

УДК 551.214(550.8.05)

© Коллектив авторов

А.С. Долгаль, А.Н. Иваненко, П.Н. Новикова, В.А. Рашидов

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕРПРЕТАЦИОННЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГАЙОТА СЕТ (ГОРЫ МАРКУС-НЕККЕР, ТИХИЙ ОКЕАН)

Памяти Елены Викторовны Жулевой посвящается

Гайоты Тихого океана, на вершинах и склонах которых были обнаружены промышленные скопления железомарганцевых корок и конкреций, являются интересными и перспективными объектами для изучения как мелового вулканизма, так и железомарганцевого рудообразования.

Гайот Сет (синонимы Seth и V13-1), расположенный на западе гор Маркус-Неккер и входящий в состав Западно-Тихоокеанской провинции подводных гор (рис. 1), был обследован в 13-м рейсе НИС «Вулканолог» в 1982 г. [3-7, 9] и в 6-м рейсе НИС «Томас Вашингтон» в 1991 г. [16].

В комплекс методов исследований, выполненных в 13-м рейсе НИС «Вулканолог» входили эхолотный промер, непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), гидромагнитная съемка (ГМС) и драгирование цилиндрическими драгами. В результате проведенных работ было установлено, что гайот поднимается с глубин 5750-5700 м, имеет поперечные размеры 53×55 км и слегка вытянут в направлении с юго-юго-востока на северо-северо-запад. Его плоская вершина размером 6×9 км расположена на глубине 1100 м (рис. 2а, 3) и в ее пределах отмечены две отличительные глубины: 1040 м и 1060 м.



Рис. 1. Местоположение гайота Сет

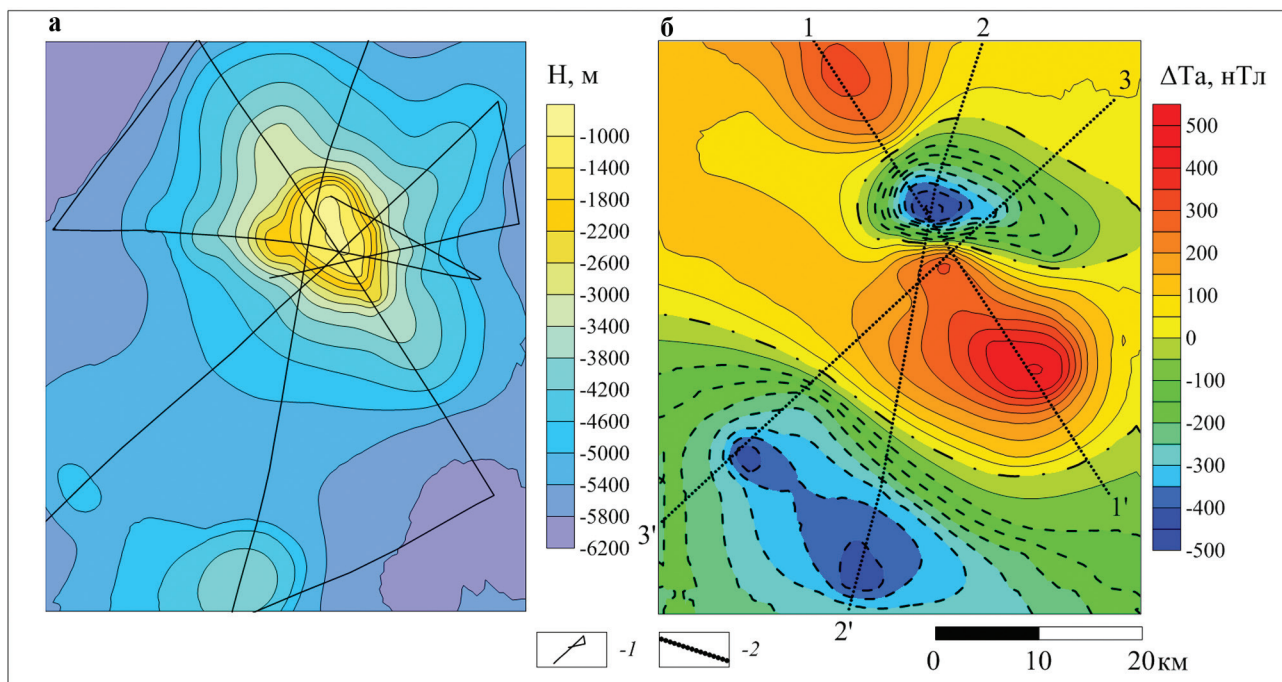


Рис. 2. Батиметрия (а) и аномальное магнитное поле ΔT_a (б) гайота Сет: 1 – галсы; 2 – интерпретационные профили

Крутизна склонов у подножья гайота составляет $\sim 7^\circ$, увеличиваясь плавно до $25-30^\circ$ в привершинной части. Склоны гайота осложнены значительным количеством небольших возвышенностей с относительными превышениями, достигающими 100 м. Вокруг подножья гайота отмечен кольцевой ров глубиной до 130 м, который, возможно, свидетельствует о прогибе литосферы под тяжестью вулканической постройки.

По данным НСП, можно предположить, что подножие гайота на глубинах, превышающих 4,5 км, перекрыто толщей рыхлых отложений, а плоская вершина – горизонтально-слоистыми лагунными отложениями мощностью до 100-150 м (рис. 3).

При драгировании вершины гайота в 13-м рейсе НИС «Вулканолог» в интервале глубин 1080-1060 м были подняты органогенные известняки, а при драгировании северного склона в интервале глубин 2000-1800 м – органогенные известняки, оливиновые базальты и железомарганцевые конкреции и корки [3-7] (рис. 4). Содержание Mn в драгированных железомарганцевых корках изменяется от 12,17 до 25,87% [4]. В корках обнаружилось ураганное содержание ртути [3, 4; 11, 12].

