

УДК 550.389

АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТРОГА КИНГ, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ АТЛАНТИКА

© 2025 г. А. Н. Иваненко, А. М. Городницкий, Н. А. Пальшин*,
И. А. Веклич, В. Л. Любинецкий

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**e-mail: palshin@ocean.ru*

Поступила в редакцию 19.07.2024 г.

После доработки 24.09.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

Приводятся результаты геомагнитных исследований юго-восточной части трога Кинг и центрального сегмента Азоро-Бискайского поднятия, выполнявшихся в северо-восточной части Атлантики в 2023 г. в 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов”. Это первые систематические измерения магнитного поля, позволившие построить карту аномального магнитного поля района исследований. Выделены интенсивные магнитные аномалии на хребтах, ограничивающих трог Кинг, а также линейные аномалии на его бортах и в юго-восточной части полигона в центральном сегменте Азоро-Бискайского поднятия. Спектральный анализ и трансформации аномального магнитного поля свидетельствуют о существовании в пределах полигона глубинных аномалий. Интенсивные глубинные аномалии имеют вулканическое происхождение и были образованы в другую геомагнитную эпоху, чем глубокие части и борта трога Кинг. Результаты исследований подтверждают гипотезу о сложном двух- или многостадийном образовании геологических структур на полигоне Трог Кинг, за исключением его юго-восточной части, относящейся к Азоро-Бискайской возвышенности.

Ключевые слова: аномальное магнитное поле, северо-восточная Атлантика, трог Кинг, Азоро-Бискайская возвышенность, природа магнитных аномалий

DOI: 10.31857/S0030157425030106, **EDN:** GWJSSQ

ВВЕДЕНИЕ

Трог Кинг и прилегающие к нему трог Пик и Фрин, а также обрамляющие их хребты являются примечательным мезоструктурным кластером на востоке северной Атлантики. Кластер граничит с крупным приосевым хребтом САХ на северо-западе и Азорско-Бискайским поднятием на юго-востоке [15, 19, 26].

Трог Кинг имеет юго-восточное простирание и длину около 450 км, включает в себя несколько эшелонированных впадин с субпараллельными цепочками подводных гор различной морфологии на флангах. Этот район давно привлекал внимание ученых и изучался ранее геофизическими методами [12, 13, 16, 23]. Неоднократно выполнялось драгирование, в том числе геологическое опробование с помощью подводных обитаемых аппаратов “Мир” во время 19-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” [2, 3, 5, 8, 14, 17].

Существуют две основные гипотезы происхождения трога Кинг. Согласно первой гипотезе

эта структура образовалась в результате подъема глубинного мантийного плюма около 32 млн лет назад. Этот процесс сопровождался интенсивным магматизмом вдоль юго-восточной границы трога, при этом осевая зона хребта понизилась на 2–4 км [15, 23]. Другие концепции указывают на принадлежность трога Кинг к древней внутриплитной границе сдвигового типа [16, 27]. Предпринимаются попытки объединить эти две гипотезы. В рамках этого подхода рассматривается двухстадийное формирование трога Кинг, когда образование и начальное развитие происходили на новообразованной океанической коре 62–58 млн лет назад, после чего трог двигался вместе с плитой в восточном направлении, а приблизительно 32 млн лет назад начался второй этап развития трога Кинг, сопровождавшийся активной интрузивной и вулканической деятельностью вдоль его южного борта [2]. Одним из доказательств этого является наличие полного разреза океанических пород, соответствующих

возрасту наиболее древней магнитной аномалии (58 млн лет), в восточной части трога.

Результаты геохимического изучения пород ранней стадии развития трога Кинг показали заметное сходство их состава с составом базальтов срединно-океанических хребтов (MORB), тогда как вулканические породы, генерированные во время второго этапа формирования трога Кинг, сопоставимы с щелочными вулканитами Азорского архипелага, что позволяет предполагать связь магматизма трога Кинг с Азорским плюмом. Анализ состава базальтов и долеритов свидетельствует о том, что существование реликтового блока Иберийской континентальной плиты в данном районе могло быть причиной появления рифтовой трещины, отклонившейся от главного рифта САХ и развившейся далее в виде трога Кинг при участии все возрастающей активности Азорского мантийного плюма [6].

Большая часть геолого-геофизических исследований трога Кинг была выполнена более 30 лет назад, а происхождение и строение этого мезоструктурного кластера по-прежнему является

предметом дискуссий. В частности, для построения достоверной модели трога Кинг и прилегающих структур не хватало современных батиметрических и геомагнитных данных.

В 2023 г. была организован и проведен 55-й рейс НИС “Академик Николай Страхов” в юго-восточной части трога Кинг и центральном сегменте Азоро-Бискайского поднятия (полигон “Трог Кинг”). Были собраны данные о рельефе, осадочном чехле и магнитном поле. Каменный материал был отобран драгированием. По результатам рейса в пределах полигона было выделено шесть морфоструктурных провинций. Полученные в рейсе данные подтвердили предположения о том, что формирование удлиненного сводового поднятия между 33 и 20 млн лет назад предшествовало формированию трогов Кинг, Пик и Фрин в результате опускания осевой части поднятия, сопровождавшегося интенсивным внутриплитным вулканизмом, интенсивность которого возрастала с юго-востока на северо-запад [26]. Положение полигона трог Кинг и основных геологических структур приведены на рис. 1. Распо-

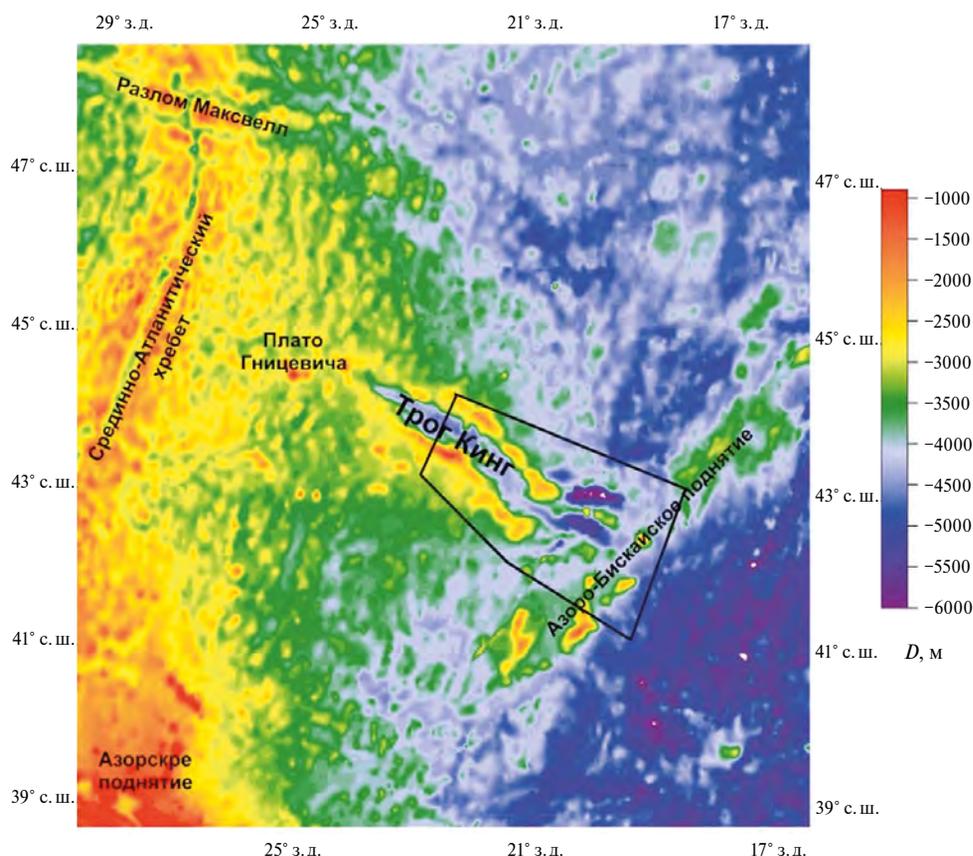


Рис. 1. Батиметрическая карта восточного фланга Срединно-Атлантического хребта [21]. Глубина океана – D , м. Показаны основные структурные элементы и положение района исследований в 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” (полигон “Трог Кинг”).

