——— ГЕОЛОГИЯ ——

УДК 551.242

СТРОЕНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА В РАЙОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ТРОГА КИНГ И ПЛАТО ГНИЦЕВИЧА (СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА)

© 2025 г. С. Г. Сколотнев^{1,*}, А. А. Пейве¹, С. Ю. Соколов¹, К. О. Добролюбова¹, И. А Веклич², А. Н. Иваненко², В. А. Боголюбский¹, Н. П. Чамов¹, В. Н. Добролюбов¹, А. П. Денисова¹, И. С. Патина¹, В. Л. Любинецкий², А. А. Ткачева¹, Д. М. Илюхина², В. В. Фомина¹

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 24.10.2024 г.

Поступило 24.10.2024 г. После доработки 02.11.2024 г. Принято к публикации 05.11.2024 г.

В работе, основанной на материалах, полученных в 57-м рейсе НИС "Академик Николай Страхов", рассматривается строение северо-западной части трога Кинг и плато Гницевича, образующих мезоструктурный кластер, расположенный на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта в Северной Атлантике. Проведены батиметрическая и гидромагнитная съёмки, сейсмоакустическое профилирование и опробование дна методом драгирования. Установлено, что эта часть трога состоит из 6 разноглубинных впадин, субпараллельных и надстраивающих друг друга по простиранию, разделённых медианными хребтами и уступами. Фланги трога образованы вулканическими плоскогорьями, которые надстраиваются разноразмерными конусовидными вулканическими постройками. При этом южный и северный фланги комплементарны друг другу по глубинам и морфологии и образуют единое плато в районе северо-западного замыкания трога. Вокруг трога Кинг сформировался ареал вулканических построек разных размеров и морфологии: конусовидные сооружения, кальдеры, плато Гницевича, включающее несколько гор на общем основании. Установлено, что аномальное магнитное поле исследованной области, как и в юго-восточной части трога Кинг, представляет собой суперпозицию линейных и изометричных аномалий. Последние связаны с крупными вулканическими горами. Линейные аномалии Сбп и моложе находятся северо-западнее трога Кинг и не прерываются, а линейные аномалии между хронами С6п и С13п обнаружены только на флангах трога, тогда как в районе впадин они отсутствуют. Поднятый каменный материал включает две основные ассоциации: спрединговую (непористые базальты, долериты, габброиды, милониты) и внутриплитную (пористые вулканиты, близкие к базальтам). Породы первой из них слагают борта впадин и медианные хребты, второй – плоскогорья и вулканические постройки. Совместно с теми и другими встречаются известняки, брекчии и Fe-Mn-корки. Проведённые сейсмоакустические исследования наряду с ранее установленными в верхней части осалочного чехла трога Кинг сейсмофациями выявили канальные дрифты, сформировавшиеся при отложении обломочного материала, переносимого придонными (контуритовыми) течениями. Сделан предварительный вывод о происхождении мезоструктурного кластера трог Кинг – плато Гницевича о том, что образованию трога Кинг предшествовало формирование сводового поднятия северо-западного простирания, которое стало ареной интенсивного внутриплитного вулканизма. Свод сформировался в результате подъёма океанической коры, образованной в осевой зоне САХ. Проседание приосевой части вулканического плоскогорья произошло в период между 33.2 и 18.75 млн лет назад в результате растяжения океанического дна в север-восток – юго-западном направлении вдоль двух субпараллельных трещин, разросшихся до внутритроговых впадин. Этот вулканизм также усиливал интенсивность магматизма в ближайших участках осевой части САХ вплоть до появления крупных вулканических построек, образовавших плато Гницевича.

Ключевые слова: Срединно-Атлантический хребет, трог Кинг, спрединг, вулканические сооружения, линейные магнитные аномалии, сейсмофации, канальный дрифт, звукорассеивающие объекты **DOI**: 10.31857/S2686739725020045, **EDN**: GDTKUP

¹Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова

В 2024 г. Геологическим институтом РАН был организован и проведён 57-й рейс НИС "Академик Николай Страхов" (АНС) в Северной Атлантике. Выполненный в ходе этого рейса комплекс геолого-геофизических исследований был

Российской Академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: sg_skol@mail.ru

продолжением работ, проведённых в 55-м рейсе АНС, направленных на получение новых данных о магматических, тектонических и гидротермальных процессах, а также геодинамических условиях формирования структур трога Кинг и его ближайшего окружения (мезоструктурный кластер Кинг), расположенных на восточном фланге Срединно-Атлантического хребта (САХ) в Северной Атлантике (рис. 1).

Причины научного интереса к трогу Кинг были рассмотрены в статье, посвящённой итогам 55-го рейса АНС [1]. Кратко их суть заключается в том, что трог Кинг северо-западного простирания, косо расположенный по отношению к структурам Срединно-Атлантического хребта (САХ), является уникальной мезоструктурой, сочетающей в едином ансамбле структуры, сформировавшиеся как в ходе тектонических, так и вулканических процессов. При этом трог находится в окружении других мезоструктур: Азоро-Бискайского поднятия и плато Гницевича. Его происхождение, несмотря на длительное изучение [2–9], остается дискуссионным. Существует два основных типа моделей образования трога Кинг. Согласно одному из них он сформировался на месте асейсмичного хребта, возникшего в результате подъёма плюма глубинной мантии, при проседании его осевой части [5].

Другие гипотезы связывают трог Кинг с древней межплитной границей сдвигового типа [10, 11].

