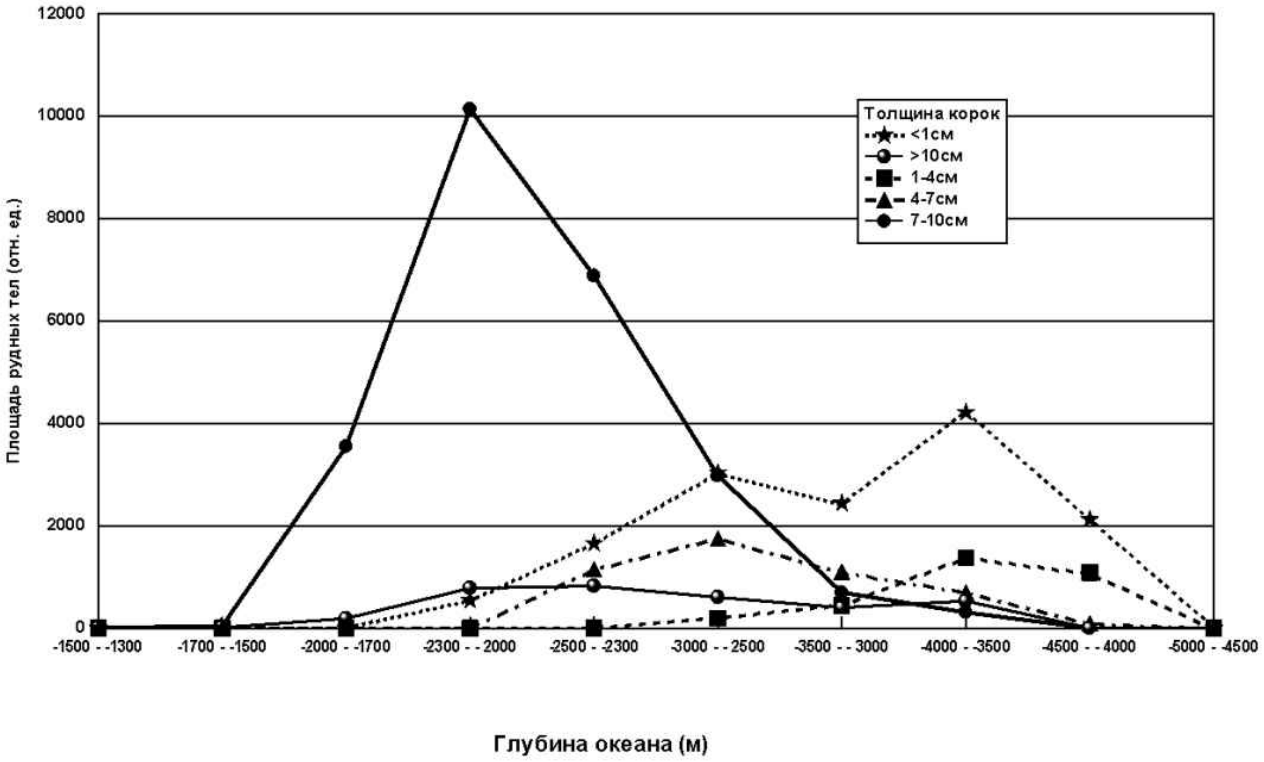

Рис. 5. Развития рудных полей на поверхности гайота в зависимости от глубины океана.