При драгировании в 6-м рейсе НИС «Томас Вашингтон» на северном склоне в интервале глубин 3600-2400 м были подняты базальты, лавовые брекчии, фосфориты и железомарганцевые корки, а на западном склоне в интервале глубин 3400-3200 м –

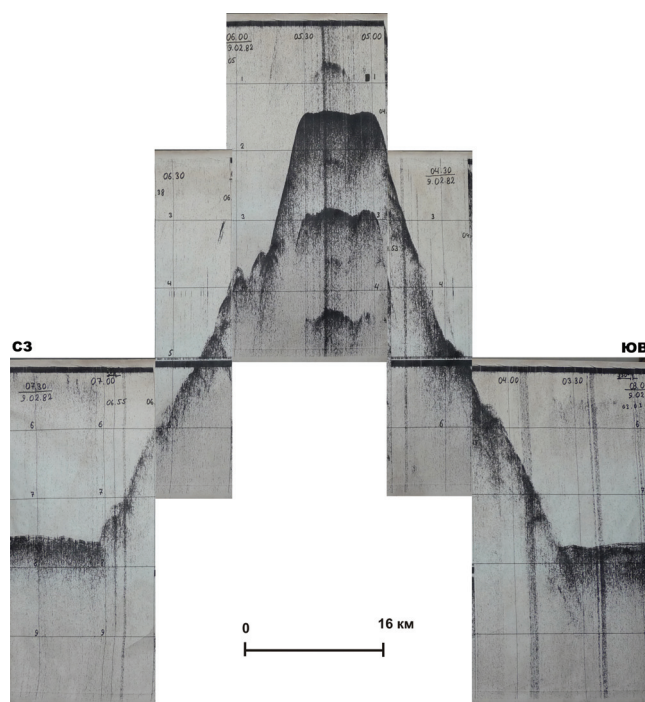


Рис. 3. Фрагмент сейсмограммы профиля 3'-3', проходящего через гайот Сет

базальты, вулканокластиты и железомарганцевые корки. Содержание марганца в драгированных железомарганцевых корках изменяется в диапазоне 18,6-23,0% [16].



Рис. 4. Железомарганцевые образования, драгированные на гайоте Сет в 13-м рейсе НИС «Вулканолог»

Гайот Сет расположен в зоне магнитной аномалии М 24 [21].

Возраст драгированных на гайоте Сет базальтов, определенный аргон-аргоновым методом ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$), изменяется в диапазоне от $114,0 \pm 1,3$ млн лет до $139,3 \pm 0,7$ млн лет [17-19]. Изучение фораминифер в корках гайота Сет показало, что для него характерны позднепалеоцен – среднеэоценовые, средне-позднемиоценовые и плейстоценовые виды [12].

Аномальное магнитное поле (АМП) ΔT_a , измеренное над гайотом в 13-м рейсе НИС «Вулканолог», представляет собой торцевое сочленение двух положительных и одной отрицательной аномалий, слегка вытянутых в широтном направлении, размах поля составляет ~ 960 нТл (рис. 26). Первоначальная интерпретация АМП показала, что средняя эффективная намагниченность вулканической постройки оценивается величиной 2-3 А/м, а высокая интенсивность аномалии обусловлена базальтами, слагающими ядро гайота, а не драгированными слабомагнитными железомарганцевыми корками и известняками. Координаты палеомагнитного полюса для гайота Сет составили $68,1^\circ$ с.ш. и $21,1^\circ$ з.д., а палеоширота образования гайота была оценена в $5,5 \pm 2^\circ$ с.ш. [9]. Возраст образования постройки гайота Сет, определенный палеомагнитным методом, оценивался $\sim 80-90$ млн лет, что существенно отличается от лабораторных определений возраста драгированных образцов [17-19].

Материалы ГМС, полученные в 1982 г. в экспедиции на НИС «Вулканолог», были дополнены данными из базы GEODAS – более 6300 погонных км гидромагнитной съемки, выполненной иностранными коллегами, в 1960-2000 гг. С помощью оригинальной технологии удалось увязать эти съемки между собой и свести эту разнородную информацию в единый цифровой массив данных. Это позволило синтезировать карту АМП на площади размером $\sim 150 \times 200$ км (рис. 5), содержащую внутри себя гайот Сет, с относительной погрешностью съемки менее 4%, и провести ее интерпретацию [3, 4, 6].

С целью определения палеомагнитных характеристик для разноглубинных источников по всей изученной площади и отдельно для гайота Сет, была выполнена серия пересчетов аномального магнитного поля в верхнее полупространство (высоты до 15 км) с последующим определением палеоуглов склонения и наклона по методу магнитных моментов (в англоязычной литературе – метод Хельбига).

Получены оценки среднего направления вектора эффективной намагниченности для всей площади: склонение $D = 19,9^\circ$, наклонение $I = -27,1^\circ$, палеоширота $\varphi = -14,4^\circ$ (табл. 1), что соответствует возрасту ~ 110 млн лет, определяемому по кривой движения палеополюса для Тихоокеанской плиты [20], что гораздо лучше согласуется с датировками абсолютного возраста [17-19], чем результаты выполненного ранее палеомагнитного анализа [9].