С нашей точки зрения, понимание природы трога Кинг принципиально невозможно без построения батиметрической карты по данным многолучевого эхолотирования со 100%-ным покрытием и детального опробования, что и было выполнено в ходе двух рейсов.

В данной статье приводятся новые данные и первые результатах их обработки и интерпретации, касающиеся, главным образом, северо-западной части трога Кинг и плато Гницевича. Проведённые исследования внесут большой вклад в понимание природы внутриплитных тектонических и магматических процессов, протекающих на океаническом дне.



Рис. 1. Схема работ в районе северо-западного окончания трога Кинг. Линии красного цвета – галсы многолучевого эхолотирования, сейсмоакустического профилирования и гидромагнитной съемки. Составлена на основе карты GEBCO [12]. Кружки красного цвета – местоположение станций драгирования, рядом с ними номера станций (указанный номер соответствует следующему номеру в табл. 1: 01 – S5701, 02 – S5702 и т.д.)

Батиметрическая и гидромагнитная съёмка, а также сбор данных об осадочном чехле океанического дна во время рейса осуществлялись по системе параллельных и пересекающих галсов общей протяженностью 6746 км (см. рис. 1). Использовались глубоководный многолучевой эхолот SeaBat 7150, профилографы EdgeTech 3300 и Parasound DS Sub-Bottom profiler P-35, а также магнитометр SeaPOS2. Также производился сбор донного каменного материала методом драгирования (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЭХОЛОТИРОВАНИЯ

По результатам обработки данных эхолотирования, произведённой в программной среде TeledynePDS версия 4.4.8.16, построена батиметрическая карта масштаба 1 : 100 000 площадью 39 065 км². На основе анализа этой карты в пределах изученного полигона (рис. 2) было выделено пять морфоструктурных провинций. Две из них представляют непосредственно трог Кинг и сопряжённые с ним структуры. Это провинции: центральной части трога Кинг и северо-западного окончания трога Кинг. Три других характеризуют морфологию структур, обрамляющих трог Кинг: фланговых структур САХ, плато Гницевича и южного вулканического массива.

Провиниия иентральной части трога Кинг располагается в осевой части полигона. Юго-восточная часть этой провинции была изучена в 55 – м рейсе АНС и описана в статье [1]. Аналогичное строение имеет и северо-западная часть этой провинции, закартированная в 57 м рейсе АНС. Здесь также наблюдается ряд впадин в самом троге и вулканические структуры на его флангах. На данном участке провинции имеется 6 впадин, объединённых в 3 звена, вытянутых и сменяющих друг друга в северо-западном направлении. В каждом звене находится по две субпараллельные впадины, при этом более северные из них имеют большие ширину и глубину. В самом юго-восточном звене впадина, расположенная севернее (условно Средний Кинг) (см. рис. 2, т. 1 (здесь и далее число после т. соответствует числу, поставленному на батиметрической карте (рис. 2)) вытянута по азимуту 123°, её ширина около 20 км при длине в пределах полигона 59 км. Средние глубины выровненного днища составляют 4550-4560 м. Параллельно ей южнее протягивается на 90 км более узкая впадина (условно Малый Кинг) (см. рис. 2, т. 2). Её максимальная ширина в центральной части составляет 18 км. В плане впадина имеет

веретеновидную форму, сужаясь к окраинным частям. В этих направлениях уменьшается и её глубина от 4450 м до 3750 м. В более северо-западном звене северная впадина (условно Верхний Кинг) (см. рис. 2, т. 3) при средней ширине 15-17 км и длине 85 км сужается к западному краю до 8 км, её глубина ступенчато уменьшается к западу от 4400 до 4100 м. Параллельная ей южная впадина (см. рис. 2, т. 4) протяжённостью около 50 км и шириной 10-12 км морфологически неотчётливо выражена и располагается на существенно более высоком уровне, её дно поднимается к северо-западу от 3500 м к 3000 м. В наиболее северо-западном звене более северная впадина (условно Венец Кинга) (см. рис. 2, т. 5) имеет ширину 6-7 км, её днище при средней глубине 3750 м на протяжении 48 км плавно поднимается вверх. Параллельная ей впадина (см. рис. 2, т. 6) имеет длину около 40 км, среднюю глубину 3500 м и ширину 5-6 км. В каждой паре параллельные впадины разделяются протяжёнными прерывистыми гребнями и гребневидными хребтами (медианный хребты) (см. рис. 2, т. 7) относительной высотой 100-1000 м и шириной 0.5-5 км.

Строение бортов описанных впадин на разных участках различное от пологих ступенчатых с крутизной 5–7° до крутых без ступенчатых – 30–35°. Их бровка достигает глубин 2800–3200 м. В основании склонов нередко развиты крупные оползни размером до 12 × 15 км.

Оба фланга трога Кинг на данном участке включают несколько сегментов протяжённостью 30–50 км, кулисообразно надстраивающих друг друга вдоль простирания трога. На каждом фланге сегменты расположены на общем основании с небольшой крутизной внешних склонов в среднем 2°, их внутренними склонами являются борта вышеописанных впадин. Видимые вершинные поверхности основания находится на глубинах 3150–3250 м.