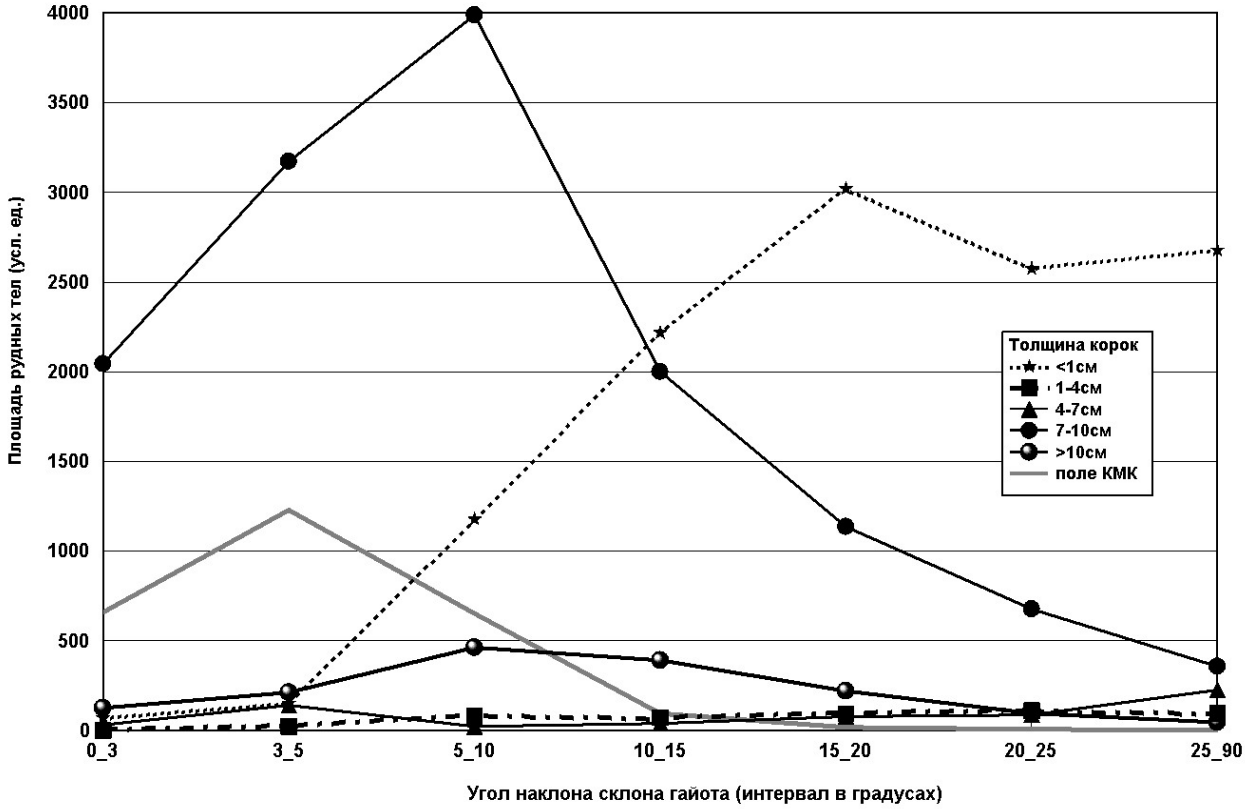

Рис. 6. Неоднородность развития рудных полей на поверхности гайота с различными углами наклона.

