

УДК 551.05.65

А. А. ШРЕЙДЕР, В. И. ТРУХИН, В. А. СЫЧЕВ,
Н. А. РИМСКИЙ-КОРСАКОВ

ДЕТАЛЬНЫЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РИФТОВОЙ ЗОНЫ НА ЮГЕ КРАСНОГО МОРЯ

Детальные геомагнитные и геоморфологические исследования, проведенные с борта НИС «Акванавт», в комплексе с данными геолокатора бокового обзора и высокочастотного профилографа, буксируемых у поверхности дна, и результатами визуального обследования дна с ПА «Пайсис» позволили установить, что ось спрединга разбита на отрезки, простирающиеся которых (330°) отличается от генерализованного направления осевой магнитной аномалии (310°). В районе исследований длина отрезков оказалась около 1 км, а величина трансформных смещений 0,5 км. Модельные расчеты показали, что спрединг асимметричен: в эпоху Брюнеса скорость наращивания Африканской плиты 6 мм/год, а Аравийской — 7 мм/год. Ранее она составляла соответственно 9 и 11 мм/год.

3-й рейс НИС «Акванавт» в Красном море (декабрь 1979 г.— февраль 1980 г.) выполнялся в рамках комплексной геолого-геофизической экспедиции Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, проводившейся силами научно-исследовательских судов «Академик Курчатов», «Профессор Штокман» и «Акванавт». Важными задачами рейса были изучение микроформ рельефа дна и мощности неуплотненных осадков с помощью глубоководного буксируемого аппарата (ГБА) «Звук-4» и проведение геомагнитных исследований у оси спрединга в южной части Красного моря.

Конструктивное исполнение ГБА «Звук-4» позволяет устанавливать на нем и буксировать вблизи дна самую разнообразную, прежде всего акустическую, научную аппаратуру [1]. В данном рейсе на борту аппарата были установлены двухсторонний гидролокатор бокового обзора, акустический профилограф и прецизионный внизнаправленный эхолот.

Методика применения ГБА «Звук-4» заключалась в буксировке его на безопасном расстоянии от поверхности дна (обычно 50—100 м) в районе, предварительно обследованном с помощью судового эхолота. Направление галсов выбиралось в зависимости от предполагаемой ориентации микроформ рельефа на поверхности дна. Навигационная привязка результатов съемки обеспечивалась с помощью судового радиолокатора относительно системы заякоренных буйев, координаты которых были предварительно определены по спутниковой навигационной системе. Расстояния аппарата от поверхности моря определялись по данным акустического профилографа, который мог быть использован в качестве вверхнаправленного эхолота. Выполнено семь буксировок ГБА «Звук-4» вблизи оси спрединга и три буксировки на удалении от нее.

Южная часть Красного моря является областью развитого рифтогенеза [3—5, 7, 8, 10]. В пределах осевого трога здесь выделяются магнитные аномалии, имеющие возраст 5 млн. лет. При этом в непосредственной близости к району детальных исследований нашей экспедиции — полигону с центром в точке с координатами 17°58' с. ш., 40°04' в. д. — намечено лишь положение оси спрединга и со стороны Аравийской плиты — изохроны 1 млн. лет. Недостаток данных не позволил предыдущим исследователям провести детальное определение параметров спрединга в районе наших исследований. Оценки скорости спрединга, проведенные Роезером [8] южнее района полигона, показали, что Аравийская плита движется несколько медленнее Африканской (0,6 см/год против 0,9 см/год за последние 3 млн. лет).

В наших исследованиях измерения магнитного поля проводились по системе взаимноперпендикулярных галсов со средним расстоянием между маршрутами широтной сети 350 м и меридиональной — 700 м. Выполнено 250 миль съемки, при этом навигационная привязка результатов осуществлялась относительно системы заякоренных буев с известными координатами. Среднеквадратичная погрешность съемки, определенная в местах пересечения галсов, оказалась близкой к 48 нТ, что позволило построить карту аномальных значений T с сечением 100 нТ. Аномальные значения получены вычитанием из наблюдаемых величин модуля полного вектора магнитного поля T величины международного поля относимости, приведенного к эпохе съемки. Нулевое значение аномального поля было выбрано +250 нТ, для того чтобы подчеркнуть дифференцированный характер поля.