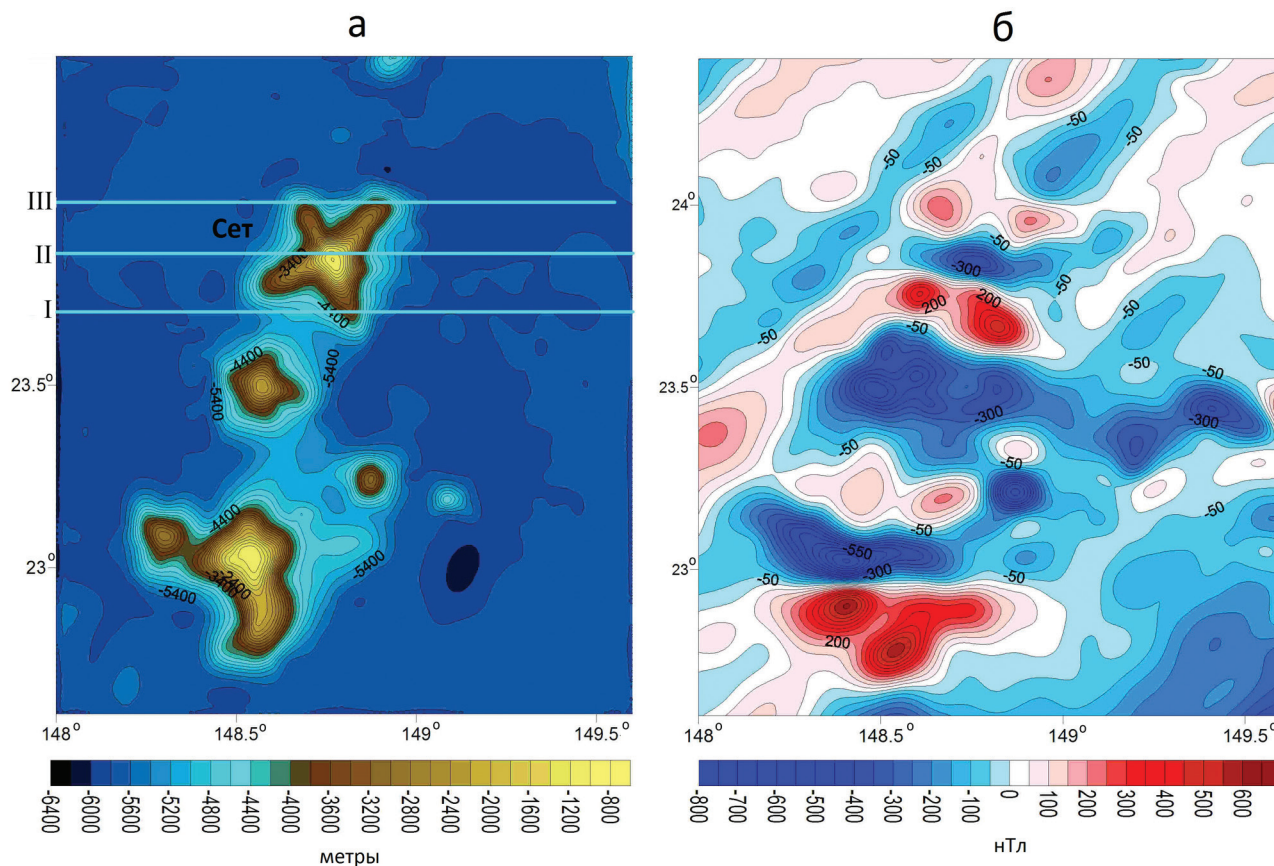


Рис. 5. Рельеф (а) и синтезированная карта аномального магнитного поля ΔT_a (б) в районе гайота Сет. Цифрами обозначены профили 2D-моделирования, представленные на рис. 7

Обращают на себя внимание несколько особенностей. Во-первых, палеосклонение по всей площади имеет устойчивую тенденцию к восточному направлению, отражая, по-видимому, влияние линейных аномалий, имеющих С-В простирание, которое не удастся погасить даже пересчетом на высоту 15 км. В то же время палеонаклонения и, соответственно, палеошироты по всей площади мало зависят от высоты пересчета магнитного поля и меняются в узком диапазоне $1-2^\circ$. Эти значения палеоширот ($-19,5 \div -22^\circ$) могут быть приняты в качестве основной оценки для палеошироты образования изучаемой группы подводных гор. Во-вторых, палеомагнитные характеристики для локальной области гайота Сет однозначно указывают на преобладание обратной полярности в намагниченности этого объекта. При этом анализ редуцированной к полюсу аномалии (с параметрами, полученными при пересчете на высоту 9 км) и ее радиально осредненного частотного спектра указывают на наличие разнополярных и при этом, возможно, разноглубинных источников поля (табл. 1).

Источником центральной аномалии является, скорее всего, массивное квазизилиндрическое тело, залегающее в диапазоне глубин от 1,1 до 11 км,

совпадающее с центральной частью постройки гайота и его подводным каналом (вулканическим корнем), имеющим прямую полярность намагничивания. Периферические же аномалии имеют источниками объекты с глубиной залегания 2,4-5,4 км с обратной полярностью намагничивания, пространственно совпадающие с фланговыми рифтовыми зонами гайота, четко выраженными в его рельефе в виде характерных хребтов на склонах. Поскольку центр магнитных масс у последних источников ближе к поверхности наблюдений, а их объем достаточно велик, они вносят значительный вклад в интегральные оценки по методу магнитных моментов, смещая эти оценки в пользу обратной полярности.

