

МОРСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.465

СПРЕДИНГ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ АФРИКАНО-АНТАРКТИЧЕСКОГО ХРЕБТА ПО ДАННЫМ ДЕТАЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ ОСТРОВА БУВЕ

© 1998 г. А. А. Булычев*, Л. Гасперини**, Д. А. Гилод*, Н. Зителлини**, Е. Ю. Куликов*, Э. Лодоло***, М. Лиджи**, А. О. Мазарович****, С. Ю. Соколов****, А. А. Шрейдер*****

* Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

** Институт морской геологии, CNR, Болонья ***

Обсерватория экспериментальной геофизики, Триест

**** Геологический институт РАН, Москва ***** Институт

океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва * Поступила в редакцию
19.06.96 г.

Установлены основные черты рельефа дна, акустического фундамента, неуплотненных осадков, аномального магнитного поля, намагниченности инверсионного магнитоактивного слоя, геохронологии срединно-океанического хребта Буве для последних 2 млн. лет. Рассмотрены особенности появления конструктивной границы африканской и антарктической литосферных плит. Осевая зона хребта Буве характеризуется наличием трех неовулканических центров, свидетельствующих о дискретном поступлении материала новой океанической коры в эпоху Брюнеса. Спрединг в эпоху Брюнеса не был монотонным и менялся по скорости от 1.2-1.3 см/год на юго-восточной и северо-западной перифериях хребта Буве до 0.8 см/год в его центральной части.

Хребет Буве¹ [9] является одним из крайних звеньев Юго-Западно-Индийского срединно-океанического хребта. Посредством трансформного разлома Буве на 54°10' ю.ш., 2°20' в.д. он сочленяется с хребтом Шпис, образующим вместе с Американо-Атлантическим и Срединно-Атлантическим хребтами тройственное сочленение Буве [5, 7, 9]. Южной границей хребта Буве является трансформный разлом Мошеш на 54° 10' ю.ш., 4°40' в.д. Для хребта известны несколько профилей батиметрии и аномального магнитного поля, которые позволили наметить положение осевой магнитной аномалии и палеомагнитных аномалий 2 и 2A, простирающихся под azimuthом 13.5° ± ±(2°-5°)[6,9].

Вместе с тем до настоящего времени район в геофизическом отношении изучен мало. В 18-м рейсе НИС "Академик Николай Страхов" [2, 8] были проведены многолучевое эхолотирование, магнитометрические исследования и непрерывное сейсмическое профилирование. Они позволили впервые получить детальное представление о батиметрии, аномалиях магнитного поля, мощностях осадков и рельефа акустического фундамента.

¹ Под хребтом Буве, вслед за [9] понимается часть Западно-Индийского хребта расположенная между разломами Мошеш и Буве. Название официально не утверждено международной подкомиссией по названиям форм подводного рельефа ЮНЕСКО.

Эти данные, в свою очередь послужили основой для трехмерных расчетов распределения намагниченности инверсионного магнитоактивного слоя, восстановления геохронологий дна, изучения режима спрединга и составления тектонической схемы хребта Буве. Изложение результатов этих исследований является задачей настоящей статьи.

Для магнитометрических исследований использовался канадский магнитометр GSM-19MD гондола которого буксировалась на удалении 200м, что соответствует тройной длине судна. Магнитная девиация, измеренная в слабо-возмущенном магнитном поле имеет амплитуду в первые десятки нТл. Результаты ее измерения были учтены при обработке результатов измерений, что дало возможность построить карту магнитного поля с интервалом изодинам 50 нТл. Аномальные значения магнитного поля были получены после вычитания из наблюдаемых величин значений поля относимости DGRF. Эхолотные измерения, проведенные с помощью комплекса эхолотов ELAG и многолучевого эхолота ECHOS-625, позволили построить карту рельефа дна с интервалом изолиний 100 м. Непрерывное сейсмическое профилирование проводилось с помощью аппаратурного комплекса, изготовленного в Геологическом институте РАН.

Для возбуждения сейсмических волн использовалась линейная группа из двух пневмоисточни-