Сами сегменты заметно варьируют по ширине, высоте и морфологии. Преобладают сегменты шириной 15–25 км с пологой холмистой поверхностью, приуроченной к глубинам 2900–2750 м, иногда до 2500 м. Их поверхности имеют небольшие уклоны 4–8° на внешних по отношению к трогу склонах. Из-за преобладания таких уплощённых сегментов фланговые части трога Кинг морфологически могут быть идентифицированы как плоскогорья. Плоские сегменты чередуются с сегментами, представленными узкими прямолинейными гребневидными



Рис. 2. Батиметрическая карта полигона и границы морфоструктурных провинций (красные линии). Цифрами указаны морфоструктуры, обсуждаемые в тесте под таким же номером

хребтами шириной 3-7 км с глубиной вершин на 3100-2900 м.

Плоскогорья осложнены большим количеством конических, куполовидных или вытянутых вдоль трога вулканических построек высотой 200-400 м и до 1-2 км в поперечнике. А на южном фланге непосредственно от горы Антиальтаир отходит хребет длиной около 60 км, венчающий плоскогорье. Над прилегающим плоскогорьем вершинная поверхность этого хребта воздымается на 400-500 м, достигая 1800-2100 м глубины. Противоположные склоны хребта в целом симметричны, с крутизной 12-15°. В свою очередь, над поверхностью этого хребта возвышается несколько вулканических построек высотой 240-415 м.

На поперечных сечениях хорошо видна комплементарность структур северного и южного флангов как по глубинам, так и по морфологическим признакам. Это характерно для фланговых плоскогорий и их оснований, что указывает на то, что ранее они составляли единое целое в виде протяжённого сводового поднятия северо-западного простирания, а затем, с раскрытием трога Кинг, были разделены на две противоположные фланговые части. Структуры, надстраивающие плоскогорья и находящиеся на плечах трога: конусовидные постройки, хребты, являющиеся отрогами крупных вулканов, не комплементарны, они имеют склоны близкие к симметричным, что позволяет, в том числе, предполагать, что они сформировались после раскрытия трога.

Провинция северо-западного окончания трога длиной около 40 км имеет в плане форму треугольника с острым северо-западным углом. Морфологически это плато с шириной в восточной

части около 20 км. Оно имеет мелкобугристый рельеф и средние глубины около 2400 м. К западу наблюдается плавное понижение до 2550 м. В его юго-восточной части располагается вулканическая постройка, глубина над которой достигает минимальных отметок 1180 м (см. рис. 2, т. 8). Она вытянута по простиранию трога (120°), по длинной оси её протяжённость составляет 16 км. а по короткой – 10 км.

В целом можно отметить следующие особенности строения трога Кинг в пределах данной провинции. В северо-западном направлении происходит уменьшение ширины и глубины впадин, а также общей ширины трога, включая его фланговые части. Это указывает на то, что амплитуда погружения, а, следовательно, и интенсивность тектонических движений возрастала в юго-восточном направлении. Фланговые плоскогорья на последних 40 км объединяются в единое плато, выклинивающееся в крайней северо-западной точке. Ширина этого плато примерно совпадает с суммарной шириной прибортовых плоскогорий трога Кинг, что позволяет, в том числе, предполагать, что проседание трога могло быть вызвано растяжением ранее сформированного сводового поднятия. Наличие системы параллельных впадин указывает на то, что в случае растяжения было как минимум две оси растяжения, и в таком случае гребневидные хребты, разделяющие параллельные впадины трога, являются остаточными, не погрузившимися фрагментами сводового поднятия.

Провинция фланговых частей САХ окружает структуры трога Кинг и его флангов. К северу и югу от трога Кинг наблюдается сглаженный рельеф. Гряды имеют ширину 3-6 км и высоту 150 м на юге и 200-250 м на севере, расстояние между ними 12-20 км. Средние глубины вершин гряд на юге 3100 м, на севере – 3000 м. К югу от трога гряды относительно прямолинейны, их простирание 30-32°, к северу они часто извилистые, при этом их простирание варьирует в широком диапазоне: 0-32°. Над некоторыми грядами видны наложенные вулканические постройки, возвышающиеся до 750 м над равниной. Наиболее крупная из них представлена горой Лукина-Лебедева (см. рис. 2, т. 9), расположенной к югу от трога Кинг, напротив соразмерной ей горе, сформировавшейся в провинции северо-западного окончания трога Кинг (см. рис. 2, т. 8). Гора Лукина-Лебедева располагается на основании шириной около 15 км и длиной около 30 км, вытянутом в направлении поперечном трогу Кинг, его края возвышаются над равниной

на 400-500 м. Форма горы конусовидная, её диаметр 13 км, высота 1500 м, вершина находится на глубине 1200 м.

На северо-западном продолжении трога Кинг в прелелах описываемой провиннии сформировался существенно более гористый рельеф. Здесь в большинстве случаев гряды располагаются группами и имеют общее основание. Расстояние между грядовыми структурами 9-17 км. Основания приподняты над межгрядовыми понижениями на 125-250 м. Ширина самих гряд около 1 км. а высота варьирует от 25 до 150 м, средний глубинный уровень вершин гряд 2800 м. Межгрядовые пространства не превышают нескольких сотен метров в ширину.

На некоторых возвышенных основаниях встречаются не только гряды, но и куполовидные структуры, по-видимому, вулканического происхождения. Они имеют изометричную или слабо вытянутую форму и зачастую приурочены к центральным частям возвышенностей основания. Диаметр куполов варьирует от 4-5 до 8 км, их высота от поверхности возвышенностей основания не превышает 300 м.