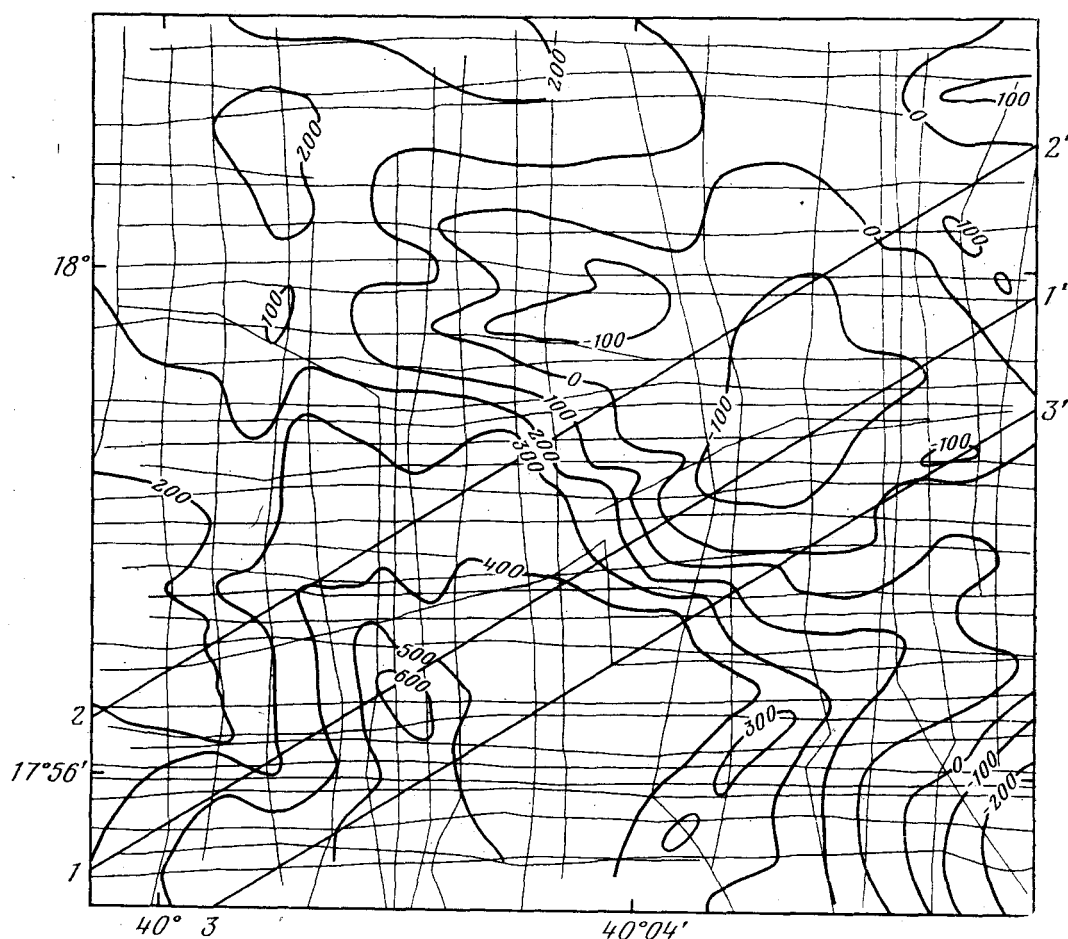


Рис. 1. Аномальное магнитное поле (авторы Шрейдер А. А., Трухин В. И., Попов К. В., Попов Э. А.)

Толстые линии — изодинамы в нТ; тонкие линии — маршруты съемки; разрезы поля по линиям 1—1', 2—2', 3—3' показаны на рис. 3

По характеру магнитного поля полигон неоднороден (рис. 1). В центре его на карте четко выделяется магнитная аномалия, связанная с осью спрединга. Аномалия имеет вид уступа, положительная часть которого располагается на юго-западе, а отрицательная — на северо-востоке. Простирание аномалии близко к 310° , амплитуда около 550 нТ. С юго-востока и северо-запада аномалия ограничена зонами, где линейность поля разрушена, тем самым длина аномалии вдоль простирания составляет около 7 км. На северо-востоке и юго-западе на расстоянии около 5 км от наиболее градиентного участка осевой аномалии в магнитном поле отмечаются линейные положительные возмущения. Их амплитуда близка к 150 нТ.