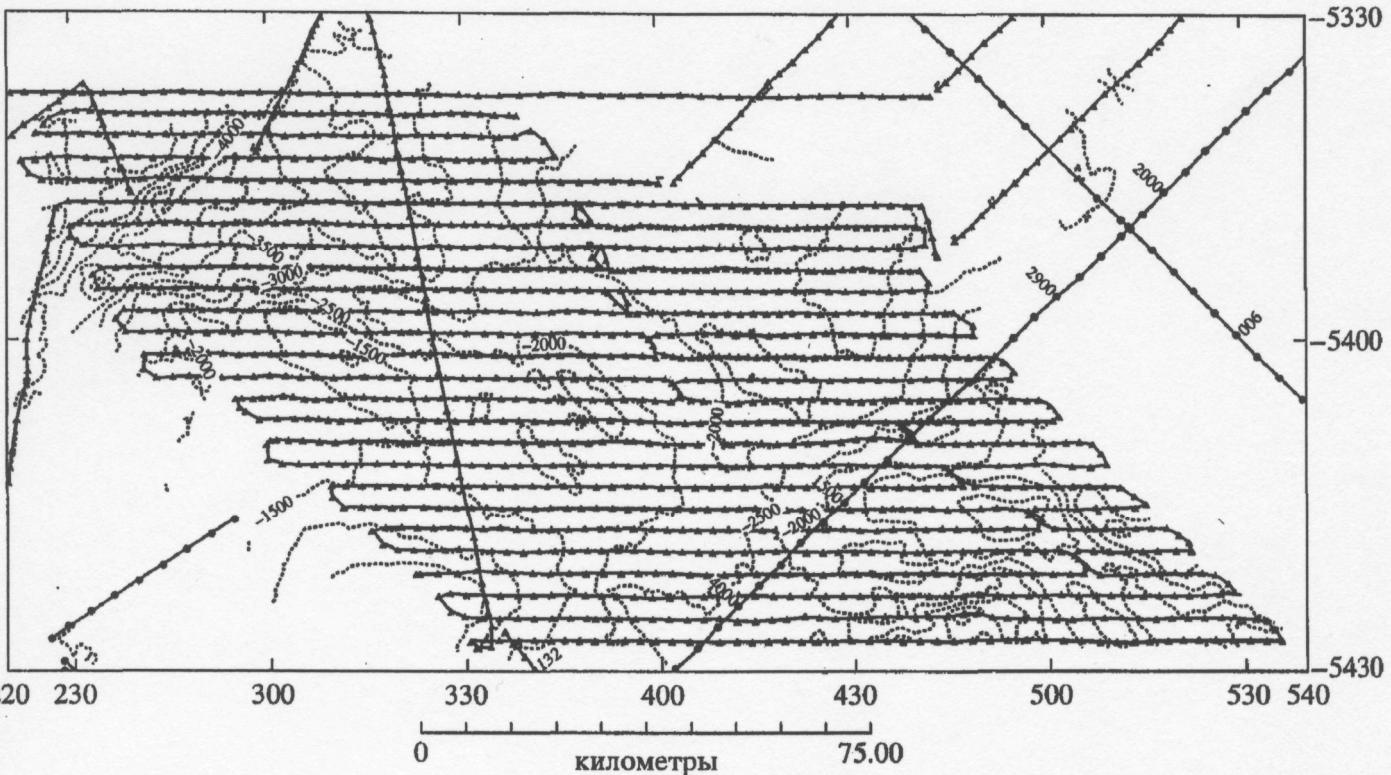


Рис. 1. Схема расположения профилей съемки в районе острова Буве. Точками обозначены места абсертаций.

ков с суммарным объемом 1 дм³. Прием осуществлялся на одноканальную сейсмокосу в длиной рабочей базы 30 метров. При расчетах глубин акустического фундамента скорость сейсмических волн в вышележащих неуплотненных осадках принималась постоянной в пределах полигона и равной 2 км/с. Основная сеть 28 съемочных галсов на полигоне имела широтное простиранье при длине индивидуальных маршрутов до 150 км. Межгалловое расстояние составило 2 мили (рис. 1). Наряду с основной сетью было пройдено несколько секущих маршрутов,

Рельеф дна (рис. 2). На полигоне северо-восточнее острова Буве протягивается асимметричная центральная часть срединно-океанического хребта Буве. Срединная долина вдоль хребта выражена нечетко за исключением центральной его части, где имеет относительный врез 600 метров. Глубина прилегающего с северо-востока гребня составляет 1.7 км, на юго-западе он менее выражен, имеет нерегулярную поверхность, лежащую на глубинах около 2 км. С северо-запада и юго-востока хребет ограничен трансформными разломами Буве и Мошеш соответственно. Разломная зона выражены трогами северо-восточного простиранья с глубиной в первом случае - более 4 км, во втором - до 3.5 км. Отметим, что разломы Буве и Мошеш имеют различное строение [2].

Мощности осадков (рис. 3). Распределение осадков в районе исследований неравномерно. На большей части территории их толщина близка к

нулю. Отдельные, изометричные по форме карманы осадков мощностью до 0.2-0.3 км отмечаются у подножия острова Буве, а также в областях трансформных разломов Буве и Мошеш.

Более значительные, в целом, мощности 0.2-0.8 км наблюдаются на северо-востоке полигона. Следует отметить, что эти осадочные образования ориентированы параллельно простираннию оси хребта Буве с 53°35' ю.ш., 3°20' в.д. до 54°0' ю.ш., 4°0' в.д., где их распространение заканчивается перед зоной Мошеш. Наличие сведений о рельефе дна и осадочном чехле позволило построить карту поверхности акустического фундамента.

Рельеф акустического фундамента (рис. 4). В рельефе акустического фундамента хребта Буве на северо-западе полигона в районе 3° в.д. четко выделяется вытянутая впадина глубиной 4.5 км, шириной 20-2.5 км, простирающаяся под углом 45°. Она отвечает положению трансформного разлома Буве.

Еще одна впадина с глубинами дна более 4 км расположена на юго-востоке полигона на 5° в.д. Эта впадина, изометрическая по характеру, имеет ширину около 30 км и лишь в первом приближении может быть намечено ее северо-восточное простиранье. Впадина отвечает положению трансформного разлома Мошеш. Между выше рассмотренными впадинами выделяется приподнятый сегмент акустического фундамента с отно-