Непосредственно на продолжении трога Кинг грядовые структуры, наиболее протяжённые (50-75 км), и имеют линзовидную форму (см. рис. 2, т. 10). В центральной части этих структур ширина и высота (до 2600 м) наибольшие и уменьшаются к их дистальным частям. Эти признаки говорят о том, что на этом участке во время его формирования в осевой зоне спрединга имела место наиболее интенсивная магматическая аккреция коры, что, очевидно, вызвано влиянием трога Кинг на процессы, происходившие в осевой зоне спрединга. Как будет показано ниже в соответствии с данными об аномальном магнитном поле это влияние продолжалось, по крайней мере, около 3 млн лет в период между линейными магнитными аномалиями C5Cn.1n (у) (16 млн лет) и C6n (18.75 млн лет).

К северо-западу от трога Кинг простирание грядовых структур изменяется и составляет около 26°. Это говорит о том, что трог Кинг сформировался во время структурной перестройки САХ, когда заметно изменилось направление спрединга примерно на 6°. Данное событие и могло стать причиной растяжения литосферы, приведшего к образованию трога.

Провинция плато Гницевича располагается к юго-западу от оконечности трога Кинг и включает в себя три подводные горы: Большой, Средний и Малый Гницевичи (см. рис. 2). Группа гор

Гницевича располагается на общем основании диаметром около 40 км, края которого возвышаются над равниной на 400-500 м, располагаясь на глубинах 2600-2700 м. Форма гор близка к конусовидной, в то же время все они вытянуты в юго-западном направлении, перпендикулярном к простиранию трога Кинг. Диаметр и глубины вершин у разных гор различные: Большой Гницевич — 17 км и 700 м (в отдельных местах до 605 м), Средний Гницевич – 14 км и 1250 м, Малый Гницевич – 13 км и 1010 м соответственно. Вершины гор Большой Гницевич и Малый Гницевич слегка уплощённые, у горы Средний Гницевич (см. рис. 2, т. 11) она широкая и плоская, что характеризует её как гайот. Таким образом, группа гор Гницевича после окончания своей вулканической активности возвышались над уровнем моря, а при опускании в той или иной мере горы подверглись волновой абразии. Учитывая, что простирание вулканических структур в этой провинции близко к простиранию фланговых структур САХ и в ряде случаев их отроги переходят в рифтовые гряды, можно полагать, что горы Гницевича сформировались вблизи или в осевой зоне САХ при усилении магматической активности, вызванной влиянием на процессы аккреции коры со стороны трога Кинг.

Провинция южного вулканического массива располагается к юго-западу от горы Антиальтаир и примыкает к основанию флангового плоскогорья трога Кинг, она включает в себя два крупных подводных вулкана и несколько коротких хребтов разных размеров и простираний (см. рис. 2). В совокупности хребты образуют кольцевую структуру, возможно, кальдеру со средним диаметром около 35 км, осложнённую двумя более поздними крупными и множеством более мелких вулканических структур.

Кальдерообразующие структуры варьируют от мелких гряд (ширина до 1 км, высота до 50 м, глубина около 3100 м) до грядоподобных хребтов (ширина до 4 км, высота до 150 м, глубина около 2900 м) и массивных хребтов (ширина около 10 км, высота до 300 м, глубина около 2500 м). Последние развиты в районе крупных вулканов. Помимо них имеются другие хребты, выделяющиеся заметно большей высотой (ширина до 7 км, высота до 1200 м, глубина до 1800 м) (см. рис. 2, т. 12). Они также приурочены к границам кальдеры, но конкордантны им, поскольку всегда имеют северо-западное простирание, параллельное трогу Кинг. Крупные вулканические постройки (диаметр до 10 км, высота 1000-1300 м) (см. рис. 2, т. 13) располагаются

на границах кальдеры, субизометричны, но несколько вытянуты также в направлении, параллельном трогу Кинг. Они имеют широкую уплощённую вершинную часть на глубинах 1750–1800 м, что характеризует их как гайоты и вулканы, ранее выступавшие над уровнем моря.

Равнина (см. рис. 2, т. 14), ограниченная кальдерообразующими хребтами, располагается на 150 м ниже окружающего кальдеру дна (3150 м глубины) и там, где эти хребты отсутствуют, отделена от него уступами. Днище равнины является слабовогнутым с небольшим уклоном к окраинам.

Принимая во внимание наличие одинаковых геоморфологических уровней и схожесть простираний более поздних вулканических структур между южным флангом трога Кинг и провинцией южного вулканического массива и их пространственную близость, можно сделать вывод о том, что образование кальдеры синхронно с образованием фланговых плоскогорий трога Кинг, а крупные вулканические структуры сформировались одновременно с горой Антиальтаир и другими поздними вулканическими структурами фланговых частей трога Кинг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ГИДРОМАГНИТНОЙ СЪЁМКИ

По результатам обработки гидромагнитной съёмки в программной среде MATROS-IV были составлены сводная карта графиков аномального магнитного поля (АМП) (рис. 3 а), совмещённая с детальной картой рельефа дна, и карта АМП (рис. 3 б). После увязки галсов с помощью усовершенствованной технологии Crosserr1 [13], среднеквадратичная ошибка съёмки составила 1.4 нТл, а максимальная невязка – 8.7 нТл.