ложенное к юго-востоку Азоро-Бискайское поднятие, по имеющимся геолого-геофизическим данным, в отличие от трога Кинг, образовано одновременно с формированием соответствующей литосферы [29].

Задачей данной работы является описание геомагнитных данных, полученных в рейсе, их анализ и интерпретация, в целях расширения представлений о происхождении трога Кинг.

МЕТОДИКА И ДАННЫЕ

В 2023 г. в 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” были начаты комплексные геолого-геофизические исследования для получения новых данных о геодинамических условиях, магматических, тектонических и гидротермальных процессах при формировании крупных внутриплитных структур на океанической литосфере на примере структурного кластера, образованного трогом Кинг, Азоро-Бискайским поднятием и плато Гницевича, расположенными на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта (см. рис. 1). Важно отметить, что весь структурный кластер от плато Гницевича на северо-западе до Азоро-Бискайского поднятия на юго-востоке,

характеризуется отсутствием современной сейсмичности.

Экспедиционные исследования включали высокочастотное акустическое профилирование, магнитную съемку и многолучевое эхолотирование, а также станционные работы, в ходе которых производилось опробование дна драгированием. Батиметрические измерения выполнялись одновременно с помощью профилографа EdgeTech 3300 и многолучевого эхолота SeaBat 7150. Профилограф Parasound DS Sub-Bottom P-35 использовался для получения данных об осадках [26]. Исследования 2023 г. выполнялись в юго-восточной части структурного кластера “Трог Кинг”: в 2024 г. планируется продолжить исследования в северо-западной его части. Батиметрическая карта полигона и маршрут судна приведены на рис. 2.

Одновременно с промером выполнялись геомагнитные измерения с применением современной технологии морских геомагнитных измерений, разработанной в ИО РАН. Первичная обработка геомагнитных данных велась с помощью программного пакета MATROS-IV [4]. В 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” для измерений магнитного поля использовался

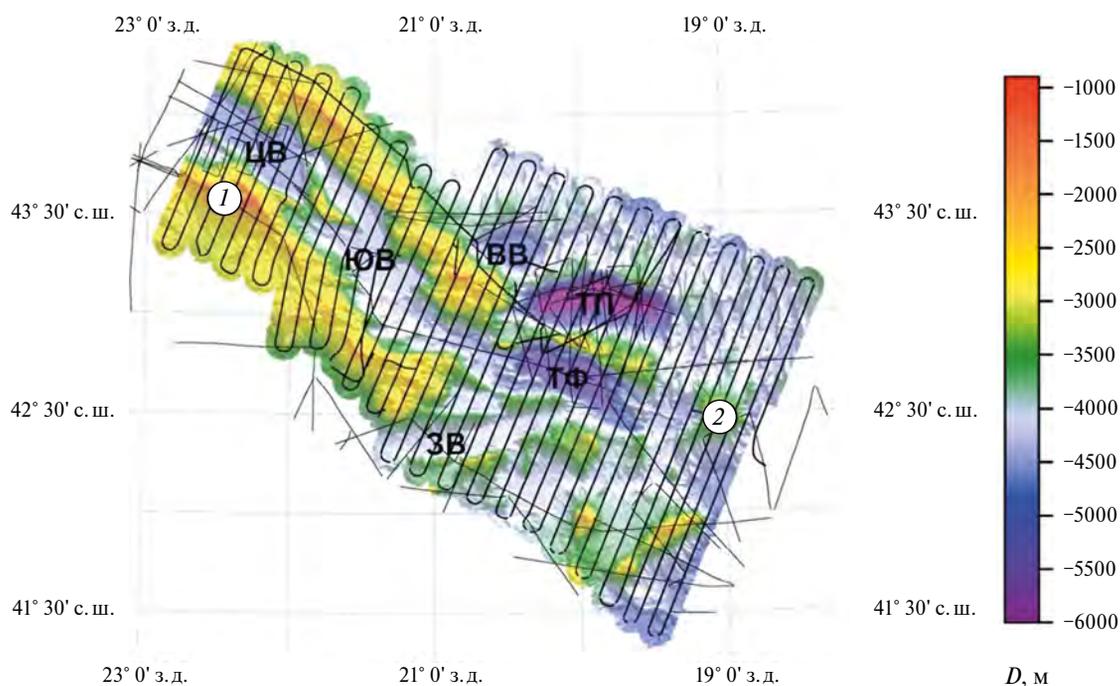


Рис. 2. Батиметрическая карта на полигоне “Трог Кинг” (глубина D , м) и маршрут НИС “Академик Николай Страхов” в 55-м рейсе (черные линии). Тонкими черными линиями показаны положения архивных измерений магнитного поля. Основные структурные элементы: ЦВ – центральная впадина, ЮВ – южная впадина, ВВ – восточная впадина, ЗВ – западная возвышенность, ТП – трог Пик, ТФ – трог Фрин, 1 – гора Антиальтаир, 2 – гора Григория Зимы [26].

магнитометр G822 (Geometrics). Длина забортовой части буксировочного кабеля составляла 250 м от кормы судна. Магнитная съемка выполнялась по системе параллельных галсов (профилей) вкрест простирания изучаемых структур с межпрофильным расстоянием 5 миль на скорости 10 узлов (см. рис. 2).

Для построения карт аномального магнитного поля, помимо данных, полученных в рейсе, были привлечены дополнительные архивные данные [22] и данные из отчета 33-го рейса НИС “Discovery” [13] (см. рис. 2, табл. 1).

Таблица 1. Источники геомагнитных данных

Источник	Полигон “Трог Кинг”	Качество данных
55-й рейс НИС “Академик Николай Страхов”	7525 км	Хорошее
Архив NGDC	6724 км	Среднее, плохое
33-й рейс НИС “Discovery”	830 км	Среднее

На обзорной карте полигона (см. рис. 2) хорошо видно, что данные, полученные в 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” по сети регулярных галсов, внесли существенный вклад в геомагнитную изученность трога Кинг (см. табл. 1), что позволяет решать широкий класс структурных геологических задач.

АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЛИНЕЙНЫЕ АНОМАЛИИ

По результатам обработки геомагнитных данных были составлены сводная карта графиков аномального магнитного поля (рис. 3) и карта аномального магнитного поля на основе скомпиллированного грида (рис. 4). На карту вынесены известные [24] и выделенные по новым данным линейные аномалии. Среднеквадратичная ошибка съемки, оцененная по 704 точкам пересечения, составила 2.7 нТл, а максимальная невязка – всего 5.3 нТл, что является очень хорошим результатом для открытых океанских акваторий.