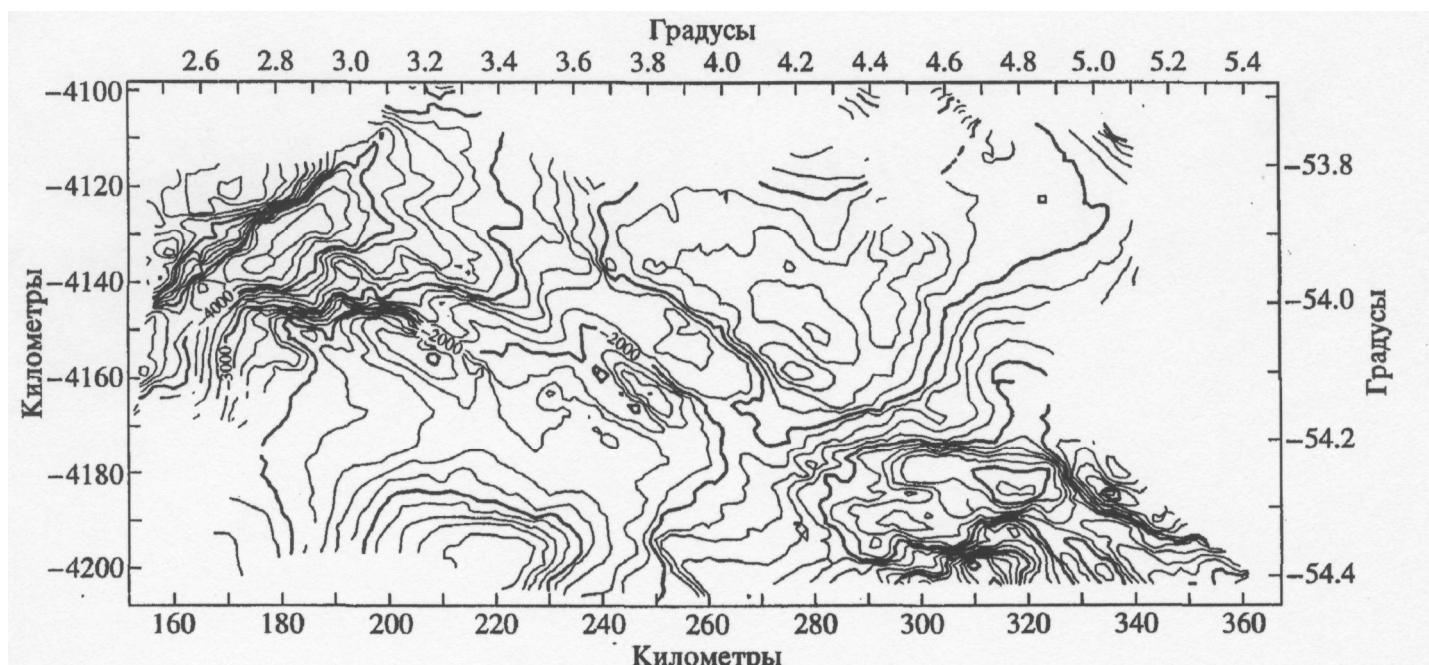


Рис. 2. Карта рельефа дна. Интервал изобат - 0.2 км.