Осевой зоне магнитной аномалии соответствует интенсивно расчлененный рельеф дна с наличием депрессий и возвышенностей с перепадом высот около ± 150 м при средней глубине, близкой к 1500 м. В рельефе отсутствуют морфоструктуры, непрерывно протягивающиеся вдоль

градиентной зоны. Следовательно, прямой связи магнитная аномалия с рельефом дна не имеет, но влияние отдельных морфоструктур сказывается в локальном положении изодинам. Отметим, что по данным ГБА «Звук-4» мощности осадков здесь незначительны.

Если положение оси спрединга выделять по градиентному участку осевой аномалии, то сопоставление профилей в плане позволяет предположить, что ось спрединга разбита на локальные отрезки, которые могут быть несколько смещены друг относительно друга под некоторым углом к генеральному простиранию осевой аномалии. К сожалению, большая высота съемки (1500 м), сравнительно невысокая точность привязки (± 100 —150 м) и определенное влияние локальных форм рельефа затрудняют уверенное выделение отрезков оси только по магнитному полю. Тем не менее в пределах осевой аномалии можно видеть линейные элементы поля, простирающиеся под 330° . В связи с этим отметим,

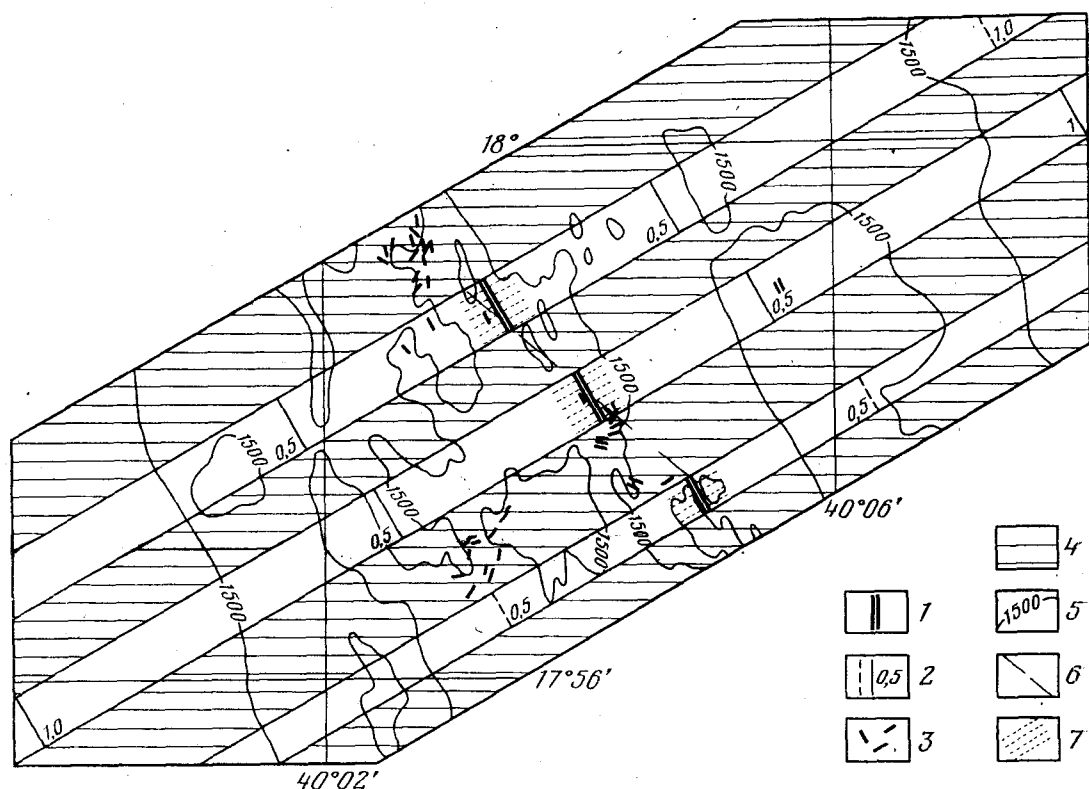


Рис. 2. Схема изохрон

1 — отрезки оси спрединга; 2 — изохроны, млн лет; 3 — простирание микроформ рельефа дна; 4 — зоны трансформных смещений; 5 — изобата 1500 м; 6 — генерализованная линия простирания осевой магнитной аномалии; 7 — высокомагнитный осевой блок пород