Анализ морфологии АМП и его трансформант осуществлялся с помощью ранговых фильтров и других современных технологий обработки изображений (скелетонизация, морфинг, водораздел и т.д.), а полученные оценки D и I использовались для предварительной редукации аномалий к полюсу (рис. 6а). Массив редуцированных к полюсу аномалий послужил основой для последующих расчетов (рис. 6б-г). Область задания поля была разбита на набор сопряженных непересекающихся многоугольников, центрами которых служат локальные

Таблица 1

Результаты расчета палеомагнитных характеристик методом магнитных моментов

Высота пересчета, км	Палеомагнитные параметры, вся карта			Палеомагнитные параметры, гайот Сет		
	Склонение, °	Наклонение, °	Палеоширота, °	Склонение, °	Наклонение, °	Палеоширота, °
0	89,9?	-19,5	-10	-155,2	26,2	-13,8*
3	78,7	-20,5	-10,6	-162	23,4	-12,2*
6	72	-20,8	-10,8	-165	15,2	-8 *
9	67,6	-21,2	-11	179	19,3	-10 *
12	64	-21,6	-11,2	178	9,5	-4,8*
15	61,4	-22,1	-11,5	171	2	-1*

*– обратная полярность

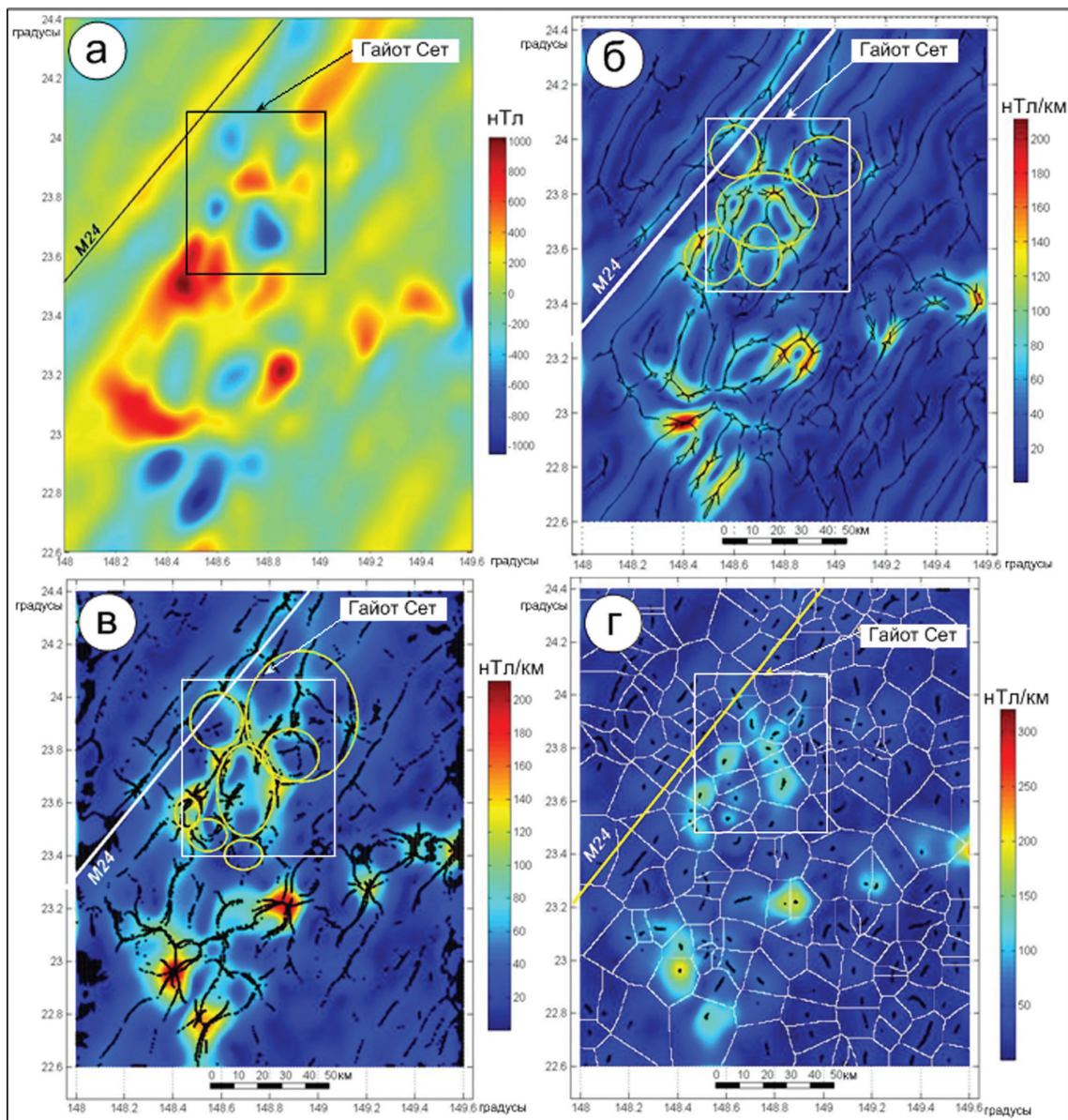


Рис. 6. Редукция поля ΔT_c к полюсу (а); морфоанализ максимумов горизонтального градиента поля (б); морфоанализ модуля аналитического сигнала поля (в); сегментирование изученной площади (г). M24 – идентифицированная линейная магнитная аномалия (153,9 млн лет) [21]. Рамкой выделено местоположение гайота Сет

максимумы модуля аналитического сигнала (метод водораздела) (рис. 6г). Тем самым осуществилось сегментирование изучаемой площади на набор подобластей, внутри каждой из которых находится минимальное количество особенностей поля, с целью локализации источников аномалий в плане.