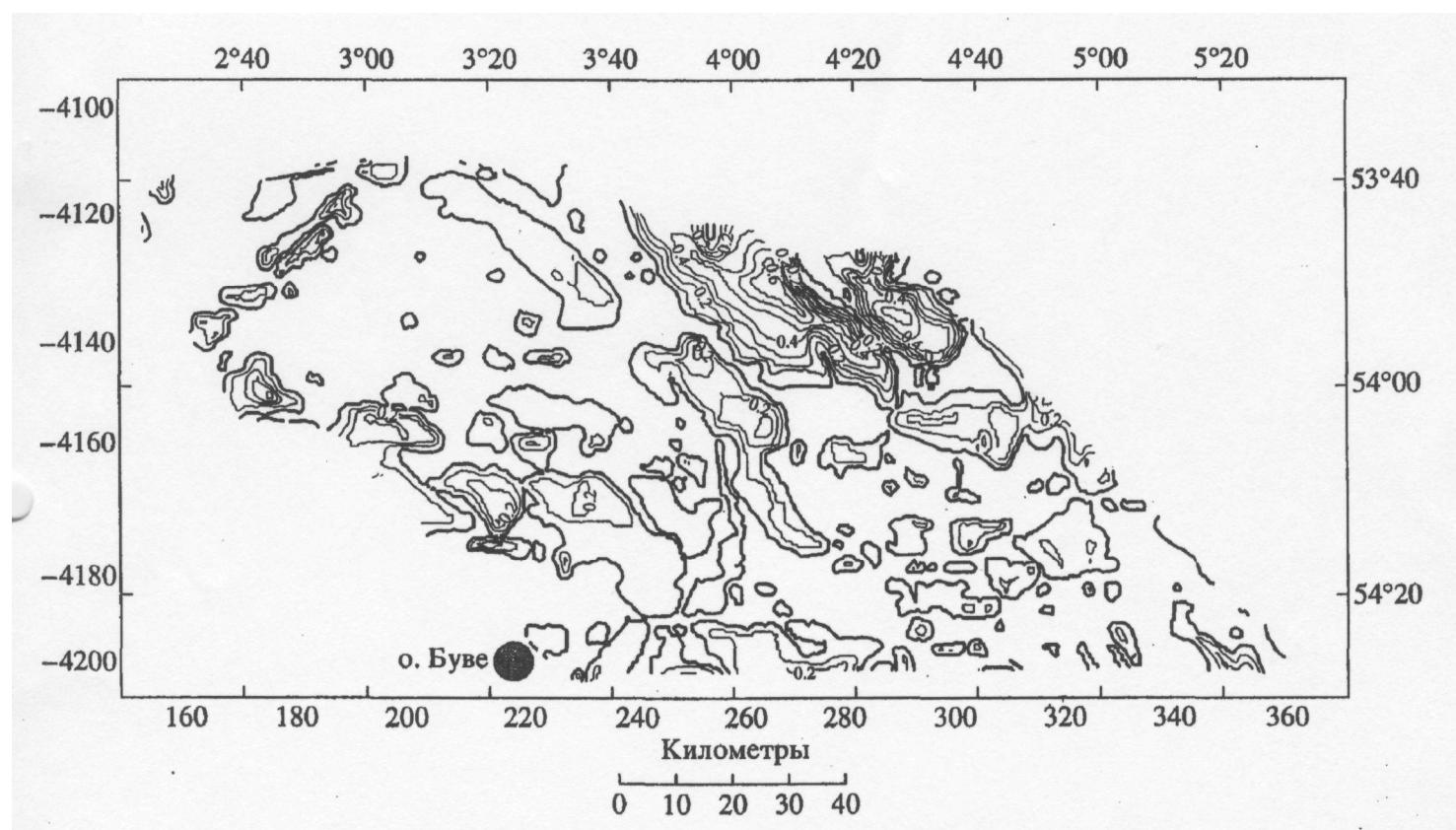


Рис. 3. Карта мощности осадков. Интервал изопахит - 0.1 км.

сительно пологими северо-восточным и юго-западным склонами и сложным характером вершины. Этот сегмент соответствует осевой зоне Западно-Индийского срединно-океанического хребта (хребет Буве). Центральная часть вершины в интервале 3.5° - 4.0° в.д. представляет собою два вытянутых под азимутом 45° гребня с глуби-

нами до 1.4 км, разделенных долиной глубиной в 2 км.

С северо-востока к центральной части вершины примыкает вытянутая под 45° депрессия глубиной до 2.6 км и шириной в 15 км, которая сменяется хребтом того же простирания и ширины. Наиболее возвышенная часть этого хребта вы-

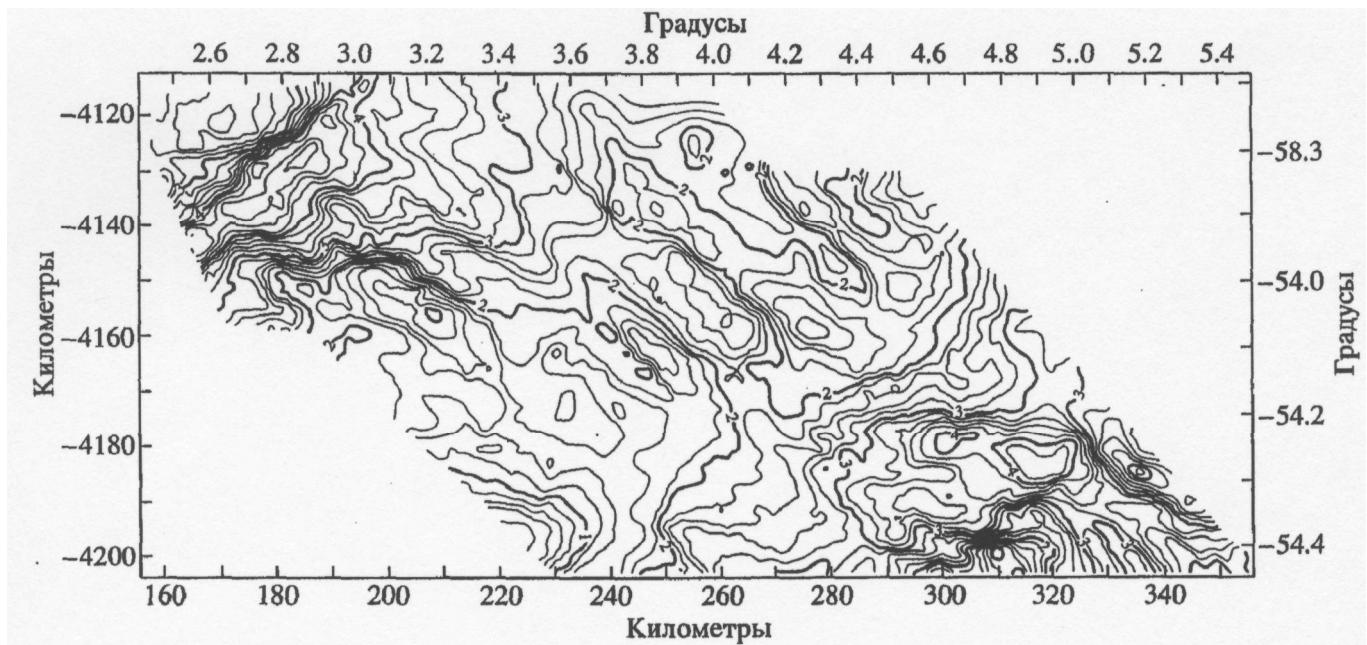


Рис. 4. Карта рельефа акустического фундамента. Интервал изолиний - 0.2 км.

ражена изометрическим поднятием - горой, с вершиной, лежащей на глубине около 1 км. Далее на северо-восток также отмечаются вытянутые под 45° горсты и грабены с относительными перепадами рельефа в 0.2-0.5 км. В этих депрессиях наблюдаются повышенные мощности осадков. Наиболее выраженный линейный характер морфоструктур отмечается в полосе шириной около 30-40 км.

Отметим, что вытянутый под 45° характер форм рельефа акустического фундамента также намечается у юго-восточного предела полигона.

Аномальное магнитное поле (рис. 5). Аномальное магнитное поле хребта Буве в пределах полигона разделяется на несколько областей.