Контрастный структурно-морфологический облик полигона отражается в неоднородном, местами мозаичном характере АМП (см. рис. 3 б). В его северо-западной части за пределами трога Кинг доминирует чередование знакопеременных линейных магнитных аномалий средней интенсивности 100-200 нТл. Сопоставление этих аномалий с выделенными ранее [14] даёт нам основание идентифицировать их как хроны спрединговой природы C5An.2n (12.2 млн лет), C5ACn (у) (13.7 млн лет), C5ADn (14.2 млн лет), C5Cn.1n (у) (16 млн лет), С6п (18.75 млн лет), C13n (33.2 млн лет) (возраст взят из [15]). Положение осей, описываемых хронов, нами уточнено в силу более высокого качества наших данных. Рисунок линейных магнитных аномалий



Рис. 3. Карта графиков АМП в районе полигона, наложенная на батиметрическую карту (а). Карта изодинам АМП (б) Точками показаны оси номерных линейных магнитных аномалий из каталога [14], желтые линии маркируют их уточненные положение

имеет регулярный порядок, что свидетельствует о консервативной, стабильной истории магнитоактивного слоя в расположенных здесь фланговых структурах САХ, при этом согласно нашим оценкам скорость спрединга во время формирования океанической коры на участке к западу от трога Кинг составляла в среднем 15 мм/год.

В пределах трога спрединговые аномалии не прослеживаются. В районе впадины Верхний Кинг происходит разрыв линейной аномалии C13n, наблюдающейся только на флангах трога и местоположение которой известно по каталогу линейных магнитных аномалий [14], при этом в соответствии с нашими данными ось данной аномалии проходит вдоль цепочки положительных аномалий на 7 км восточнее указанной в каталоге (см. рис. 3 б). В 25-30 км западнее хрона С13п наблюдается ещё две цепочки линейно ориентированных максимумов и минимумов поля, субпараллельных спрединговым аномалиям полигона. Они, по всей видимости, являются номерными линейными аномалиями и также претерпевают разрыв в троге Кинг.

Над подводными горами плато Гницевича, Лукина-Лебедева, северо-западного окончания трога Кинг и провинции южного вулканического массива линейные аномалии осложнены локальными экстремумами магнитного поля величиной до 650 нГл. Наличие интенсивных аномалий над подводными горами явно указывает на вулканическую природу поднятий. Вершинной части вулканов соответствуют изометричные положительные магнитные аномалии, что свидетельствует об их образовании в эпоху/эпохи положительной магнитной полярности, по всей видимости, в результате одноактного магматизма.

Таким образом, изучение АМП позволяет установить время завершения формирования трога Кинг как единой мезоструктуры по смене характера АМП: к западу от окончания трога Кинг преобладают регулярные магнитные аномалии, тогда как восточнее они сохраняются только на бортах трога. Формирование трога Кинг произошло в период 18.75-33.2 млн лет назад между хронами Сбп и С13n. В пределах впадины трога Кинг не обнаружены линейные магнитные аномалии спрединговой природы. поскольку, скорее всего, при образовании трога произошло разрушение/размагничивание их источников. Трогу Кинг, за небольшими исключениями, соответствует обширная область положительных длиннопериодных аномалий, по-видимому, глубинной природы средней интенсивности 100-200 нТл, источником которых могут быть либо серпентинизированные породы верхней мантии, эксгумированные в процессе трогообразования, либо продукты позднего вулканизма, залившие дно образовавшегося трога в одну из эпох положительной полярности.

В 57-м рейсе АНС *сейсмоакустическое профилирование* в основном было направлено на изучение строения осадочного чехла во впадинах всего трога Кинг. В восточной части наиболее юго-восточной впадины Фрин [1] сформировалось поднятие, выполненное осадками, в котором мощность сейсмокомплексов увеличивается в его сводовой части, что указывает на то, что это отложения канального дрифта (рис. 4–I). Осадочная толща этого поднятия нарушена взбросами, тогда как в западной части впадины Фрин развиты сбросы (см. рис. 4–I). Возможной причиной данного разломообразования являются переходные процессы изостатического выравнивания.

В южной части впадины Нижний Кинг [1] было выявлено поднятие с мошностью осадочных комплексов, увеличивающихся к его своду (рис. 4-II). Эта форма также интерпретируется как канальный дрифт. Предполагается, что осадочный материал двух обнаруженных дрифтов принесён придонными (контуритовыми) течениями, проходящими по всей структуре трога Кинг с севера-запада на юго-восток. В северной части впадины Нижний Кинг установлена структура протыкания (см. рис. 4-II), над которой мощность приповерхностного сейсмокомплекса сокращается (мощности более глубоких комплексов постоянны), что говорит о современном росте структуры и размыве самой верхней части разреза. В центральной части впадины установлены отложения обломочного потока мощностью до 35 м, который нарушил его первоначальную стратификацию, сформированную над ещё одной структурой протыкания

(см. рис. 4–II). Формирование потока интерпретируется как сход оползня в условиях быстрого накопления осадков на крутых бортах трога.

Во впадинах Средний и Верхний Кинг наблюдается чередование акустически стратифицированных толщ и обломочных потоков (рис. 4–III). В стратифицированной части разреза видны складчатые структуры типа штампов, между которыми расположены депрессии с увеличивающейся вниз по разрезу мощностью.