Объединяя эти результаты с данными по средним глубинам, к которым тяготеют верхние и нижние кромки ансамблей аномальных объектов, рассчитанные спектральным методом, мы получаем основу для детального изучения геометрии и физических свойств аномальных объектов на каждом полигоне. На карте редуцированных к полюсу аномалий (рис. 6а) обращает на себя внимание, в первую очередь, их разный знак над центральной и периферическими частями гайота Сет. Это может свидетельствовать о разновозрастности образования этих структур – их разделяет, как минимум, один хрон геомагнитной шкалы. Весьма интересно пространственное распределение латеральных границ аномальных объектов (рис. 6б) и их центров (рис. 6в). Здесь выделяются как протяженные линейные границы, подчеркивающие блоковое неоднородное строение литосферы, заложенное, возможно, еще во время ее образования в результате спрединга, так и овальные, концентрические, возможно, связанные с наложенным вулканизмом.

Для трех субширотных профилей, пересекающих вершину, южный и северный склоны гайота Сет (рис. 4а), было выполнено 2D-моделирование (рис. 7).

Хотя к результатам 2D-моделирования для существенно трехмерного тела, каким является гайот Сет, следует относиться с известной осторожностью, нельзя не отметить хорошую согласованность этих результатов с интерпретацией, полученной при анализе морфологии поля. Так, построенные модели однозначно показывают массивный центральный магнитный цоколь в основании гайота и вулканический корень под ним, а эффективная намагниченность вулканической постройки оценивается значениями от 1 до 4 А/м. Также наблюдаются менее глубокие, но тоже сильномагнитные локальные объекты на его периферии, отличающиеся по знаку, т.е. по направлению вектора намагниченности от основного магнитного тела. Область предполагаемых источников магнитных аномалий охватывает существенно больший объем по сравнению с видимым рельефом. Все это указывает на сложную, длительную историю развития гайота Сет.

Для изучения глубинного строения гайота Сет была использована технология интерпретации профильной модульной гидромагнитной съемки, успешно адаптированная при изучении гайотов Магеллановых гор Тихого океана [8, 13-15] и подводных

вулканов северной части Курильской островной дуги [1, 2].

Выполнялись преобразование поля методом интерпретационной томографии, решение смешанной обратной задачи магниторазведки (ОЗМ) монтажным методом, основанным на конечноэлементном подходе, и построение 3D-интерполяционной модели [5, 6].

Методы интерпретационной томографии позволяют построить приближенное трехмерное послойное распределение петрофизических параметров в заданном объеме геологической среды. Используемый в данной работе алгоритм основан на истокообразной аппроксимации исходного АМП и его пересчетах в верхнее полупространство на разные уровни, что было впервые предложено в работе [10]. Набор трансформант, приближенно отвечающий аномальным эффектам от разноглубинных горизонтальных слоев, объединяется в куб данных (3D-диаграмму) с использованием шкалы эффективных глубин $H_{эф}$, связанных с высотами пересчета. Томографическое преобразование АМП позволяет получить оценочные сведения о морфологии подводящих каналов вулканических аппаратов путем выделения и оконтуривания данных структур по экстремальным значениям квазинамагниченности. Этот метод дает начальные сведения о глубине залегания, вертикальной и горизонтальной мощностях намагниченных объектов.

Монтажный метод решения обратной задачи магниторазведки (ОЗМ) основан на дискретном представлении изучаемого объема геологической среды и «сборке» объектов исследования из множества элементарных ячеек, аппроксимирующих аномалиеобразующие объекты. Используемый алгоритм позволяет реализовать одновременный подбор геометрических параметров и уточнение эффективной намагниченности, которая априорно задается в виде интервалов допустимых значений, т.е. проводить решение ОЗМ в смешанной постановке. По каждому профилю определяются количественные параметры подводящих каналов вулканических аппаратов и оцениваются их петромагнитные свойства.

По результатам профильного 2D-моделирования в программном комплексе ArcGIS с помощью 3D-интерполяции строится обобщенная модель, позволяющая охарактеризовать форму трехмерного магнитовозмущающего объекта.

Сочетание этих трех методик позволяет максимально информативно использовать данные об АМП, имеющиеся в узлах исходной резко нерегулярной сети.

На первой стадии была построена трехмерная томографическая модель, отражающая приближенное пространственное распределение эффективной