Северо-западная область представлена слабоинтенсивными аномалиями от 0 до +200 нТл пространственно-совпадающими со структурой трансформного разлома Буве. Такой же характер поля отмечается для юго-восточной части полигона, где в рельефе акустического фундамента отмечается впадина, отвечающая положению трансформного разлома Мошеш. Лишь у самого юго-восточного предела полигона аномалии приобретают вытянутую под азимутом 45° форму, а интенсивность их возрастает до 300-500 и более нТл. •,

Центральная область характеризуется линейным характером магнитных аномалий. Интенсивная до -1000 нТл линейная магнитная аномалия простирается под углом 45° и соответствует приподнятому блоку акустического фундамента в интервале 3° - 4.5° восточной долготы. Она соответствует осевой магнитной аномалии Западно-Ин-

дийского срединно-океанического хребта. Длина волны аномалии изменяется в пределах 20-30 км. С северо-востока и юго-запада к ней примыкают неширокие (10-15 км) отрицательные экстремумы интенсивностью до -500...-1000 нТл (тем самым полный размах аномального магнитного поля превышает 1500-2000 нТл).

Далее на северо-восток отмечается несколько вытянутых, узких (5-7 км шириной) положительных и отрицательных экстремумов интенсивностью ± 200 - ± 500 нТл.

Отметим, что подводной горе, выделяемой в рельефе дна и акустического фундамента ($54^\circ 02'$ ю.ш., $4^\circ 18'$ в.д.) соответствует аномалия величиной 1300 нТл дипольного типа с положительным экстремумом на юге и менее интенсивным отрицательным экстремумом на севере.

Наличие данных об аномальном поле и рельефе акустического фундамента позволяет получить сведения о магнитной неоднородности дна изучаемого полигона в рамках концепции тектоники литосферных плит. Для такого рода расчетов мощность магнитоактивного слоя океана была принята равной 0.5 км [9]. Верхняя граница слоя совпадает с поверхностью акустического фундамента. Наклонение, склонение и величина современного поля Земли для района полигона были взяты по полю DGRF эпохи съемки (наклонение -63° , склонение -25°), наклонение вектора намагниченности (-70°) вычислялось в рамках аппроксимации Главного магнитного поля Земли полем осесимметричного диполя.

Расчеты площадного распределения намагниченности проводились в узлах сетки отстоящих

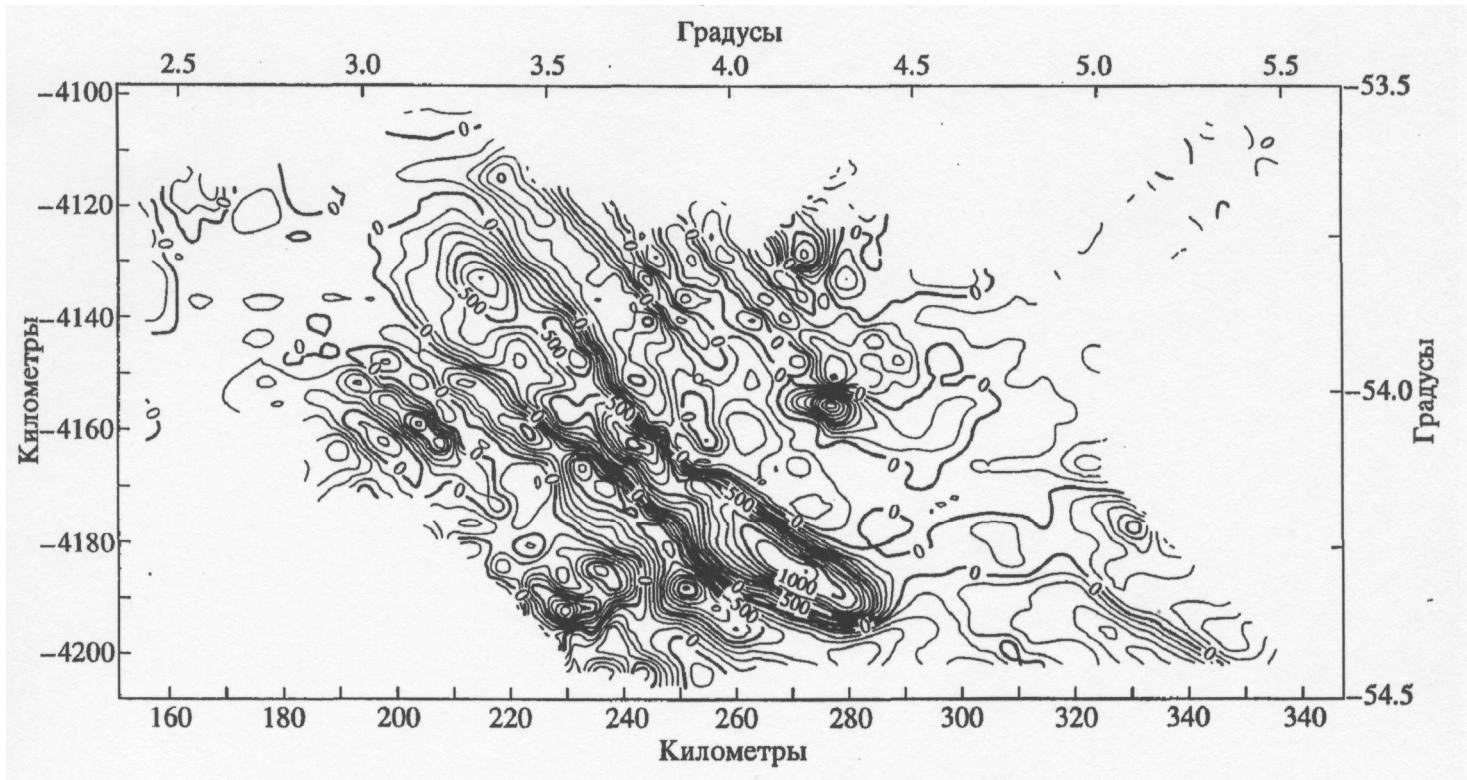


Рис. 5. Карта аномального магнитного поля. Сечение изодинам - 200 нТл.