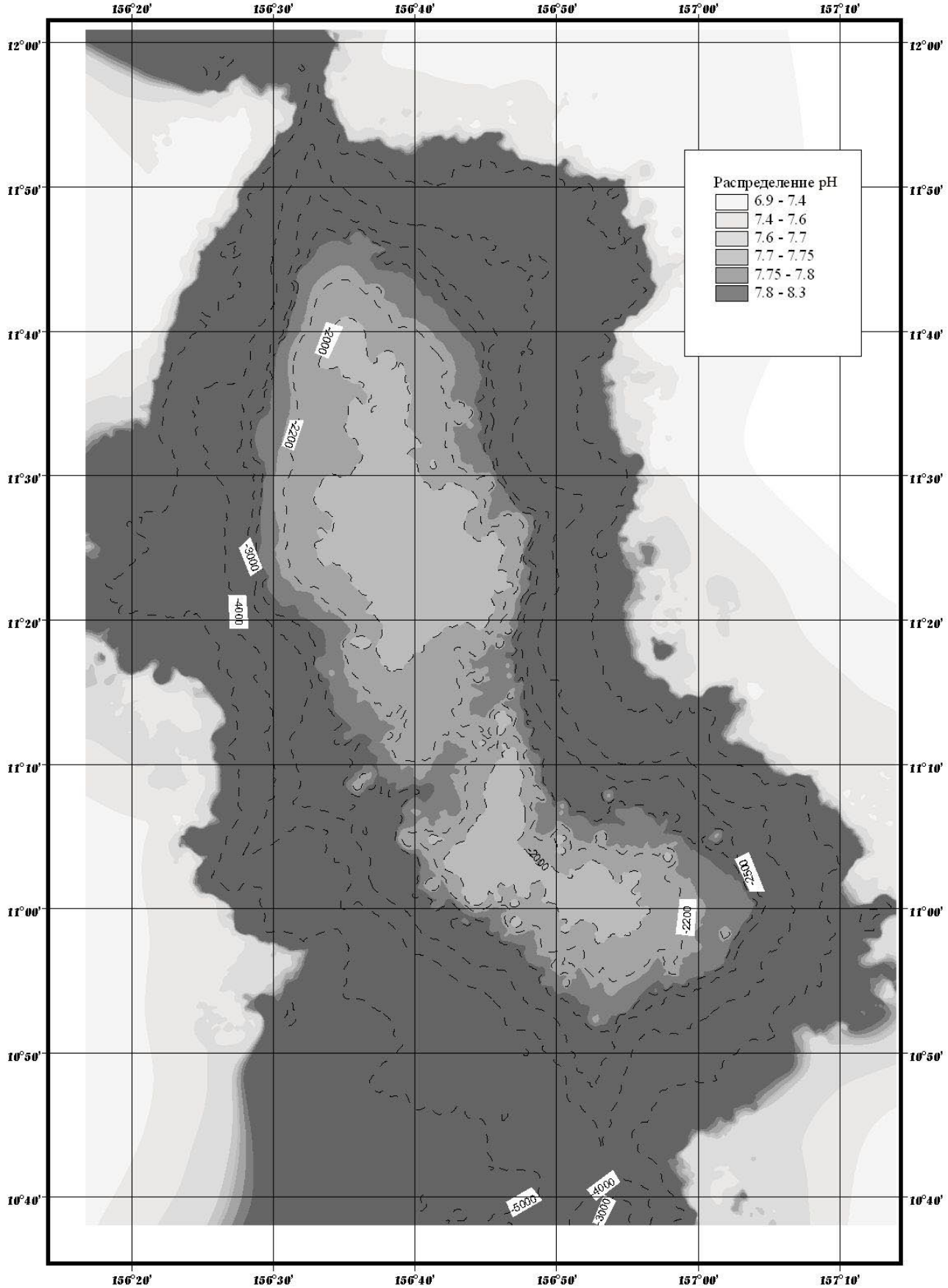

Рис. 7. Карта расчетной величины pH на поверхности гайота.