что определение простирания одной из трещин растяжения, проведенное в области вышеуказанных линейных элементов одним из авторов с борта подводного аппарата «Пайсис», показало, что направление трещины близко к 330° . Приблизительно такое же простирание имеет ряд линейных микроформ рельефа дна, выявленных с помощью ГБА «Звук-4».

Эти факты, на наш взгляд, не являются случайными и указывают, что генеральное простирание осевой аномалии отражает не простирание оси спрединга, а простирание осевой зоны, включающей в себя отрезки оси спрединга и смещающие их разломы. Простирание осевой зоны будет тем больше отклоняться от простирания оси, чем короче будут отрезки оси и длиннее смещающие их разломы. В районе исследований длина отрезков оказалась около 1 км, а величина трансформных смещений 0,5 км.

Определение в плане положения отрезков оси спрединга проводилось по модельным расчетам. Ограничение отрезков по простиранию проводилось по резким смещениям изодинам. Более уверенному ограничению таких отрезков способствовало то обстоятельство, что в зоне трансформных разломов, смещающих ось, наблюдается резкое изменение простирания микроформ рельефа, выявленных с помощью ГБА «Звук-4» (рис. 2).

Определение скоростей разрастания было проведено на основании модельных расчетов для участка геохронологической шкалы, соответствующего эпохам Брюнеса и Матуйамы. Глубина кровли магнитоактивного слоя была принята 1,5 км, его мощность 400 м [9], простирание оси 330° , а наклонение вектора намагниченности принято в соответствии с магнитной широтой 33° . Расчеты показали, что принятие однородной намагниченности в модели не позволяет получить удовлетворительного соответствия наблюдаемой и теоретической аномалий. Аналогичное обстоятельство отмечено Роезером [8].

С целью уточнения параметров модели были проанализированы магнитные свойства образцов пород дна, собранных на полигоне с борта подводного аппарата «Пайсис». В табл. 1 приведены данные значений естественной остаточной намагниченности I_n , начальной магнитной восприимчивости χ и фактора $Q_n = I_n / H_r \cdot \chi$ ($H_r = 0,385$ Э — напряженность современного геомагнитного поля в районе отбора образцов). Номер образца соответствует номеру погружения.

Из табл. 1 видно, что все образцы обладают высокими значениями I_n и Q_n , что свойственно базальтам рифтовых долин срединно-океанских хребтов [6 и др.]. В образце 62, отобранном из молодого вулкана, находящегося на глубине 1560 м, $I_n = 101 \cdot 10^{-3}$ ед. СГСМ. Образец 65 из другого молодого вулкана (глубина 1500 м) также обладает большой величиной $I_n = 64 \cdot 10^{-3}$ ед. СГСМ. Наряду с очень большими значениями I_n и Q_n наблюдались также средние и небольшие значения этих величин, причем разброс различных значений был довольно большим как на дублях одного и того же образца, так и от образца к образцу. Восприимчивость была, как правило, очень низкой, в среднем порядка 10^{-4} ед. СГСМ.

Была изучена стабильность I_n и стабильность остаточной намагниченности насыщения I_{rs} (табл. 2). Стабильность I_n , как это принято при палеомагнитных исследованиях, определялась путем размагничивания I_n в возрастающем по амплитуде переменном магнитном поле частотой 50 Гц. Характеристикой стабильности являлось медианное поле H_m , в котором I_n размагничивалась наполовину. Стабильность I_{rs} (9000 Э) оценивалась по напряженности антипараллельного постоянного магнитного поля (H_{cr}), после снятия которого $I_r = 0$. Все образцы обладают высокой стабильностью, причем особенно высокие значения H_m и H_{cr} обнаружены у образцов 61 и 65.