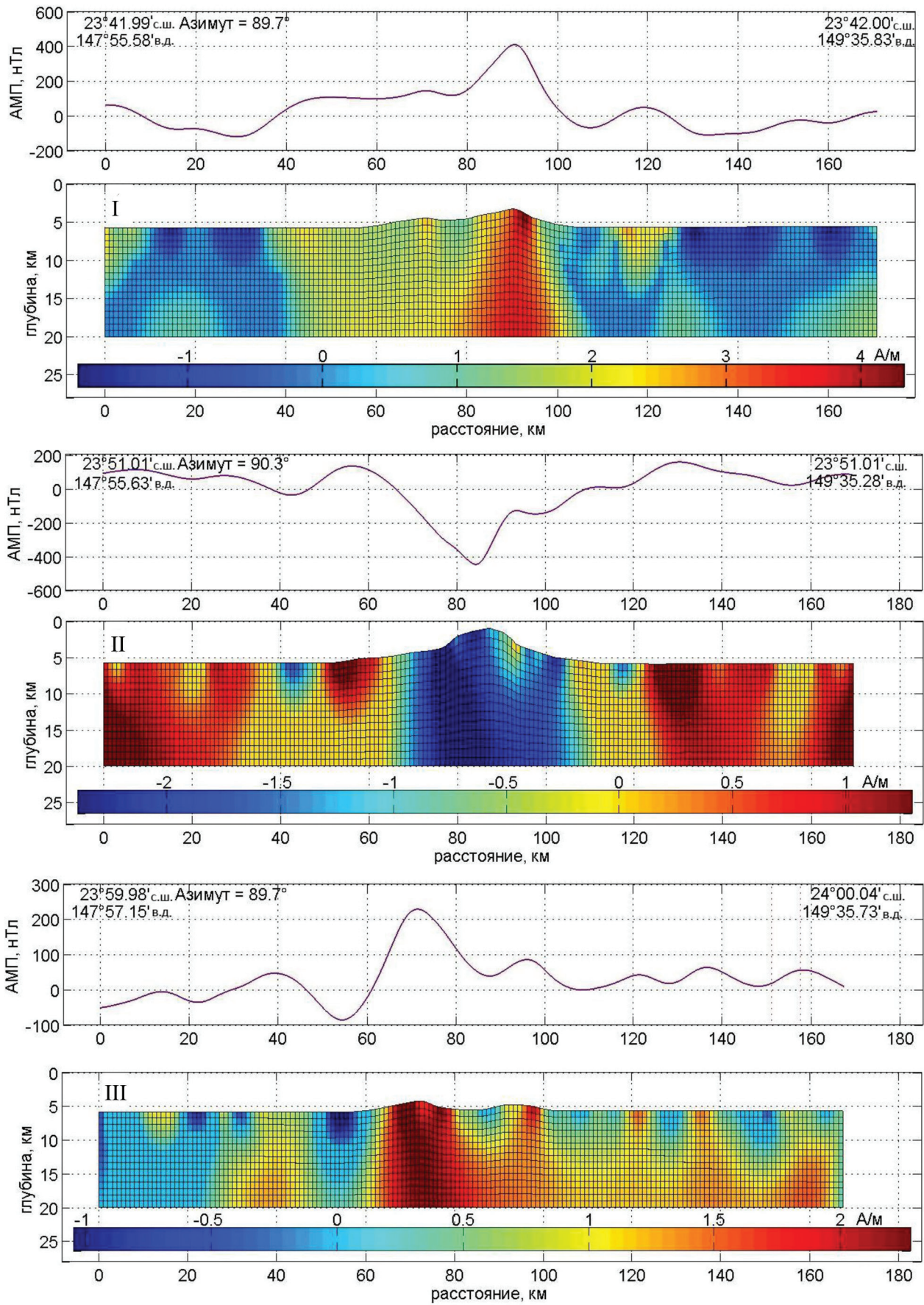


Рис. 7. Результаты 2D-моделирования по трем широтным профилям через гайот Сет. Положение профилей показано на рис. 5а

намагниченности $J\varphi$ внутри вулканической постройки (рис. 8).

Анализ полученной томографической модели показывает наличие двух субвертикальных намагниченных объектов, возможно объединяющихся на глубине. Сопутствующая отрицательная область ($\partial\Delta T_a/\partial z$) проявляется не столь обширно и указывает на наклонный характер падения магнитовозмущающих объектов или на отличие направления вектора намагниченности от верти-

кального. В первом приближении, центральная часть первого аномалиеобразующего объекта находится на глубине 2 км, второй объект является более глубинным, а за предполагаемую глубину слияния объектов можно принять глубину ~ 5 км. Направления падения объектов являются субвертикальными.

Следующим этапом было решение ОЗМ монтажным методом для профильных гидромагнитных измерений (рис. 2б, 8), что позволило провести