На плато Гницевича были обнаружены признаки звукорассеивающих объектов (ЗРО) в водной толще (рис. 4-IV). ЗРО фиксируются над вершинами 2-х гор. Гора Большой Гницевич содержит ЗРО, выявляемое по данным сонарной моды многолучевого эхолота SeaBat 7150, которая формирует выборки, аналогичные данным гидролокатора бокового обзора. ЗРО расположено около вершины горы и имеет высоту над дном ~250 м. Гора Средний Гницевич имеет ЗРО над вершиной, выявляемое по данным профилографа с сигналом типа CHIRP в частотном диапазоне 2-5 кГц, с высотой над вершиной ~200 м. Эти факты могут указывать на современную гидротермальную активность в данной структуре, удалённой от активной межплитной границы САХ.

Таким образом, осадочный чехол во впадинах трога Кинг, как единой мезоструктуры, в целом хорошо стратифицирован, содержит признаки дрифтовых отложений и обломочных потоков.



Рис. 4. Фрагменты сейсмоакустических разрезов ANS57 (ParaSound и EdgeTech). І – во впадине Фрин; ІІ – во впадине Нижний Кинг; ІІІ – во впадине Средний Кинг; ІV – звукорассеивающие объекты в водной толще в области плато Гницевича. Пояснения пунктов, указанных стрелками, даны в тексте

Чехол нарушен разломами разнонаправленной кинематики, устанавливаются складчатые структуры типа штампов. Осадконакопление происходит над серией структур протыкания, связанных с медианными хребтами.

В ходе драгирования был опробован ряд структур Азоро-Бискайского поднятия, плато Гницевича, борта трога Кинг, склоны фланговых плоскогорий и венчающих их конусовидных построек, а также медианные хребты. На 23-х станциях драгирования получено около 800 кг горных пород. Данные о драгировках и их положении даны в табл. 1 и на рис. 1. Наряду с породами, классифицированными нами как коренные, было поднято большое количество как окатанных, так и остроугольных обломков различного размера, в основном гранитного и гранитно-гнейсового состава, которые являются продуктами ледового разноса и были исключены из рассмотрения.

В разрезе трога Кинг выделяются две устойчивые породные ассоциации. Первая из них это преимущественно афировые непористые зеленокаменно изменённые базальты, долериты, габброиды (габбро, оливиновое габбро, габбро-анортозиты), а также милониты, сформировавшиеся при тектоно-метаморфическом преобразовании этих пород. Такая ассоциация пород формируется при аккреции коры в осевой зоне спрединга. Учитывая наличие номерных линейных магнитных аномалий на флангах трога Кинг, продолжающихся на восточном фланге САХ, очевидно, что данные породы сформировались

N⁰	Широта	Долгота	Интервал	Процентное соотношение пород без учета материала	Bec
драги	с.ш.	з.д.	глубин (м)	ледового разноса	(кг)
S5701	43°33.3'	-17°46.4'	3100-2900	Известняки 95%, базальты 4%, Fe–Mn-корки 1%	40
S5702	43°32.9'	-17°47.1'	3850-2800	Базальты 100%	0.2
S5703	42°27.9'	-18°59.5'	3000-1870	Известняки 90%, Fe-Мп-корки 10%	3
S5704	42°29.32'	-18°54.7'	3870-3250	Известняки 80%, Fe-Mn-корки 15%, базальты 5%	0.7
S5705	42°29.3'	-18°59.5'	2500-2300	Известняки 80%, базальты 19%, Fe-Mn-корки 1%,	100
S5706	41°54.1'	-19°23.9'	2300-2040	Известняки 100%	1.5
S5707	43°11.9'	-20°54.0'	2300-2000	Известняки 80%, Fe-Mn-корки 20%	0.7
S5708	43°39.2'	-21°25.9'	2300-2250	Базальты 65%, брекчии 15%, известняки 10%, Fe-Mn- корки 10%	15
S5709	43°28.9'	-21°44.9'	3300-2500	Габбро 80%, базальты 10%, осадочные брекчии 10%	10
S5711	43°34.7'	-21°59.6'	3400-3270	Габбро 50%, базальты 30%, долериты 10%, милониты 5%, осадочные брекчии 4%, известняки 1%	40
S5712	43°38.9'	-22°18.2'	2150-1760	Известняки 55%, габбро 15%, базальты 15%, долериты 10%, милониты 3%, Fe-Mn-корки 2%	150
S5713	43°35.1'	-22°22.3'	1490-1180	Fe-Mn-корки 50%, осадочные брекчии 30%, вулканиты 10%, карбонатные породы 10%	10
S5714	43°57.4'	-21°59.3'	3580-3270	Известняки 60%, глинисто-карбонатные породы 30%, долериты 4%, габбро 3%, базальты 1%, милониты 1%, Fe-Mn-корки 1%	30
S5715	44°05.0'	-21°59.2'	2775-2420	Базальты 70%, известняки 20%, аргиллиты 6%, дресвяники 2%, Fe-Mn-корки 2%	30
S5716	44°15.9'	-21°59.0'	3500-3200	Fe-Mn-корки 50%, базальты 35%, габбро 10%, 5% милониты	25
S5717	44°17.6'	-22°57.3'	2350-2100	Базальты 80%, осадочные брекчии 10%, Fe-Mn-корки 9%, известняки 1%	100
S5720	44°39.1'	-24°16.7'	2800-1800	Fe-Mn-корки 40%, базальты 30%, известняки 25%, оса- дочные брекчии 5%	200
S5721	44°29.1'	-25°12.2'	2400-2200	Базальты 75%, известняки 25%	5
S5722	44°29.7'	-25°12.9'	1550-1380	Базальты 100%	30
S5723	44°32.5'	-25°18.8'	1625-1400	Известняки 100%	2