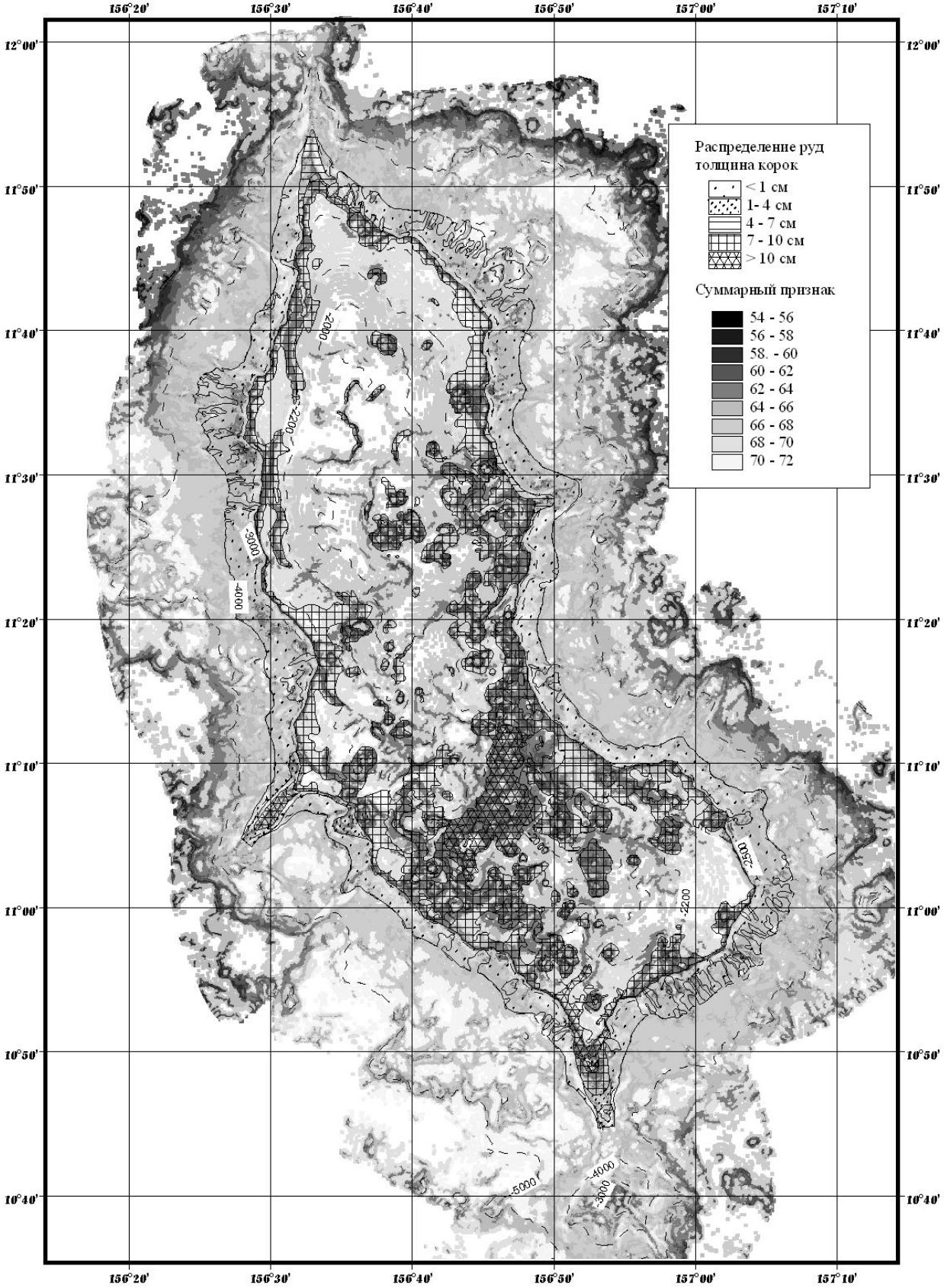

Рис. 8. Карта расчетной величины OIP(суммарного признака рудоностности) наложенная на карту мощности рудных корок.

ВЫВОДЫ

Расчет с помощью ГИС методов площадей занимаемых КМК на поверхности гайота выявил неравномерное концентрически зональное расположение рудных зон, чередующихся с безрудными участками.

Максимум распространенности корок различной мощности расположен на разных глубинах. Наиболее мощные корки (7-10 см и более) характеризуются четким максимумом развития в интервале глубин 2-2.3 км. Максимум распространения для менее мощных корок (1-4 см и меньше) выражен слабее и располагается на больших интервалах глубин – 3.5-4 км.

Несмотря на ряд допущений, полученная ГИС модель достаточно хорошо описывает распространенность рудных полей на поверхности гайота, что свидетельствует о ведущей роли в формировании руд стратификации океанических вод по глубине, окислительно-восстановительному режиму и при активном влиянии на образование руд геоморфологических характеристик подводной горы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 06-05-08069офи и контракта №634-2007/ГЕОХИ.

Список литературы

Аникеева Л.И., Андреев С.И., Александров П.А. и др. Платиноносность железомарганцевых образований Мирового океана // Платина России. Т. 3. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. С. 338-345.

Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 304 с.

Батурин Г.Н. Фосфатонакопление в океане. М.: Наука, 2004. 465 с.

Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т. Микроструктуры железомарганцевых конкреций океана. Атлас микрофотографий. М.: Наука, 1989. 288 с.

Горяинов И.Л., Грамберг И.С., Прожогин А.Г. Зависимость состава и строения залежей железомарганцевых конкреций от их ориентировки по отношению к придонному течению // ДАН. 1986. Т. 289. № 6 С. 1488-1492.

Дубинин А.В., Батурин Г.Н. Редкоземельные элементы в стандартных образцах глубоководных образцах глубоководных железомарганцевых руд и красной глины // Океанология. 1994. Т. 34. № 2 С. 228-231.

Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006 339 с.

Железомарганцевые конкреции Мирового океана / Отв. ред. Ю.Б. Казмин Л.: Недра, 1984. 175 с.

Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана / Отв. ред. Лисицин А.П. М: Наука, 1990. 228 с.

Зырянов В.Н. Топографические вихри в динамике морских течений. М. Академия Наук, 1995. 239с.

Кобальтобогатые руды Мирового океана / Отв. ред. академик РАЕН С.И. Андреев. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 167 с.

Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУГП ГНЦ «Южморгеология», 2005. 231 с.

Мельников М.Е., Пуляева И.А. Железомарганцевые корки поднятия Маркус-Уэйк и Магеллановых гор Тихого океана: строение, состав, возраст // Тихоокеанская геология. 1994. № 4. С. 13-27.

Михайлик Е.В., Ханчук А.И., Хершберг Л.Б. Роль топографических вихрей Тэйлора-Хогга в формировании железомарганцевых конкреций по периферии Магеллановых гор Тихого океана // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25. № 1. С. 14-17

Пуляева И. А. Этапы формирования железомарганцевых корок Магеллановых гор Тихого океана. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. С-П., 1999. 25 с.

Рашидов В.А. Магеллановы горы (Тихий океан): состояние геологической изученности // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 2. С. 13-20.