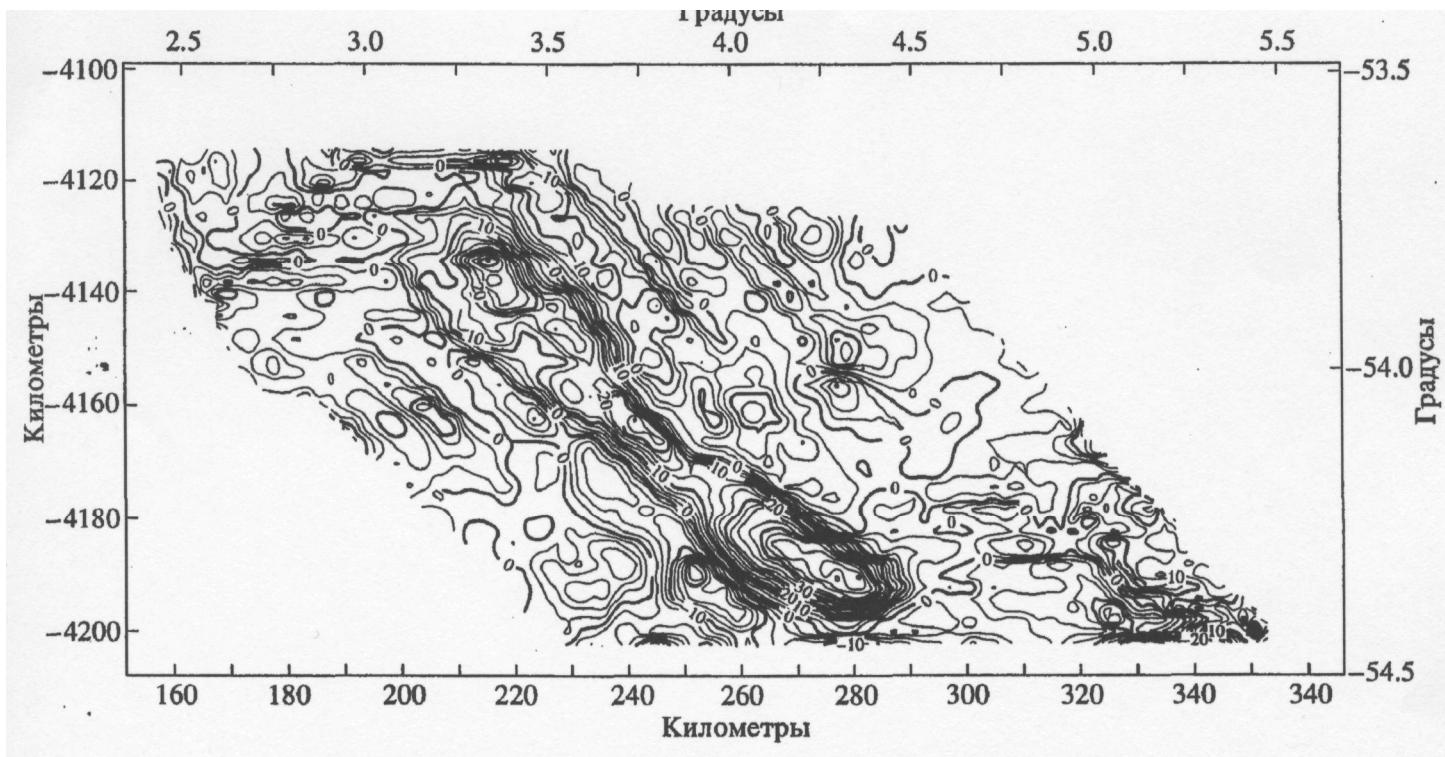


Рис. 6. Карта распределения намагниченности. Интервал изолиний — 2.5 А/м.

друг от друга на 1.5 км по методике изложенной в работе [1]. Номенклатура хронов и их датировка приводятся в соответствии с [3,4].

Распределение намагниченности и спрединг дна. Из результатов расчета распределения на-

магниченности на хребте Буве (рис. 6) видно, что осевой магнитной аномалии соответствует осевой блок прямо намагниченных пород дна. Согласно моделированию палеомагнитных аномалий он сформировался в эпоху прямой полярное-