Таблица 1. Местоположение станций драгирования и краткая характеристика донно-каменного материала

в осевой части САХ. Они встречены в низах разреза бортов трога, а также на медианных хребтах и в нижних частях разреза горы Антиальтаир на глубинных отметках до 2150 м, свидетельствуя о том, что они слагают сводовое основание фланговых плоскогорий. Вторая породная ассоциация представлена вулканитами, которые предварительно названы нами как базальты, однако, учитывая состав вкрапленников, среди них могут быть и более кислые разности. Базальты в основном существенно пористые и в той или иной мере заметно изменены под воздействием низкотемпературного гидротермального метаморфизма. О последнем свидетельствуют низкотемпературные вторичные минералы, распространённые в этих породах: смектит, гидроокислы железа, кальцит. Вулканиты афировые и порфировые, среди вкрапленников преобладают плагиоклазы, иногда в ассоциации с оливином или клинопироксеном, реже с роговой обманкой. Породы этой ассоциации слагают фланговые плоскогорья и конусовидные вулканические постройки, в том числе, входящие в состав Азоро-Бискайского поднятия и плато Гницевича. Петрографические особенности этих вулканитов, морфология вулканических построек, которые они слагают, и структурное положение этих построек свидетельствуют о том, что эти породы формировались во внеосевых внутриплитных условиях.

Совместно с породами обеих ассоциаций практически всегда встречаются известняки, обломочные породы и Fe-Mn-корки. Известняки большей частью пелитоморфные и имеют разную степень литифицированности: от мраморовидных до рыхлых, легко разламывающихся рукой. С плоской вершины горы Большой Гницевич подняты органогенно-обломочные разности, образованные обломками криноидей и кораллов. Среди обломочных пород преобладают брекчии, реже дресвяники, песчаники, алевролиты. Состав обломков в брекчии соответствует тем породам, в ассоциации с которыми они встречены. Цемент тонкопесчанисто-карбонатный, иногда, возможно, фосфатный. Fe-Мп-корки разной мощности (0.5-80 мм), морфологии и внутреннего строения. Среди них особый интерес представляют конусовидные образования максимальной мощности до 8 см, имеющие конволютную слоистость, возникшую в результате чередования слойков Fe-Mn-материала и терригено-карбонатного материала. Они встречены в окрестностях горы Антиальтаир и вулканической горы в провинции северо-западного окончания трога Кинг и, возможно, имеют гидротермальную природу.

Проведённые исследования подтвердили выводы, сделанные по итогам работ в 55-м рейсе АНС в юго-восточной части трога Кинг о том, что образованию трога Кинг предшествовало формирование протяжённого сводового поднятия северо-запад - юго-восточного простирания, которое стало ареной интенсивного внутриплитного вулканизма, после которого в период между 33.2 и 18.75 млн лет назад последовало проседание приосевой части сформировавшегося вулканического плоскогорья [1]. Новые данные детализировали и расширили эти представления. А именно, ряд фактов указывают на то, что опускание океанического дна есть следствие растяжения океанической литосферы в север-восток — юго-западном направлении. При этом раскол вулканического плоскогорья происходил по двум вдольхребтовым субпараллельным трещинам, ставшими позднее осями растяжения.

Результаты драгирования дают основание полагать, что основание вулканического плоскогорья сложено породами, сформировавшимися в осевой зоне спрединга и испытавшими интенсивные вертикальные перемещения, в том числе, возможно, в результате тектонического сжатия.

Внутриплитный вулканизм, имевший место в районе трога Кинг, как минимум двухстадиен: 1) предшествующий трогообразованию и приведший к формированию вулканического плоскогорья, и 2) после образования трога, реализовавшийся в формировании конусовидных построек разных размеров и их отрогов. Он проявился не только в пределах флангов трога Кинг, но и на участке, непосредственно прилегающем к нему с юга в виде южного вулканического массива, горы Лукина-Лебедева и других более мелких конусовидных построек. Этот вулканизм также усиливал интенсивность магматизма в осевой зоне спрединга САХ вплоть до появления крупных вулканических построек, образовавших плато Гницевича.

Активные тектонические и вулканические процессы, приведшие к образованию трога Кинг, вероятно, являются и причиной неотектонических движений, выявленных при анализе данных сейсмоакустического профилирования, вызывая переходные процессы изостатического выравнивания.

Внутриплитные вулканиты подвержены широко распространённому низкотемпературному гидротермальному метаморфизму, который судя по обнаружению ЗРО на плато Гницевича, может продолжаться до сих пор.

Осадочный чехол района исследований сформирован на океаническом фундаменте, подверженном неотектоническим движениям и деформациям, при фоновом пелагическом осадконакоплении, сходе оползней, формировании обломочных потоков и за счет материала, приносимого придонными течениями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность экипажу судна "Академик Николай Страхов" во главе с капитаном А.А. Ардашкиным за всестороннюю помощь и содействие во время проведения экспедиционных работ.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Драгирование пород фундамента и гидромагнитная съёмка выполнены коллективами Геологического института РАН и Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в рамках Госзаданий: FMMG-2022-0003, FMMG-2023-0005, FMWE-2024-0019 и FMMG-2023-0008. Многолучевое эхолотирование и сейсмоакустическая съемка в рейсе осуществлялось участниками гранта РНФ № 24-17-00097.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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) // Doklady Earth Sciences. 2024. V. 516. N. 2. P. 913–919.
- Searle R.C., Whitmarsh R.B. The structure of King's Trough, Northeast Atlantic, from bathymetric, seismic and gravity studies // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1978. V. 53. N. 2. P. 259–287.
- 3. *Cann J.R., Funnell B.M.* Palmer ridge: a section through the upper part of the ocean crust? // Nature. 1967. V. 213. N. 5077. P. 661–664.
- 4. *Stebbins J., Thompson G.* The nature and petrogenesis of intra-oceanic plate alkaline eruptive and plutonic

rocks: King's Trough, Northeast Atlantic // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1978. V. 4. N. 3. P. 333–361.