Основные структурные элементы см. на рис. 4. Римскими цифрами обозначены морфоструктурные провинции: I – фланговых структур САХ;

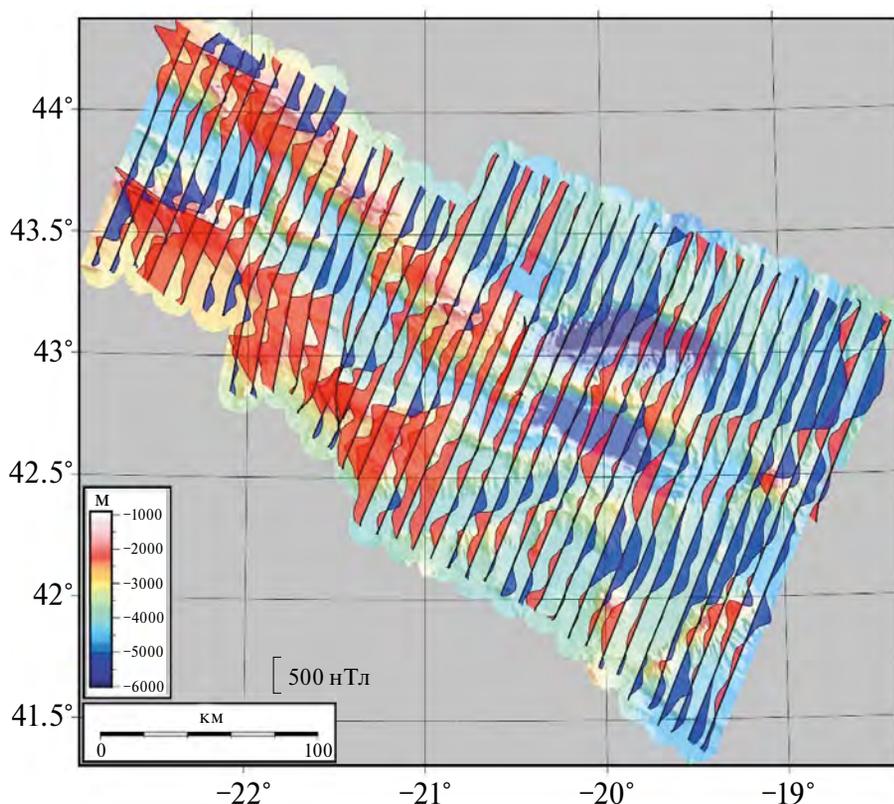


Рис. 3. Карта графиков аномального магнитного поля, T_a , нТл, наложенная на батиметрическую карту (глубина в метрах) [26].

II – юго-восточная; III – центрального сегмента Азоро-Бискайского поднятия; IV – юго-восточных впадин; V – юго-восточного окончания трога Кинг; VI – центральной части трога Кинг [26].

Магнитные аномалии на полигоне трог Кинг крайне неоднородны по амплитуде и простиранию. Они представлены двумя типами аномалий: 1) интенсивными (до 1200 нТл) изолированными знакопеременными аномалиями, приуроченными к отдельным хребтам и подводным горам; 2) линейными среднеамплитудными (до 400 нТл) аномалиями обеих знаков (см. рис. 3 и 4).

Три впадины трога Кинг (ЦВ, ЮВ и ЗВ на рис. 4) характеризуются отрицательными значениями аномального магнитного поля, тогда как более глубокие восточная впадина трога Кинг и трог Фрин и Пит (ВВ, ТФ и ТП на рис. 2 и 4) характеризуются знакопеременными аномалиями. Наиболее интенсивные положительные аномалии приурочены к северо-восточному борту Центральной впадины трога Кинг, юго-западным бортам Центральной и Южной впадин трога Кинг (ЦВ, ЮВ на рис. 2 и 4), где расположена гора Антиальтаир (1 на рис. 2 и 4). При этом ос-

новная часть интенсивных аномалий магнитного поля располагается в центральной части трога Кинг и юго-восточных впадин (морфоструктурные провинции VI и IV на рис. 4).

Характер и простирание аномалий магнитного поля в его юго-восточной части полигона меняется (морфоструктурные провинции II и IV), в частности уменьшается амплитуда аномалий. На юго-восточном краю полигона в центральном сегменте Азоро-Бискайской возвышенности (морфоструктурная провинция III) выделяется несколько подводных гор, в том числе подводная гора Георгия Зимы (2 на рис. 2 и 4), которым соответствуют отчетливые характерные дипольные аномалии средней интенсивности.

Ранее на бортах трогов Кинг, Фрин и Пик были выделены линейные аномалии 21, 24 и 25 [24], которые имеют возраст 45.4, 53.3 и 56.6 млн лет соответственно. Линейные магнитные аномалии характеризуют океанскую литосферу, сформированную в процессе спрединга, и дают возможность оценки ее возраста. К юго-востоку от полигона были выделены линейные аномалии 31 и 33 (см. рис. 4).

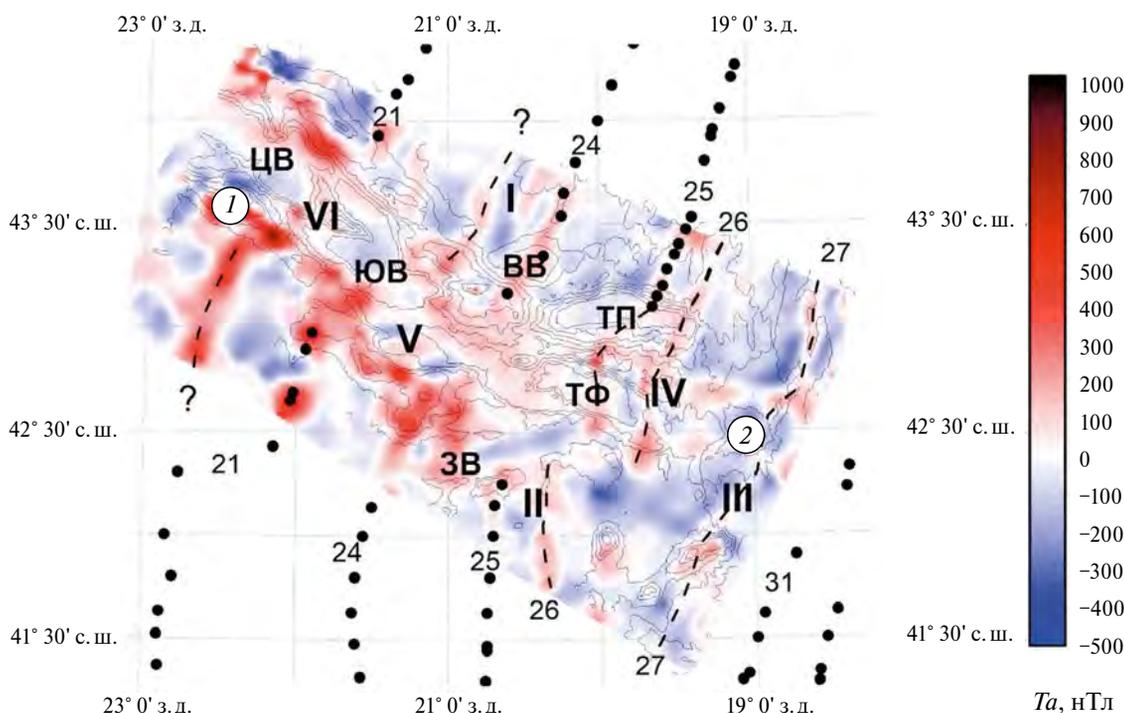


Рис. 4. Аномальное магнитное поле T_a , нТл, и линейные магнитные аномалии на полигоне “Трог Кинг”. Черные кружки – данные из каталога [24], пунктирные линии – линейные аномалии, выделенные по данным рейса (см. также текст). Цифры – номера магнитных аномалий. Показаны изолинии глубины для выделения основных структур. Основные структурные элементы см. на рис. 2. Римскими цифрами обозначены морфоструктурные провинции: I – фланговых структур САХ; II – юго-восточная; III – центрального сегмента Азоро-Бискайского поднятия; IV – юго-восточных впадин; V – юго-восточного окончания “Трога Кинг”; VI – центральной части трога Кинг [26].