Высокая стабильность исследованных базальтов, а также низкие значения χ указывают на то, что ферримагнитная фракция пород представлена очень мелкими однодоменными зернами ферримагнитных минералов. Это связано с подводными условиями охлаждения магмы после ее излияния на поверхность дна моря.

Образцы, как правило, не ориентировались при отборе. Поэтому о направлении I_n можно судить только по косвенным признакам. Одним из таких признаков является ход кривой размагничивания I_n в переменном поле. Увеличение I_n при размагничивании в некотором диапазоне полей указывает на присутствие в образце двух противоположно направленных компонент I_n , одна из которых антипараллельна современному магнитному полю. На исследованных образцах наблюдался один такой случай (обр. 59). Кроме того, было отобрано два ориентированных образца, один из которых также оказался обратномагнитным. Таким образом, можно сделать вывод о наличии по крайней мере двух обратномагнитных образцов из девяти исследованных.

Магнитные характеристики образцов

Таблица 1

№ образца	Координаты, глубина	I_n , 10^{-3} Гс	κ , 10^{-6} СГСМ	Q_n	Средние значения
53-1	17°56,51' с. ш. 40°05,04' в. д. 1550 м	4,0	13,0	770	$I_{n\text{ ср}}=23,0 \cdot 10^{-3}$ $\kappa_{\text{ср}}=41,5 \cdot 10^{-6}$ $Q_{n\text{ ср}}=470$
		0,5	7,0	220	
		3,5	13,0	655	
		8,5	35,0	660	
		0,7	9,0	200	
		0,2	5,0	12	
		21,0	24,0	330	
		4,1	190	375	
		55,0	100	480	
		70,5	80	915	
		52,25	70	670	
57	17°58,10' с. ш. 40°04,05' в. д. 1310 м	46,5	93,5	1280	
59-2	17°58,29' с. ш. 40°03,85' в. д. 1430 м	35,0	221	410	$I_{n\text{ ср}}=32,5 \cdot 10^{-3}$ $\kappa_{\text{ср}}=120 \cdot 10^{-6}$ $Q_{n\text{ ср}}=890$
		19,0	47,5	1035	
		43,0	91	1225	
61-1	17°56,78' с. ш. 40°05,51' в. д. 1510 м	36,0	82	1155	
62-2	17°55,91' с. ш. 40°05,65' в. д. 1550 м	69,0	333	540	$I_{n\text{ ср}}=69 \cdot 10^{-3}$ $\kappa_{\text{ср}}=320 \cdot 10^{-6}$ $Q_{n\text{ ср}}=850$
		19,0	46,5	1040	
		73,0	324	590	
		82,0	410,5	520	
		101,0	479,5	550	
65-1	17°59,53' с. ш. 40°04,43' в. д. 1500 м	63,5	60,5	2730	$I_{n\text{ ср}}=50 \cdot 10^{-3}$ $\kappa_{\text{ср}}=55 \cdot 10^{-6}$ $Q_{n\text{ ср}}=2305$
		36,0	50,0	1880	
66-4	17°58,90' с. ш. 40°03,60' в. д. 1410 м	56,5	170	860	$I_{n\text{ ср}}=46,5 \cdot 10^{-3}$ $\kappa_{\text{ср}}=257 \cdot 10^{-6}$ $Q_{n\text{ ср}}=530$
		47,5	355	350	
		36,0	245	385	
67	17°58,75' с. ш. 40°03,30' в. д. 1540 м	37,0	130	370	

Суммарные средние значения: $I_{n\text{ ср}}=38,5 \cdot 10^{-3}$

$\kappa_{\text{ср}}=126 \cdot 10^{-6}$

$Q_{n\text{ ср}}=876$

Примечание. I_n — естественная остаточная намагниченность; κ — начальная магнитная восприимчивость; Q_n — фактор Кёнигсбергера. Все величины приведены в системе СГСМ. Для перевода в систему СИ следует воспользоваться следующими соотношениями: для намагниченности 1 А/м (СИ) = 10^{-3} Гс; для напряженности поля 1 А/м (СИ) = $4 \pi \cdot 10^{-3}$ Э; для восприимчивости 1 (СИ) = $=1/4 \pi$ (СГСМ).