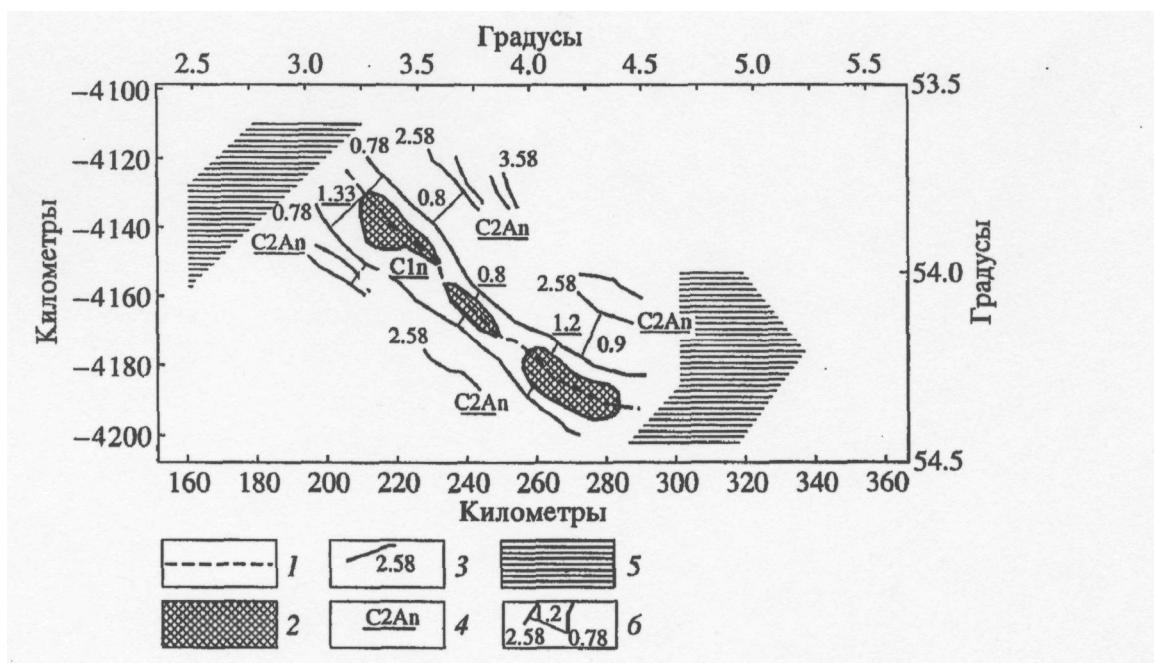


Рис. 7. Схема тектонического строения.

1 - ось спрединга; 2 - неовулканический центр; 3 - изохроны и ее возраст в млн. лет; 4 - наименование выделенного хрома; 5 - трансформные нарушения; 6 - значение мгновенной скорости и спрединга в см/год и направление вдоль которого она была вычислена между изохронами.

ти магнитного поля Земли - Брюнес (хрон С/л, 0-0.78 млн. лет). Генеральное простирание блока близко к 45° , а его протяженность составляет около ста километров. По простиранию блок ограничен неупорядоченными областями разнополярных пород, ассоциирующимися с проходящими трансформными разломами Буве на северо-западе и Мошеш на юго-востоке полигона.

Северо-западная и юго-восточная части блока имеют ширину около 20 км и приурочены к склоновым частям центрального приподнятого сегмента акустического фундамента. Центральная часть блока имеет ширину близкую к 10 км. Ей в структуре фундамента соответствуют два осевых гребня срединно-океанического хребта, разделенные срединной рифтовой долиной, пространственно совпадающей с осью спрединга, с глубиной вреза до 0.6 км относительно примыкающих гребней.

Средняя намагниченность пород осевого блока равна 10-15 А/м, но ее распределение неоднородно. Здесь выделяются 3 удлиненных максимума интенсивностью до 32 А/м на юго-востоке блока, 25 А/м в центре и 40 А/м на юго-востоке блока. Центральный максимум размерами 3 на 8 км строго соответствует центральной рифтовой долине. Северо-западный и юго-восточный максимумы размерами 5 на 10 км и 5 на 18 км, соответственно, пространственно близки к менее выраженным участкам долины с глубиной вреза 0.1-0.2 км. Еще один относительно менее выраженный максимум интенсивностью до 18 А/м

имеет размеры 2 на 8 км и расположен в верхней части северо-западной долины примерно посередине между северо-западным (32 А/м) и центральным (25 А/м) максимумами.

С обоих сторон к северо-западной части осевого блока прямо намагниченных пород расположены узкие, менее 5 км шириной, области прямо намагниченных пород (5 А/м), соответствующие эпохе прямой полярности Гаусс (Хрон С2Ап, 2.58-3.58 млн. лет).

Такая область (5-7 А/м) выделяется и к северу от юго-восточной части осевого блока. Хрону С2Ап в рельфе фундамента соответствуют относительные поднятия или их склоны. В то же время хрон С2Ап не имеет четкого выражения в центральной части полигона, где осевой блок прямо намагниченных пород имеет минимальную ширину.

На северо-востоке полигона выделяются также две области прямо намагниченных пород дна (5 А/м), соответствующих хрону С2Ап.1п (2.581-3.040 млн. лет) и, возможно, С2Ап.3п (3.330-3.580 млн. лет).

Раскрытие дна в эпоху Брюнес шло со скоростью 2.4 см/год (1.2 см/год в каждую сторону) на юго-востоке, 2.6 см/год (1.3 см/год в каждую сторону) на северо-западе, 1.6 см/год (0.8 см/год в каждую сторону) в центральной части осевого блока пород. Отсутствие признаков существования трансформных смещений свидетельствует о достаточно пластичной литосфере. Столь малые скорости спрединга в центральной части, видимо,

сохранились в последние миллионы лет, что привело к сложной суперпозиции прямо и обратно намагниченных пород дна, не позволяющей четко выделить здесь области существования кратких по времени субхронов хронов.

Скорость спрединга составляет во время храна C1г до 0.8 см/год на северо-востоке и 0.9 см/год на юго-западе и далее во время храна C2Ап 0.9 см/год и 0.8 см/год соответственно. Имеющиеся данные расчетов на северо-востоке свидетельствуют об уменьшении скорости до 0.7 см/год во время храна C2Ап.2п.

Как уже указывалось выше, в пределах области прямо намагниченных пород, сформированных в эпоху Брюнес, распределение намагниченности неравномерно. Согласно моделированию районы, распространения высоко магнитных пород рассматриваются нами как соответствующие неовулканической зоне, в которой формируются наиболее молодые породы океанической коры. Разнообразие морфологии коренного фундамента неовулканической зоны говорит о дискретном характере выплавления новой океанической коры.