На основе новых данных, полученных в рейсе, удалось проследить ряд линейных аномалий в дополнение к уже известным. Часть выделенных линейных аномалий с ними совпадает, тогда как другая часть прослеживается с некоторым сдвигом, и их идентификация затруднена (см. рис. 4). В юго-западной части полигона выделение линейных аномалий затруднено из-за отсутствия широтных галсов, а их идентификация не всегда возможна.

Линейные аномалии достаточно уверенно выделяются на бортах впадин и в юго-восточной части полигона. В Центральной, Южной и Западной впадинах трога Кинг (ЦВ, ЮВ, ЗВ на рис. 2 и 4) линейные аномалии отсутствуют. При этом линейные аномалии пересекают Восточную впадину трога Кинг, трог Пик и, возможно, трог Фрин (ВВ, ТП, ТФ на рис. 2 и 4), что свидетельствует о различиях в истории образования и строения этих частей полигона: морфоструктурных провинций центральной части трога Кинг и юго-восточных впадин (VI и IV на рис. 4).

Исходя из прослеженных по новым данным линейным аномалиям, можно предполагать смещение осей аномалий 25 на бортах цепочки трогов, достигающее 50 км (по данным Майлса и Кидда оно составляет 45 км [18]). Смещение по осям аномалии 24 несколько меньше — порядка 25 км и практически полностью отсутствует для аномалии 21, если принять общепринятую идентификацию аномалий для Северной Атлантики [24]. Следует отметить, что отсутствие достаточного объема геомагнитных данных на южном борту цепочки впадин, не позволяет уверенно утверждать о величине сдвига линейных аномалий. На юго-восточном краю полигона в морфоструктурной провинции центрального сегмента Азоро-Бискайского поднятия (III на рис. 4) выделена 27 аномалия, протягивающаяся через весь полигон, осложненная в середине подводной горой Георгия Зимы (2 на рис. 4).

ПРИРОДА МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

Основные аномалии магнитного поля, приуроченные к вулканическим хребтам, ограничивающим впадины трога Кинг, отчетливо коррелируют с положительными формами рельефа и настолько интенсивны, что вулканическая природа их источников не вызывает сомнения (см. рис. 3 и 4). Для глубоких впадин характерны узкие отрицательные аномалии, практически полностью совпадающие в плане с их положением

(см. рис. 3 и 4), что свидетельствует об образовании хребтов и впадин в различные геомагнитные эпохи.

Наблюдаемое ослабление намагниченности океанической коры и отсутствие линейных аномалий в Центральной, Южной и Западной впадинах трога Кинг (ЦВ, ЮВ и ЗВ на рис. 4), возможно, связано с тектонической активизацией и/или гидротермальной переработкой пород, слагающих магнитоактивный слой. Ранее похожая ситуация отмечалась нами в северной глубинной части разлома Чарли-Гиббс [25].

Важной характеристикой магнитных аномалий является глубина магнитных источников. Для оценки были применены хорошо известный спектральный метод, например [28]. Следует отметить, что для этого метода характерна неоднозначность, связанная с неучтенными представлениями о характере источников аномалий (формы, размеры) и, соответственно, положения их центров (верхних и/или нижних кромок). Кроме того, полученные оценки являются усредненными для всего полигона. По результатам спектрального анализа было установлено наличие двух горизонтов, к которым приурочены источники аномалий (рис. 5).

Первый горизонт имеет мощность около 4 км, а его верхняя кромка залегает на глубине примерно равной средней глубине на полигоне. Он соответствует, по всей видимости, базальтам, слагающим вулканические постройки, а также слою 2 океанской коры. Именно они являются основными источниками магнитных аномалий.

Второй слой мощностью около 15 км частично перекрывает низы первого и залегает в диапазоне глубин от 7 до 22 км (от 2 до 17 км ниже средней глубины дна на полигоне). Столь большая глубина залегания этого слоя свидетельствует о том, что его природа может быть связана с интрузиями габброидов или процессами серпентинизации перидотитов. Природа столь глубоких источников магнитных аномалий до сих остается дискуссионной.

Эффективным инструментом для анализа природы магнитных аномалий и качественной оценки их глубинности являются трансформации поля. Так, аномалии магнитуды магнитного поля ближе к истинному горизонтальному положению магнитного источника и их легче интерпретировать, чем само измеренное аномальное магнитное поле. Хотя традиционные магнитные преобразования приведения к полюсу, псевдо-

гравитационное поле и аналитический сигнал также обладают этими свойствами, магнитуа магнитного поля имеет несколько дополнительных преимуществ: для ее расчета необходимо только разложение ΔTa на ΔXa , ΔYa , ΔZa , которое не требует знания направления намагниченности источников и не зависит от него [10, 11]. Аналитическое продолжение вверх является устойчивым и позволяет подавить высокочастотные помехи, т. е. подчеркнуть вклад глубинных источников и выделить участки, на которых они присутствуют. На рис. 6 приведены результаты расчета магнитуды аномального магнитного поля на уровне моря и на высоте 15 км. Высота пересчета 15 км выбрана не случайно — как следует из рис. 5, спектр АМП на уровне моря представлен ломаной, состоящей из двух прямолинейных участков, соответствующих двум разноглубинным ансамблям источников. При последовательном пересчете поля вверх с шагом 1 км нами установлено, что начиная с высоты пересчета 14–15 км в спектре поля остается только один прямолинейный сегмент от глубинных источников.

Как на уровне моря, так и на уровне 15 км в распределении магнитуды аномального магнитного поля выделяются те же аномалии, что в аномальном магнитном поле, но положение их максимумов не смещено и полностью совпадает с батиметрией вулканических хребтов. На рис. 6б отчетливо выделяются несколько глубинных аномалий. Аномалия *A* расположена на северо-восточном борту Центрального бассейна трогоа Кинг. На юго-западном борту Центрального и Южного бассейнов трогоа Кинг и дальше на юго-восток выделяются три наиболее интенсивных аномалии B_1 , B_2 и B_3 , которые формируют вытянутую зону юго-восточного простираения. Аномальные зоны B_1 и B_2 имеют также продолжения в перпендикулярном юго-западном направлении. Все эти аномалии расположены в двух морфоструктурных провинциях центральной части трогоа Кинг и его юго-восточного окончания (V и VI на рис. 6б), которые, по геомагнитным данным, имеют близкое строение. Именно в этих двух ранее выделенных морфоструктурных провинциях [26] расположены наиболее интенсивные аномалии, а также основные глубинные аномалии. Обращает на себя внимание отсутствие глубинных аномалий в морфоструктурном сегменте юго-восточных впадин (IV на рис. 6б). Также отсутствуют глубинные аномалии во всех впадинах трогоа Кинг, а также трогоах Фрин и Пик.