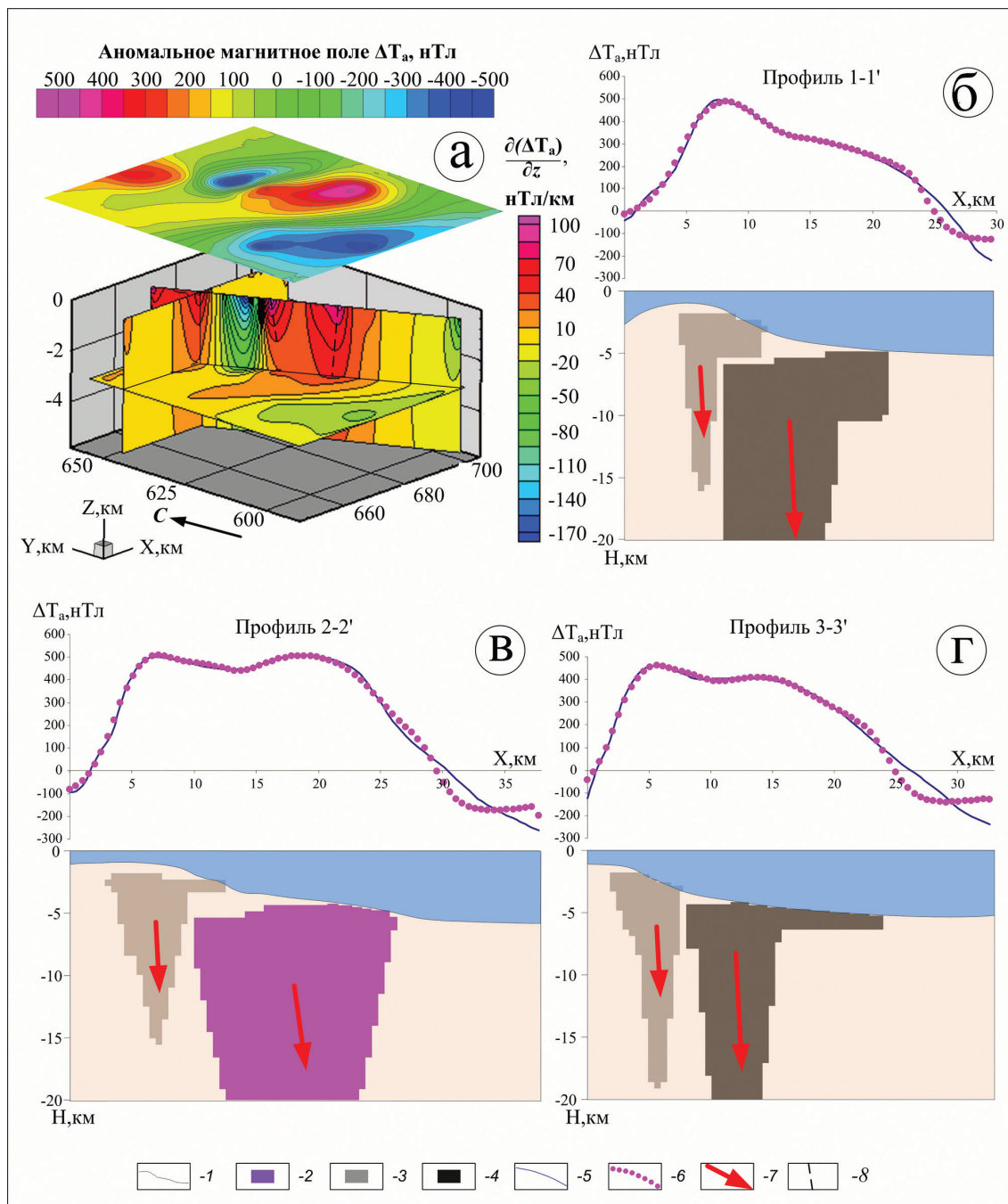


Рис. 8. 3D-томографическая геомагнитная модель постройки гейота Сет (А) и результаты решения ОЗМ монтажным методом (Б-Г): 1 – рельеф постройки; 2 – объект № 1; 3 – объект № 2; 4 – объект № 3; 5 – наблюдаемая кривая ΔT_a ; 6 – модельная кривая; 7 – подобранный вектор эффективной намагниченности; 8 – оси предполагаемых подводных каналов. Положение профилей показано на рис. 2б

2D-моделирование гайота по галсам с определением возможной конфигурации магнитовозмущающих тел и оценкой вектора эффективной намагниченности. В качестве исходных данных использовались приращения модуля полного вектора магнитной индукции ΔT_a . Для интерпретации выбраны четыре наиболее протяженных галса, проходящих через вершину вулканической постройки. Решение ОЗМ проводилось одновременно для нескольких аномалиеобразующих тел. В результате было выделено три субвертикальных магнитовозмущающих объекта.

Объект № 1 обладает средней величиной эффективной намагниченности $J_{эф} = 3,6$ А/м и средним углом намагничивания $\alpha = 83^\circ$. Объект № 2, находящийся непосредственно под вершиной вулканической постройки, имеет $J_{эф} = 3$ А/м и $\alpha = 87^\circ$, а объект № 3 – $J_{эф} = 5$ А/м и $\alpha = 87^\circ$.

Объект № 1 заключен в глубинном интервале 4,5-20 км и обладает наибольшими поперечными размерами, превышающими 10 км (рис. 8в). Объект № 2 выходит к поверхности вершины вулканической постройки и распространен до глубины порядка 15-18 км (рис. 8б-г). Объект № 3 характеризуется наиболее мощной верхней частью и расположен в глубинном интервале 4,5-20 км (рис. 8б, 8г).

На основании моделирования монтажным методом с помощью интерполяции на заключительном этапе была сформирована трехмерная модель (рис. 9), в которой все три объекта оказались перекрыты единым магнитным горизонтом горных пород. Магнитовозмущающее тело, соответствующее застывшей магматической системе гайота, обладает сложной морфологией с внушительными как горизонтальными, так и вертикальными размерами.

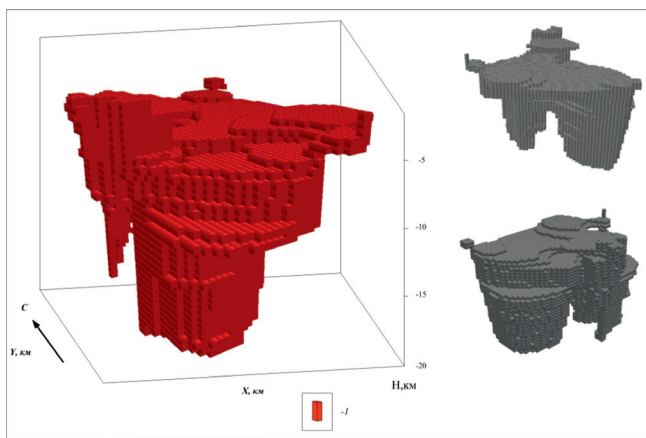


Рис. 9. 3D-модель глубинного строения гайота Сет, построенная по данным гидромагнитной съемки:
1 – единственный элемент, использующийся в монтажном методе решения ОЗМ

Оригинальная интерпретационная технология моделирования данных гидромагнитной съемки позволила выявить подводящие каналы гайта Сет, которые могут ассоциироваться с многожерловой структурой вулканической постройки. Сделана оценка петромагнитных свойств горных пород, питающих питающую систему гайота, в естественном залегании.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 15-05-02955-а, № 16-45-590046).