Не исключена вероятность того, что наиболее магнитные участки неовулканической зоны соответствуют самым молодым порциям океанической коры. В этом предположении во время храна C1n центральная часть осевого блока сформировалась первой. Затем произошло формирование новой океанической коры на северо-западе и самая последняя порция новой океанической коры на сегодняшний день сформировалась на юго-востоке.

Переход между областями пород, сформированными в эпохи Брюнес и Матуяма происходит посредством резкой градиентной зоны намагниченности. Ширина ее не превосходит 1.5 км. С учетом скорости спрединга, можно оценить, что такой переход по времени занимает 100 тыс. лет. Выше говорилось, что ширина полосы существования наиболее магнитных пород в пределах осевого блока близка к 3 км. Это позволяет сказать, что в ее пределах могут одновременно существовать породы, различающиеся по возрасту до 100 тыс. лет. Тем самым, данная величина, по-видимому, отражает разрешающую способность "механизма записи" прошлых состояний геомагнитного поля для последнего миллиона лет.

Проведенные нами оценочные палеогеодинамические реконструкции на время храна C2п не противоречат предположению о единстве в прошлом массива пород, слагавших остров Буве, и массива, слагавшего безымянную гору, расположенную под 54°02' ю.ш., 4° 18' в.д. Она являлась южной частью массива, расколотого при спрединге во время храна C2Ап около 3 млн. лет назад. Формирование самого массива могло явиться следствием работы горячей точки Буве.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлены основные закономерности рельефа дна, акустического фундамента, распределения мощностей неуплотненных осадков, аномального магнитного поля, намагниченности инверсионного магнитоактивного слоя, геохронологии и тектоники дна срединно-океанического хребта Буве. Осевая зона хребта Буве характеризуется наличием трех неовулканических центров, свидетельствующих о дискретном поступлении материала новой океанической коры в эпоху Брюнеса. Не исключена вероятность того, что наиболее раннее поступление было в центральной части осевой зоны, в то время как более поздние поступления коры приурочены к северо-западному и юго-восточному окончаниям осевой зоны хребта, ограниченного трансформными разломами Буве и Мошеш.

Скорость наращивания новой океанической коры в Брюнесе была не постоянной. В каждую сторону от оси спрединга она менялась от 1.2-1.3 см/год на юго-восточной и северо-западных перифериях, до 0.8 см/год в центральной части хребта. Столь малая скорость спрединга в центральной части видимо сохранялась последние миллионы лет, что привело к сложной суперпозиции разнополярных пород в разрезе магнитоактивного слоя, не позволяющей четко разделить разнополярные хроны.

Вместе с тем отмечается замедление процесса разрастания дна на юго-восточной периферии хребта на 30% во время храна C2Ап.1п.

Массивы пород, слагающих остров Буве и безымянную гору под 54°02' ю.ш. и 4° 18' в.д., скорее всего являются частями единого массива, сформированного работой горячей точки и разорванного при спрединге во время храна C2Ап.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 97.05. 64484).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бонатти Э., Булышев А.А., Голод Д.А. и др. Детальные геомагнитные исследования точки тройственного сочленения литосферных плит Буве // Океанология. 1997. Т. 37. № 6. С. 897-909.
2. Мазарович А.О., Пейве А.А., Зителлини Н. и др. Морфоструктура района острова Буве // Докл. АН. 1995. Т. 342. № 3. С. 354-357.
3. Шрейдер А.А. Магнетизм океанской литосферы и линейные палеомагнитные аномалии // Физика Земли. 1992. № 6. С. 59-70.
4. Cande S., Kent D. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic // J. Geoph. Res. 1995. V. 100. № B4. P. 6093-6095.

5. Forsyth D. Fauet plane solutions and tectonics of the South Atlantic and South Scotia Sea // J. Geoph. Res. 1975. V. 80. P. 1429-1443.
6. Hays D. (editor) Marine Geological and Geophysical Atlas of the circum Antarctic to 30° S // Antarctic Res. Series. 1991. V. 54. 7 sheets.
7. Johnson GJU., Hey flJV., Lowrie A. Marine Geology in the Environs of Bouvet Island and the South-Atlantic triple Junction // Marine Geophysical Researches. 1973. № 2. P. 23-36.
8. Peyve A., Efunov V., Erofeev S. et al. Report Strakhov-18, Bouvet Triple Junction February-May 1994 // IX Italian Antarctic Expedition Roma. 1994. P. 46-53.
9. Slater L., Bowin C., Hey R., Tapscott C. The Bouvet Triple Junction // J. Geoph. Res. 1976. V. 81. J* 11. P. 1857-1869.

Spreading of the South West Indian Ridge on the Basis of Data of Detailed Geomagnetic Study in the Area near Bouvet Island

A. A. Bulychev, L. Gasperini, D. A. Gilod, N. Zilellini, È. Yu. Kulikov, E. Lodolo, M. Ligi, A. O. Mazarovich, S. Yu. Sokolov, A. A. Schreider

The main characteristics of seafloor topography, acoustic basement, uncompressed sediments, magnetic field anomaly, magnetization of inverse magnetoactive layer and geochronology of the Bouvet middle ocean ridge for the recent 2 mln years are described. The features of the evolution of structural margins of African and Antarctic lithosphere plates are examined. The Bouvet ridge axis zone is characterised by the presence of three neovolcanic centers, which confirm the discrete supply of new ocean crust material during Brunes epoch. Spreading in Brunes epoch wasn't constant and changed its velocities from 1.2-1.3 cm/year in the south-eastern and north-western parts to 0.8 cm/year in the central part of the Bouvet ridge.