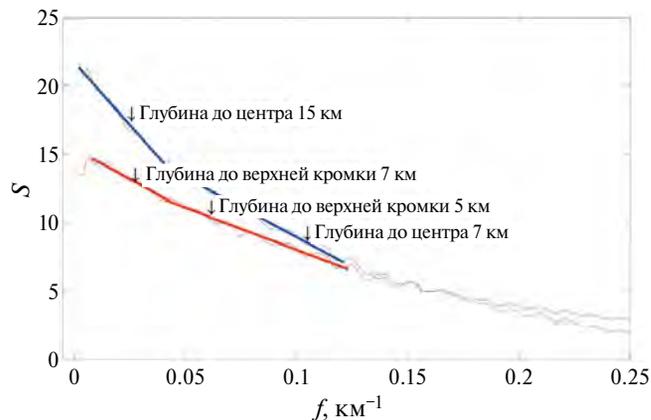


Рис. 5. Оценка глубин от поверхности океана до источников магнитных аномалий на полигоне по радиально осредненному спектру аномалий (красная линия) и по радиально осредненному и нормированному на частоту спектру аномалий (синяя линия). S — спектр мощности магнитных аномалий, f — пространственная частота.

Менее интенсивные аномальные зоны C_1 и C_2 расположены в юго-восточной части полигона. На рис. 6б видно, что они формируют дугообразную структуру, ограничивающую с юго-востока трогоа Фрин и Пик, которые характеризуются слабо аномальным магнитным полем. Эти аномалии расположены в различных морфоструктурных провинциях и, по нашему мнению, приурочены к шовной зоне между трогом Кинг и Азоро-Бискайским поднятием.

Также был рассчитан горизонтальный градиент аномального магнитного поля на уровне океана и на высоте 15 км. Горизонтальный градиент подчеркивает границы источников: такое представление результатов дополняет рассмотренное выше распределение магнитуды магнитного поля. Результаты расчетов горизонтального магнитного поля на уровне океана приведены на рис. 7а, а на высоте 15 км — на рис. 7б. На карте горизонтального градиента на уровне моря выделяются как границы источников линейных аномалий на флангах трогоа Кинг и в центральном сегменте Азоро-Бискайского поднятия (морфоструктурные провинции I и II), так и границы интенсивных аномалий на бортах впадин в морфоструктурных провинциях V и VI. Градиент аномального магнитного поля, пересчитанный на высоту 15 км (рис. 7б), оконтуривает выделенные ранее по пересчитанной на высоту 15 км магнитуде магнитного поля глубинные аномалии *A*, *B* и *C*, тогда как линейные аномалии при пересчете в верхнее полупространство затухают.

На всех трансформациях уверенно выделяется основной глубинный источник аномального магнитного поля в исследуемой области – подводная гора Антиальтаир и прилегающая часть юго-восточного борта трогов Кинг и Фрин (аномалии B_1 , B_2 и B_3). Северо-восточный борт пред-

ставлен одной менее интенсивной глубинной аномалией на противоположном от подводной горы Антиальтаир борту трогов Нижний Кинг (аномалия A).

Для центральной части полигона: Восточный бассейн трогов Кинг, трогов Фрин и Пик и при-

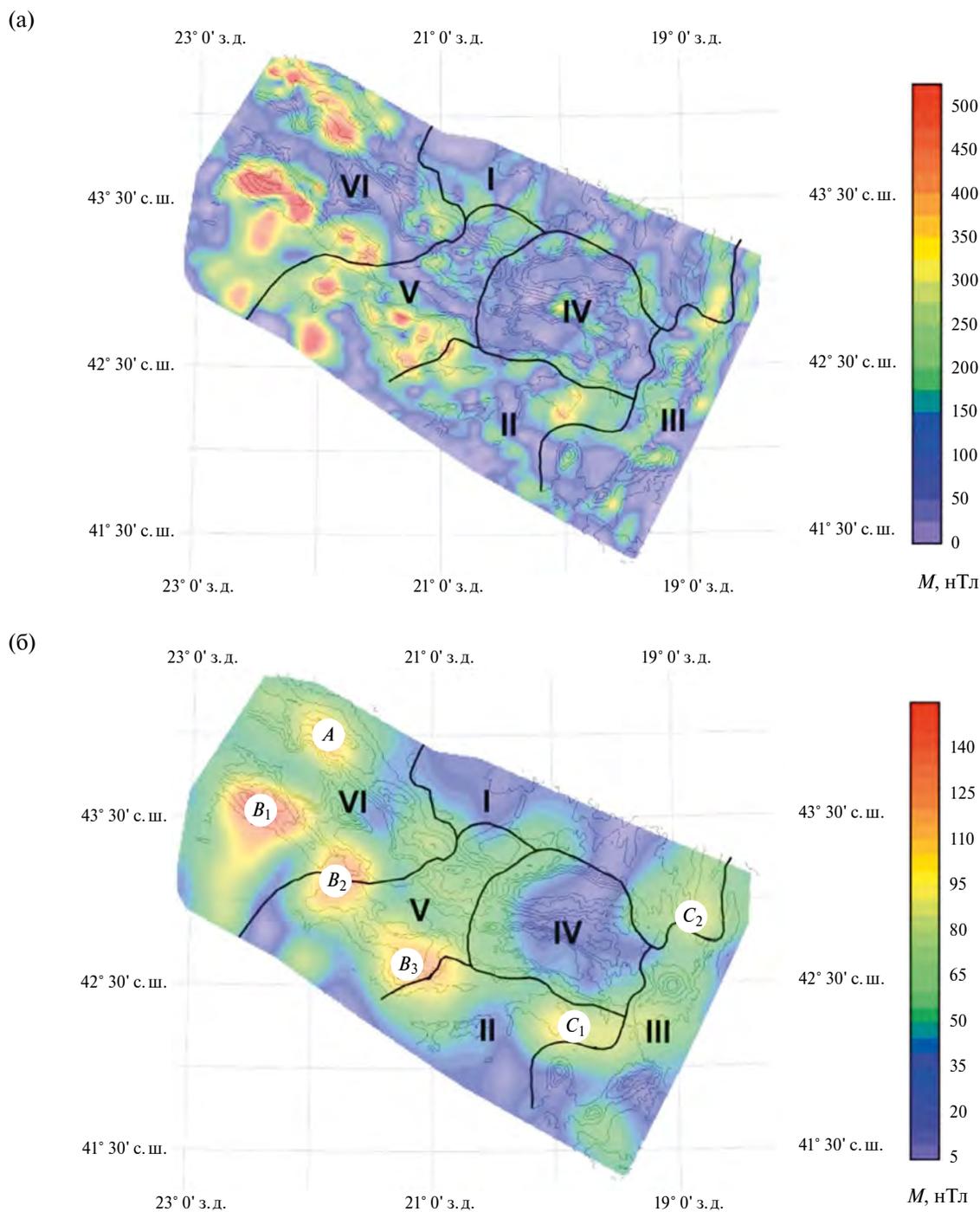


Рис. 6. Магнитуда аномального магнитного поля M , нТл, на уровне моря (а) и на высоте 15 км (б). Показаны изолинии глубины дна для выделения основных структур. Условные обозначения: A , B и C – выделенные глубинные аномалии (см. текст). Римскими цифрами обозначены морфоструктурные провинции (см. рис. 4), черные линии – границы между провинциями [26].