Рашидов В. А., Невретдинов Э.Б., Селянгин О.Б., Невретдинов Эр.Б. Геолого-геофизические исследования гайотов Магеллановых гор Тихого океана // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 103 - 126.

Banakar V.K., Hein J. R., Rajani R.P., Chodankar A. R. Platinum group elements and gold in ferromanganese crusts of the Afanasiy-Nikitin Seamount, Equatorial Indian Ocean: Sources and fractionation // J. of Earth System Science 116 (1): 3-13 Feb 2007.

Bonatti E., Kraemer T., Rydell, H.. Classification and genesis of submarine iron–manganese deposits / / Ferromanganese Deposits on the Ocean Floor / National Science Foundation, 1972. Ed. Horn D. P. 149–165.

Byrne R.H., Kump L.R., Cantrel, K.J. The influence of temperature and pH on trace metal speciation in seawater // Mar. Chem. 1988. V. 25 P. 163-181.

Donat, J.R., Bruland W.K. Trace Elements in the Oceans // Trace Elements in Natural Waters. Ed. Salbu, B., Steinnes, E. CRC Press. Boca Raton FL, 1995. P. 247-281.

Glasby G.P., Schulz H.D. eH-pH Diagrams for Mn, Fe, Co, Ni, Cu and As under Seawater Conditions: Application of Two New Types of EH, pH Diagrams to the Study of Specific Problems in Marine Geochemistry //Aquatic Geochemistry. 1999. № 5. P. 227–248.

Hein J R, Koschinsky A, Bau M. et al. Cobalt rich ferromanganese crusts in the Pacific // (Handbook of marine mineral deposits. Ed. Cronan D.S. C R C Press NY, 2000. Mar. Sci. Ser. P. 239-280.

Johnson K.S., Coale K.H., Berelson W.M., Gordon R.M. On the formation of the manganese maximum in the oxygen minimum //Geochimica et Cosmochimica. Acta. 1996. V. 60. №. 8. P. 1291-1299.

Kenneth S.J., Kenneth H.C., Berelson W.M., Gordon R. M. On the formation of the manganese maximum in the oxygen minimum // Geochimica et Cosmochimica Acta, V. 60, I. 8, 1996. P. 1291-1299.

Koppers A.P., Staudigel H., Pringle M.S., Wijbrans J.R. Short-lived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanis // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2003. V. 4. № 10. P. 1-49.

Lewis B.L., Luther G.W. III Processes controlling the distribution and cycling of manganese in the oxygen minimum zone of the Arabian Sea // DSRP II. 2000. V. 47. № 7-8. P. 1541-1561.

Masaki Kawabe, Daigo Yanagimoto, Shoji Kitagawa, Yoshifumi Kuroda. Variations of the deepwestern boundary current in Wake Island Passage // Deep Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers, 2005. V. 52. I. 7. P. 1121-1137.

Turnewitsch R., Chapman D.C., Reyss J.-L. et al. Evidence for a sedimentary fingerprint of an asymmetric flow field surrounding a short seamount // Earth and Planetary Science Letters. 2004. V. 222. P. 1023–1036.

Verlaan Ph.A., Cronan D.S., Morgan Ch.L. A comparative analysis of compositional variations in and between marine ferromanganese nodules and crusts in the South Pacific and their environmental controls // Progress in Oceanography. 2004. V. 63. P.125-158.

APPLICATION THE GIS MODEL FOR CoMn DEPOSIT ON THE BUTAKOVA GUYOT (MAGELLAN SEAMOUNTS, PACIFIC OCEAN)

A.M. Asavin[1], H.I. Chesalova[2], M.Ye. Melnikov[3]

[1]Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, 117945, Moscow, Kosigina str.19
[2]Vernadsky State Geological Museum RAS
[3]Scientific-Research and Project Institute of Geophysical methods of Oceanic Exploration FGUP YJMORgeologia, Krymskaya Str.,18, Gelendzhik, Krasnodarsk Krai, 353470, Russia

The distribution of the deposits of cobaltmanganese ore crusts is investigated by the GIS technology. Are built the empirical dependence of the activity of ore process on the depth, pH of the water, geomorphology of the relief of the surface of guyot. Using GIS of technology and revealed regularities in the work it is built the forecast model of the formation of cobaltmanganese ore crusts for the guyot Butakova Magellan seamountains of Pacific Ocean. Model confirms hypothesis about the predominantly hygrogenic origin of cobaltmanganese ore crusts and that the fact that the position of the oxygen minimum in the elevation of water layer was that determining the activity of the formation of crusts by major factor.