- Kidd R.B., Searle R.C., Ramsay A.T.S. et al. The geology and formation of King's Trough, northeast Atlantic // Ocean Marine. Geol. 1982. V. 48. N. 1. P. 1–30.
- 6. Добрецов И.Л., Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. и др. Разрез океанической коры трога Кинг (Центральная Атлантика) // Известия Академии Наук СССР. Серия Геологическая. 1991. № 8. С. 141–146.
- 7. Лисицын А.П., Зоненшайн Л.П., Кузмин М.И., Харин Г.С. Магматические и метаморфические породы трога Кинг и хребта Палмер // Океанология. 1996. № 3. С. 398–409.
- 8. Чернышева Е.А., Кузьмин М.И., Харин Г.С., Медведев А.Я. Вариации состава спрединговых базальтов трога Кинг (Центральная Атлантика) и их возможные причины // Доклады Академии наук. 2013. Т. 448. № 4. С. 446–451.
- 9. *Dürkefälden A*. Origin and geodynamic evolution of King's Trough: the Grand Canyon of the North Atlantic // Cruise No. M168. 2020. 99 p.
- 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 // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2017. V. 122. N. 12. P. 9603–9626.
- Srivastava S.P., Roest W.R. King's Trough: reactivated pseudo-fault of a propagating rift // Geophys. J. Int. 1992. N. 108. P. 143–150.
- 12. *GEBCO 15*" Bathymetry Grid. Version 2019. (http://www.gebco.net).
- 13. Пальшин Н.А., Иваненко А.Н., Городницкий А.М. и др. Геомагнитные исследования в Северной Атлантике // Океанология. 2023. Т. 63. № 5. С. 796-812.
- 14. Seton M., Whittaker J., Wessel P. et al. Community infrastructure and repository for marine magnetic identifications // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2014. V. 5. N. 4. P. 1629–1641.
- Gradstein, F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geologic Time Scale // Cambridge Univ. Press. Cambridge. U. K. 2004. 500 p.

OCEAN BOTTOM STRUCTURE IN THE JUNCTION AREA OF THE KING'S TROUGH AND THE GNITSEVICH PLATEAU (NORTH ATLANTIC)

© 2025 S. G. Skolotnev^{a,#}, A. A. Peyve^a, S. Yu. Sokolov^a, K. O. Dobrolyubova^a, I. A. Veklich^b, A. N. Ivanenko^b, V. A. Bogolyubskii^a, N. P. Chamov^a, V. N. Dobrolyubov^a, A. P. Denisova^a, I. S. Patina^a, V. L. Lyubinetskii^b, A. A. Tkacheva^a, D. M. Ilyukhina^b, V. V. Fomina^a

Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev October 24, 2024

^aGeological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia ^bInstitute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia [#]E-mail: sg_skol@mail.ru

The paper, based on the data obtained during 57-th expedition of the R/V "Akademik Nikolaj Strakhov", examines the structure of the north-western part King's Trough and the Gnitsevich Plateau, forming a mesostructural cluster located on the eastern flank of the Mid-Atlantic Ridge in the North Atlantic. Bathymetric and hydromagnetic surveys, seismoacoustic profiling and bottom sampling by dredging were carried out. It has been shown that this part of the trough consists of 6 basins of different depths, subparallel and continuing each other along the strike, separated by median ridges and ledges. The flanks of the trough are formed by volcanic plateaus, which are built up by multi-dimensional cone-shaped volcanic structures. At the same time, the southern and northern flanks are complementary to each other both in depth and morphology, and merge into a single plateau in the area of the northwestern closure of the trough. An area of volcanic structures of various sizes and morphology was formed around the King's Trough: cone-shaped structures, calderas, the Gnitsevich Plateau of several mountains on a common base. It is shown that the anomalous magnetic field of the study area is a superposition of linear and isometric anomalies, the latter associated with large volcanic mountains. Linear anomalies C6n and younger are located northwest of the King's Trough and are not interrupted, and linear anomalies between C6n and C13n chrones are found only on the flanks of the trough, whereas they are absent in the area of basins. The recovered rock material can be divided into two main associations: spreading (nonporous basalts, dolerites, gabbros, mylonites) and volcanic (porous volcanics close to basalts). The rocks of the first of them form the sides of basins and median ridges, the second – plateaus and volcanic constructions. Limestones, breccias and Fe-Mn crusts are found in both associations. According to seismoacoustic profiling, the sedimentary cover of the study area was formed on oceanic basement that went through neotectonic deformations, with background pelagic sedimentation, landslides, debris flows and material transported by subbottom currents. Preliminary assumptions were made about the origin of the mesostructural cluster: King's Trough – the Gnitsevich Plateau.

Keywords: Mid-Atlantic Ridge, King's Trough, spreading, volcanic structures, linear magnetic anomalies, seismic facies, channel drift, sound-scattering objects