мыкающие к ним хребты, характерно отсутствие выраженных глубинных аномалий магнитного поля. Можно предположить, что в этой части полигона более молодые наложенные вулканические процессы были менее интенсивными или вовсе отсутствовали, поскольку сохранились ли-

нейные аномалии (см. рис. 4), образовавшиеся вместе с литосферой.

Представляет интерес отчетливо выделяющаяся дугообразная глубинная аномальная зона, объединяющая две аномалии C_1 и C_2 (см. рис. 7б, 8б) и имеющая простирание, отличное от остальных

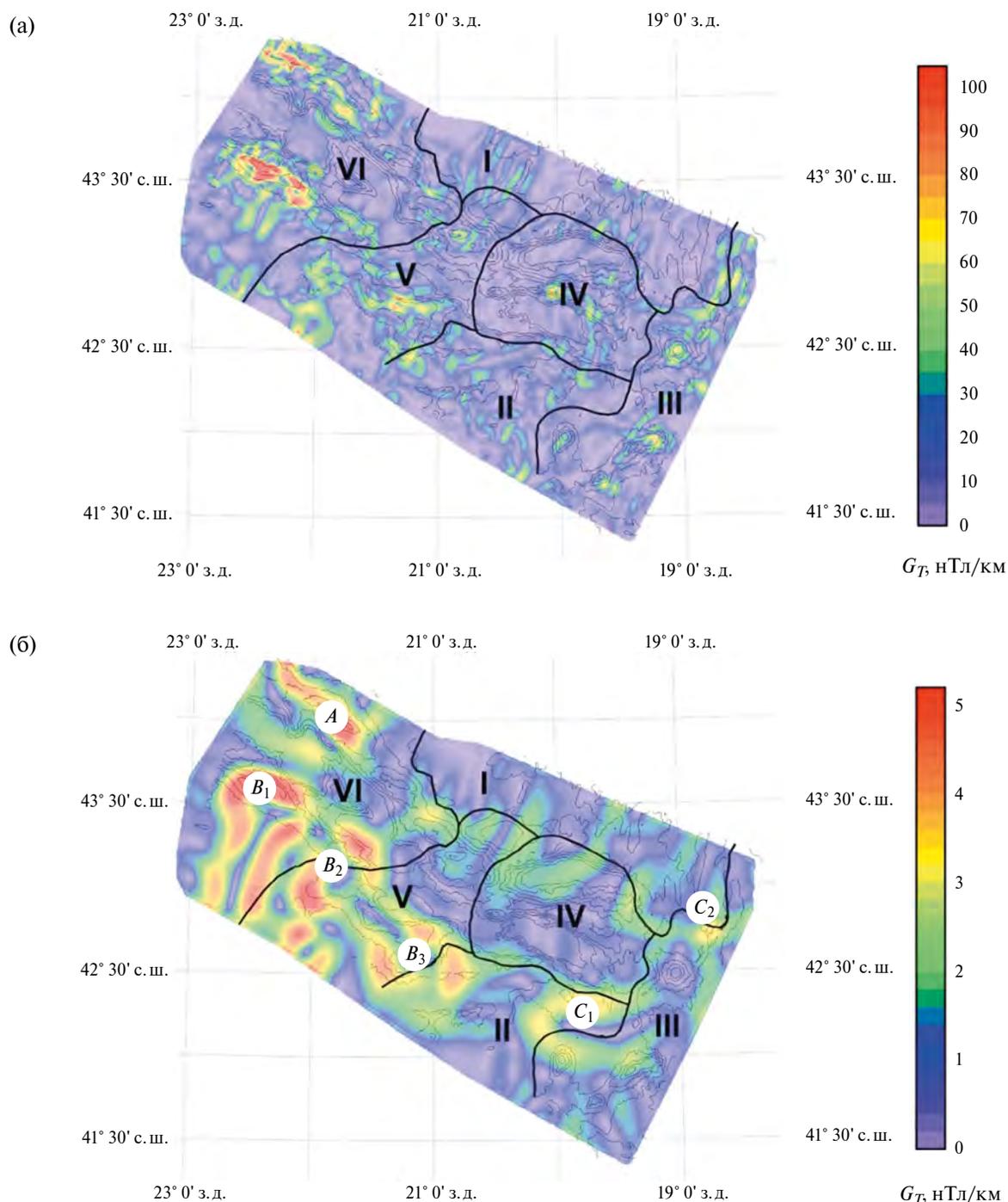


Рис. 7. Горизонтальный градиент аномального магнитного поля G_T , нТл/км, на уровне моря (а) и на высоте 15 км (б). Показаны изолинии глубины дна для выделения основных структур. Условные обозначения: A , B и C – выделенные глубинные аномалии. Римскими цифрами обозначены морфоструктурные провинции (см. рис. 4), черные линии – границы между провинциями [26].

глубинных аномалий, что может свидетельствовать об особенностях ее формирования. По всей видимости, эта аномалия ограничивает структурный кластер трога Кинг от расположенного юго-восточнее Азоро-Бискайского поднятия. В середине этой аномальной зоны расположена подводная гора Георгия Зимы, которой соответ-

ствует отчетливая дипольная аномалия средней интенсивности, свидетельствующая о ее вулканическом происхождении.

Представляется полезным сравнить аномалии магнитного поля и их трансформанты с аномалиями в редукции Буге, полученными по спутниковым данным [7] и остаточными гравитационны-