Ключевые слова: гайот Сет, Маркус-Неккер, интерпретационные технологии, магнитное поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Современные интерпретационные технологии при комплексном моделировании подводного вулкана Макарова (Курильская островная дуга) // Геоинформатика. – 2012. – № 4. – С. 8-17.
2. Блох Ю.И., Бондаренко В.И., Долгаль А.С., Новикова П.Н., Рашидов В.А., Трусов А.А. Комплексное моделирование подводных вулканов 2.7 и 2.8 (Курильская островная дуга) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2013. – № 1. – Вып. 21. – С. 77-85.
3. Долгаль А.С., Зарубина Н.В., Иваненко А.Н., Иванов М.В., Новикова П.Н., Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Рашидов В.А. Комплексные исследования гайота Сет (С-3 Тихого океана) // Вулканизм и связанные с ним процессы : сборник тезисов докладов XVIII ежегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. – Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2015. – С. 130-134.
4. Долгаль А.С., Зарубина Н.В., Иваненко А.Н., Иванов М.В., Новикова П.Н., Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Рашидов В.А. Геолого-геофизические исследования гайота Сет (С-3 Тихого океана) // Вулканизм и связанные с ним процессы : материалы региональной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2015 г. – Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2016. – С. 125-131.
5. Долгаль А.С., Иваненко А.Н., Новикова П.Н., Рашидов В.А. Геомагнитные исследования гайота Сет (Тихий океан) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей : материалы 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 28 января – 1 февраля 2013 г. – М. : ИФЗ РАН, 2013а. – С. 133-136.
6. Долгаль А.С., Иваненко А.Н., Новикова П.Н., Рашидов В.А. Новые данные о строении гайота Сет (горы Маркус-Неккер, Тихий океан) // Геология морей и океанов : материалы XX Международной

- научной конференции (Школы) по морской геологии, Москва, 18-22 ноября 2013 г. – М. : ГЕОС, 2013. – Т. 5. – С. 76-80.
7. Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Рашидов В.А. Совместная оценка геометрических параметров и намагниченности геологических объектов монтажным методом // Геофизика. – 2013. – № 5. – С. 36-41.
8. Долгаль А.С., Новикова П.Н. Рашидов В.А. Использование 1-й вертикальной производной геомагнитного поля для интерпретации материалов гидромагнитных съемок // Геология и полезные ископаемые Западного Урала : материалы региональной научно-практической конференции. – Пермь : Пермский государственный университет, 2009. – С. 262-265.
9. Магнитное поле океана / отв. ред. А.М. Гордницкий – М. : Наука, 1993. – 285 с.
10. Мартышко П.С., Новоселицкий В.М., Пруткин И.Л. О разделении источников гравитационного поля по глубине // Вестник отделения наук о Земле РАН : электронный научно-информационный журнал. – 2002. – № 1(20). – URL: www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/scpub-7.htm#begin (дата обращения 02.04.2017).
11. Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Иванов М.В., Зарубина Н.В., Баринов Н.Н., Блохин М.Г., Рашидов В.А., Плетнев С.П. Первая находка высоких содержаний ртути в гидрогенных железомарганцевых корках Мирового океана // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, г. Владивосток, 06-11 сентября 2015 г. – Владивосток : Дальнаука, 2015. – С. 546-547.
12. Михайлик П.Е., Рашидов В.А., Михайлик, Зарубина Н.В., Блохин М.Г., Иванов М.В., Плетнев С.П. Особенности железомарганцевого рудогенеза гайота Сет (С-3 Пацифика) // Геология морей и океанов : материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. – М. : ГЕОС, 2015б. – Т. 2. – С. 218-221.
13. Рашидов В.А., Долгаль А.С., Новикова П.Н. Геомагнитные исследования гайотов Вулканолог и Коцебу (Магелановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2009а – № 1. – Вып. 13. – С. 98-106.
14. Рашидов В.А. Долгаль А.С., Новикова П.Н. Применение томографической интерпретации геомагнитного поля для изучения гайотов Магеллановых гор Тихого океана // Глубинное строение. Геодинамика. Мониторинг. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей : Пятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы. 6-10 июля 2009 г. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009б. – С. 412 -417.
15. Рашидов В.А. Долгаль А.С., Новикова П.Н. Подводящие каналы гайотов Вулканолог и Коцебу (Магеллановы горы, Тихий океан) // Вулканизм и геодинамика : материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009в. – С. 485-489.
16. Hein J.R., Zielinski S.E., Staudigel H., Chang S.-W., Greene M., Pringle M.S. Composition of Co-Rich Ferrromanganese Crusts and Substrate Rocks from the NW Marshall Islands and International Waters to the North, Tunes 6 Cruise // Open File Report 97-482. Department of the Interior U.S. Geological Survey, 1997. – 65 p.
17. Koppers A.A.P. 40Ar /39Ar Geochronology and Isotope Geochemistry of the West Pacific Seamount Province. Implications for Absolute Pacific Plate Mounts and the Mount of Hotspots // Netherlands Research. School of Sedimentary Geology, 1998. Publication no. 980701. – 263 p.
18. Koppers A.A.P., Staudigel H., Pringle M.S., Wijbrans J.R. Shortlived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanism? // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2003. – Vol. 4. – № 10. – P. 1-49.
19. Larson R.L., Erba E. Onset of the mid-Cretaceous greenhouse in the Barremian-Aptian: Igneous events and the biological, sedimentary, and geochemical responses // Paleooceanography. – 1999. – Vol. 14. – № 6. – P. 663-678.
20. Sager W.W., Pringle M.S. Mid-Cretaceous to early Tertiary apparent polar wander path of the Pacific plate // Journal of Geophysical Research. – 1988. – V. 93. – P. 11753-11771.
21. Sager W.W., Weiss Ch. J., Tivey M.A., Johnson H.P. Geomagnetic polarity reversal model of deep-tow profiles from the Pacific Jurassic Quiet Zone // Journal of Geophysical research. – 1998. – V. 103. – № B3. – P. 5269-5286.