Таблица 2

Характеристики стабильности остаточной намагниченности

№ образца	H_m , Э	H_{cr} , Э	I_{rs} (9000) ед. СГСМ	Q_n
53-1	205	260	2,0	470
57	210	290	1,4	1270
59-2	315	580	1,6	890
61-1	530	820	0,8	1150
62-2	175	260	1,9	650
65-1	600	920	1,0	2310
66-4	125	220	2,0	530
67	150	295	2,6	270

Примечание. H_m — величина медианного поля; H_{cr} — остаточно-коэрцитивная сила; I_{rs} — остаточная намагниченность насыщения; Q_n — фактор Кёнигсбергера.

но сказать, что в современную фазу спрединга поступление новых порций океанической коры происходит в полосе не более 900 м. У оси спрединга могут одновременно присутствовать породы, отличающиеся по возрасту на 75 тыс. лет.

Авторы благодарят руководство экспедиции за предоставленную возможность использования образцов пород дна, собранных ПА «Пайсис». Авторы признательны Г. М. Валяшко за возможность ознакомиться с геомагнитными данными НИС «Профессор Штокман».

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев В. В., Жаворонков С. В., Римский-Корсаков Н. А., Стефанов Г. А., Сычев В. А. Глубоководный буксируемый комплекс.— XIV Тихоокеанский геологический конгресс. Тез. докл. Секция F1, физическая океанология. М.: Изд. ВИНТИ, 1979, с. 162.
2. Десятова Т. Ф., Трухин В. И. Возрастные критерии морен Поволжья.— Докл. АН СССР, 1978, т. 213, № 3, с. 657—660.
3. Allan T. A preliminary magnetic survey in the Red Sea and Gulf of Aden.— *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 1964, v. 6, p. 199—214.
4. Allan T., Morelli C. The Red Sea.— In: *The Sea*, 1970, v. 1, p. 493—542.
5. Hall S., Andreasen G., Girdler R. Total intensity magnetic anomaly map of the Red Sea and adjacent coastal areas, a description and preliminary interpretation.— *Mineral Resources Bull. Djiddah*, 1977, v. 22, p. F1-F15.
6. Johnson P., Atwater T. Magnetic study of basalts from the Mid Atlantic Ridge latitude 37 N.— *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1977, v. 88, N 5, p. 621—636.
7. Le Pichon X., Francheteau J. A plate tectonic analysis of the Red Sea — Gulf of Aden areas.— *Tectonophysics*, 1978, v. 46, p. 369—406.
8. Roeser H. A detailed magnetic survey of the southern Red Sea.— *Geol. Jb.*, 1975, B. 13, S. 131—153.
9. Talwani M., Windisch C., Langseth M. Reykjanes ridge crest: A detailed geophysical study.— *J. Geophys. Res.*, 1971, v. 76, p. 473—517.
10. Zaki M., Zohair N., Izzeldin Y., Eltayeb M., Horn R., Le Lann F., Tixeront M. Oceanic opening: the Red Sea case.— *Abstracts of the 26 International Geological Congress*, v. 2, Paris, 1980, p. 367.

Институт океанологии
им. П. П. Ширшова АН СССР,
Москва

Поступила в редакцию
19.XI.1980

A. A. SCHREIDER, V. I. TRUKHIN, V. A. SYCHEV, N. A. RIMSKY-KORSAKOV

DETAILED GEOMAGNETIC STUDIES OF THE RIFT ZONE IN THE SOUTHERN PART OF THE RED SEA

The detailed geomagnetic and geomorphological studies carried out from aboard the R/V «Aquanaut» integrated with the data of the side-scan sonar and the high-frequency profiler towed near the sea bottom, as well as the results of the visual observations of the sea bottom with the aid of PISCES submersible have made it possible to establish that the spreading axis is divided into sections the trend of which (330°) differs from the generalized trend of the axial magnetic anomaly (310°). In the area under study the sections appeared to be nearly 1 km long, the transform displacements being — 0.5 km. The model calculations show that spreadings is asymmetrical. During Brunhes time the accretion rate of the African plate was 6 mm/year and that of the Arabian plate was 7 mm/year. Earlier the accretion rate was 9 and 11 mm/year, respectively.