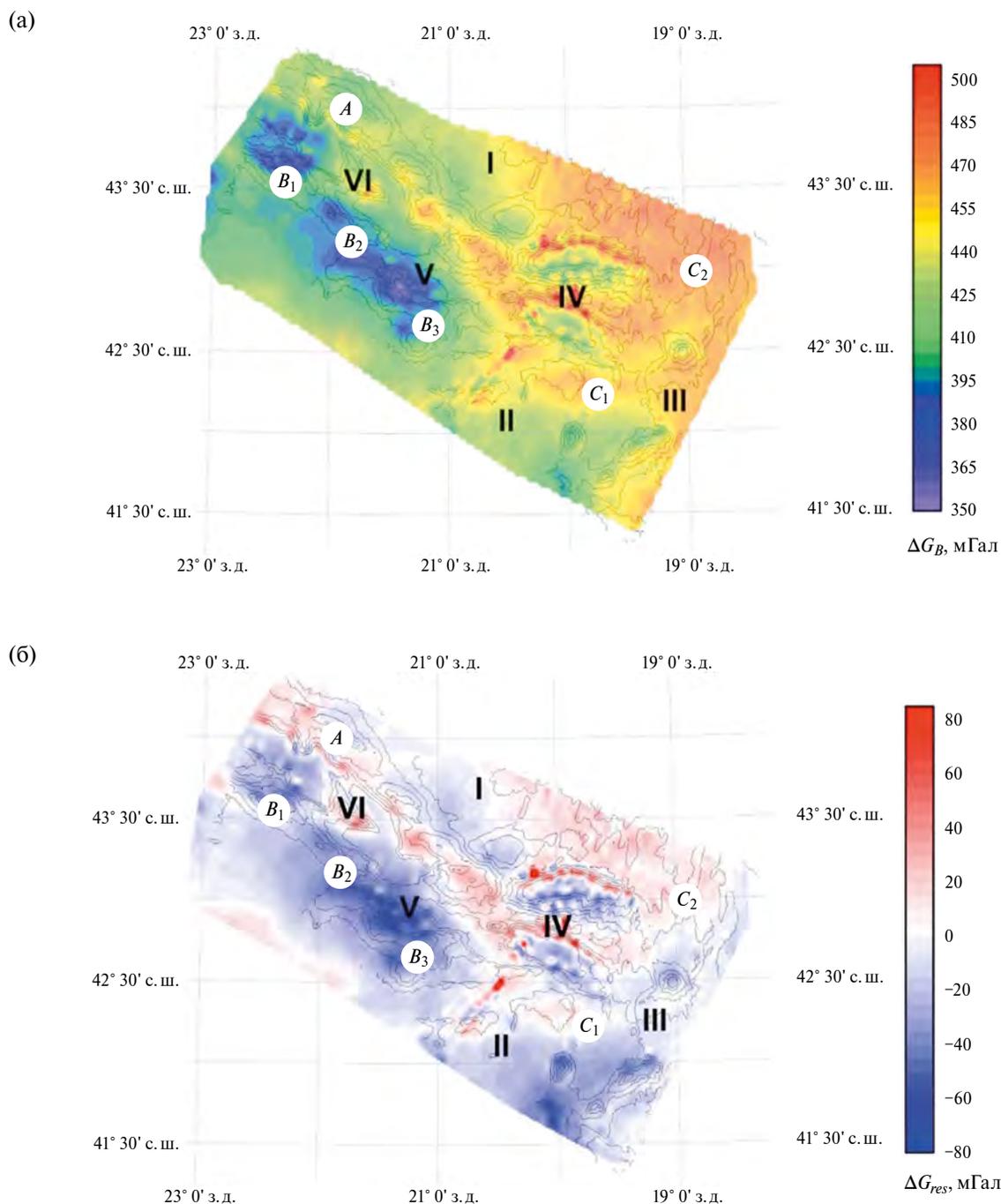


Рис. 8. Аномалии силы тяжести в редукции Буге, ΔG_B , мГал (а), и остаточные аномалии силы тяжести ΔG_{res} , мГал (б). Показаны изолинии глубины дна для выделения основных структур. Условные обозначения: *A*, *B* и *C* – выделенные глубинные аномалии магнитного поля. Римскими цифрами обозначены морфоструктурные провинции (см. рис. 4) [26].

ми аномалиями (рис. 8). Остаточные аномалии были получены из аномалий Буге вычитанием билинейного тренда, вычисленного в пределах полигона. Такое представление гравитационных аномалий позволяет подчеркнуть локальные аномалии на фоне регионального тренда.

Как видно на рис. 8а, в пределах полигона имеется региональное возрастание аномалии силы тяжести в редукции Буге с запада на восток, а также ряд локальных аномалий. Для понимания строения трогов Кинг наибольший интерес представляют локальные аномалии, которые отчетливо прослеживаются на карте остаточных аномалий (рис. 8б). Наиболее интенсивные отрицательные аномалии, свидетельствующие о разуплотнении пород, в целом совпадают с юго-западным бортом впадин трогов Кинг, приблизительно соответствуя выделенным в магнитном поле глубинным аномалиям B_1 , B_2 и B_3 . В отличие от положительных аномалий магнитного поля отрицательные гравитационные аномалии захватывают не только хребет с горой Альтаир, но сами впадины трогов Кинг. Амплитуда отрицательных остаточных аномалий достигает 60–80 мГал. Менее интенсивная положительная остаточная гравитационная аномалия характеризует хребет, ограничивающий впадины трогов Кинг с северо-востока. Амплитуда этих положительных остаточных аномалий достигает 30–40 мГал. Слабо отрицательными остаточными аномалиями характеризуются также трогов Фрин и Пик, а ограничивающие их хребты – слабо положительными. Глубинные магнитные аномалии A , C_1 и C_2 отражения в гравитационных аномалиях не имеют. По всей видимости, за исключением юго-западного хребта, ограничивающего впадины трогов Кинг, природа, а возможно, и глубина источников магнитных и гравитационных аномалий различна.

Частичное совпадение наиболее интенсивных магнитных аномалий с наиболее интенсивными гравитационными аномалиями (B_1 , B_2 и B_3 на рис. 6б и 8б) позволяет предполагать вклад серпентинитов, которые имеют низкую плотность и могут иметь высокие значения остаточной намагниченности [1, 9, 20], однако других экспериментальных подтверждений этой гипотезы нет.

ВЫВОДЫ

1. В 55-м рейсе НИС “Академик Николай Страхов” были впервые проведены систематические измерения магнитного поля юго-восточной части структурного кластера Трог Кинг на поли-

гоне по системе субмеридиональных профилей. Получены новые данные о структуре аномального магнитного поля.

2. Построена карта аномального магнитного поля и выделены линейные геохронологические аномалии в дополнение к уже известным, однако недостаточный объем геомагнитных данных на юго-западном борту трогов Кинг не позволяет уверенно ответить на вопрос о наличии палеоразлома сдвигового типа.

3. Выявлены интенсивные магнитные аномалии вулканической природы на хребтах, ограничивающих Центральный и Южный бассейны трогов Кинг, в центральной и юго-восточной части полигона интенсивность аномалий уменьшается.

4. Изменение характера и простираения магнитных аномалий в пределах полигона подтверждают отличия в происхождении и строении трогов Кинг, трогов Фрин и Пик и центрального сегмента Азоро-Бискайской возвышенности, а также могут свидетельствовать об уменьшении интенсивности наложенных вулканических процессов в направлении с северо-запада на юго-восток.

5. Глубинные аномалии магнитного поля на юго-западном хребте частично коррелируют с понижением поля силы тяжести в редукции Буге, что может косвенно указывать на наличие серпентинитов в нижних слоях коры, однако прямых свидетельств этой гипотезы нет.

6. Результаты анализа аномального магнитного поля свидетельствуют о сложном двух- или многостадийном образовании геологических структур трогов Кинг.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках Государственного задания FMWE-2024-0019.

Благодарности. Авторы благодарят участников и организаторов 55-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” за помощь в проведении магнитометрических съемок.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Городницкий А.М., Шишкина Н.А.* Обобщенная петромагнитная модель океанской литосферы // Природа магнитных аномалий и строение океанической коры. М.: Изд-во ВНИРО, 1996. С. 243–252.
2. *Добрецов И.Л., Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. и др.* Разрез океанической коры трогов Кинг (Центральная Атлантика) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 8. С. 141–146.

3. Лисицын А.П., Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Харин Г.С. Магматические и метаморфические породы трога Кинг и хребта Палмер // *Океанология*. 1996. Т. 36. № 3. С. 431–443.
4. Пальшин Н.А. и др. Геомагнитные исследования в Северной Атлантике // *Океанология*. 2023. Т. 63. № 5. С. 796–812.
DOI: 10.31857/S0030157423050131, EDN: PWDМТО.
5. Силантьев С.А., Карпенко С.Ф., Беляцкий Б.В. Эволюция мантийного субстрата САХ, 14–16° с. ш. и 33°40' с. ш.: временные и вещественные ограничения процессов аккреции океанической литосферы по данным исследования Sm-Nd изотопной системы // *Российский журнал наук о Земле*. 2000. Т. 2. № 3. RJE00042.
6. Чернышева Е.А., Кузьмин М.И., Харин Г.С., Медведев А.Я. Вариации состава спрединговых базальтов трога Кинг (Центральная Атлантика) и их возможные причины // *Докл. РАН*. 2013. Т. 448. № 4. С. 446–451.
DOI: 10.7868/S0869565213040191.
7. Bonvalot S., Briais A., Kuhn M. et al. World Gravity Map WGM2012. Bureau Gravimétrique International. 2012.
<https://doi.org/10.18168/bgi.23>
8. Cann J.R. Petrology of basement rocks from Palmer Ridge, NE Atlantic // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1971. V. 268. P. 605–617.
<https://doi.org/10.1098/rsta.1971.0015>
9. Gee J.S., Kent D.V. Source of oceanic magnetic anomalies and the geomagnetic polarity reversals // *Treatise on Geophysics, Geomagnetism* / M. Kono (Ed.). Amsterdam: Elsevier, 2007. V. 5. P. 455–508.
10. Gerovska D., Stavrev P. Magnetic data analysis at low latitudes using magnitude transforms // *Geophysical Prospecting*. 2006. V. 54. P. 89–98.
11. Gerovska D., Araújo-Bravo M.J. Calculation of magnitude magnetic transforms with high centrality and low dependence on the magnetization vector direction // *Geophysics*. 2006. V. 71(5). P. I21–I30.
DOI: 10.1190/1.2335516.
12. Jones M.T. Bathymetric and magnetic traverses in the area of Rockall bank and King's Trough // R.R.S. "DISCOVERY", cruise 33, April–May 1970, National Institute of Oceanography. 1972. P. 1–21 (Unpublished Manuscript).
13. Jones M.T. Bathymetric and magnetic traverses across the North Atlantic // N.C. Marcel Bayard, Cantat II Ocean Survey Cruise, National Institute of Oceanography Data Report Geophysics. 1973. P. 2–24 (Unpublished Manuscript).
14. Kidd R.B., Searle R.C., Ramsay A.T.S. et al. The geology and formation of King's Trough, northeast Atlantic Ocean // *Marine Geology*. 1982. V. 48. Iss. 1–2. P. 1–30.
[https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90127-X](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90127-X)
15. Kidd R.B., Ramsay A.T.S. The geology and formation of the King's Trough complex in the light of deep sea drilling project site 608 drilling // *Init. Repts DSDP*. 1987. V. 94. P. 1245–1261.
16. Macchiavelli C., Vergés J., Schettino A. et al. A new southern North Atlantic Isochron map: Insights into the drift of the Iberian plate since the late Cretaceous // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2017. V. 122. P. 9603–9626.
<https://doi.org/10.1002/2017JB014769>
17. Origin and Geodynamic Evolution of King's Trough: the Grand Canyon of the North Atlantic. Research Vessel METEOR Cruise No. M168 / A. Dürkefalden, J. Geldmacher, F. Hauff, R. Werner (Eds.). Inst. Geol. Univ. Hamburg, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe, 2020. 139 p.
18. Miles P.R., Kidd R.B. Correlation of seafloor spreading magnetic anomalies across King's Trough, Northeast Atlantic Ocean // *Init. Repts. DSDP*. 1985. V. 94. P. 1149–1156.
19. Miles P.R., Kidd R.B. The geology and formation of the King's Trough complex in the light of deep sea drilling project site 608 drilling // *Init. Repts DSDP*. 1987. V. 94. P. 1245–1261.
20. Nazarova K.A. Serpentinized peridotites as a possible source for oceanic magnetic anomalies // *Mar. Geophys. Res.* 1994. V. 16. P. 455–462.
21. NOAA National Centers for Environmental Information, ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model, 2009.
<https://www.ncei.noaa.gov/products/etopo-global-relief-model>
22. NOAA National Geophysical Data Center (NGDC). <https://www.ncei.noaa.gov/maps/trackline-geophysics/>
23. Searle R.C., Whitmarsh R.B. The structure of King's Trough, Northeast Atlantic, from bathymetric, seismic and gravity studies // *Geophysical Journal International*. 1978. V. 53(2). P. 259–287.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1978.tb03742.x>
24. Seton M., Whittaker J., Wessel P. et al. Community infrastructure and repository for marine magnetic identifications // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2014. V. 5(4). P. 1629–1641.
DOI: 10.1002/2013GC005176.
25. Skolotnev S.G., Sanfilippo A., Peyve A.A. et al. Seafloor spreading and tectonics at the Charlie Gibbs transform system (52–53°N, Mid Atlantic Ridge): Preliminary results from RV A.N. Strakhov expedition S50 // *Ofioliti*. 2021. V. 46(1). P. 83–101.
DOI: 10.4454/ofioliti.v46i1.539.
26. Skolotnev S.G., Peyve A.A., Dobrolyubova K.O. et al. Structure of the Ocean Floor in the Junction Area of King's Trough and the Azores–Biscay Rise (North Atlantic) // *Dokl. Earth Sc.* 2024. V. 516. P. 913–919.
<https://doi.org/10.1134/S1028334X24601275>
27. Srivastava S.P., Roest W.R. King's Trough: reactivated pseudo-fault of a propagating rift // *Geophys. J. Int.* 1992. № 108. P. 143–150.

28. *Tanaka A., Okubo Y., Matsubayashi O.* Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia // *Tectonophysics*. 1999. V. 306. P. 461–470.
29. *Whitmarsh R.B., Ginzburg A., Searle R.C.* The structure and origin of the Azores–Biscay Rise, North-east Atlantic Ocean // *Geophysical Journal International*. 1982. V. 70(1). P. 79–107.

MAGNETIC ANOMALIES OF THE SOUTHEASTERN PART OF THE KING TROUGH, NORTHEASTERN ATLANTIC

A. N. Ivanenko, A. M. Gorodnitskiy, N. A. Palshin*,

I. A. Veklich, V. L. Lyubinetskiy

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

**e-mail: palshin@ocean.ru*

The results of geomagnetic studies of the southeastern part of the King Trough and the central segment of the Azores-Biscay Rise, carried out in the Northeast Atlantic in 2023 on the 55th cruise of the RV “*Akademik Nikolai Strakhov*” are presented. These are the first systematic measurements of the magnetic field, which made it possible to construct a map of the magnetic anomaly of the study area. Intense magnetic anomalies were identified on the ridges bounding the King Trough, as well as linear anomalies on its flanks and in the southeastern part of the study area in the central segment of the Azores-Biscay rise. Spectral analysis and transformations of the magnetic anomaly indicate the existence of deep anomalies within the polygon. The intense deep anomalies are of volcanic origin and were formed in a different geomagnetic epoch than the deep parts and flanks of the King Trough. The results confirm the hypothesis of a complex two- or multi-stage formation of geological structures at the King Trough, with the exception of its southeastern part, which belongs to the Azores-Biscay Rise.

Keywords: magnetic anomaly, northeastern Atlantic, King Trough, Azores-Biscay Rise, source of magnetic anomalies