

УДК 550.831,838; 551.241

А.А. Шайхуллина¹, Е.П. Дубинин², А.А. Булычев³, Д.А. Гилод⁴**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРОЕНИЯ ТЕКТОНОСФЕРЫ ПОДНЯТИЙ КОНРАД И АФАНАСИЯ НИКИТИНА ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН)**

Выполнено двумерное плотностное моделирование по профилям, пересекающим подводные горы поднятия Конрад (Лена, Обь и Марион Дюфре), которые находятся в юго-западной части Индийского океана, и поднятия Афанасия Никитина, расположенного в центральной части Индийского океана. По предположениям ряда исследователей подводная гора Марион Дюфре и поднятие Афанасия Никитина образовались в результате действия горячей точки 83–73 млн лет назад. Результаты двумерного плотностного моделирования показали сходное строение коры и литосферы, что подтверждает вероятность их одновременного образования 83–73 млн лет назад в результате действия единой горячей точки. Кроме того, на основании полученных результатов подтверждается предположение, что подводные горы Лена и Обь на поднятии Конрад сформировались впоследствии за счет возобновления деятельности горячей точки под Антарктической плитой.

Ключевые слова: потенциальные поля, земная кора, поднятия Конрад и Афанасия Никитина, Индийский океан.

A two-dimensional density modeling is performed for profiles crossing the seamounts of the Conrad Rise (Lena, Ob and Marion Dufresne), which are located in the southwestern part of the Indian Ocean and the Afanasy Nikitin Rise, which is located in the central part of the Indian Ocean. According to the assumptions of a number of researchers, the seamount Marion Dufresne and the Afanasy Nikitin Rise were formed as a result of the hotspot 83–73 million years ago. The results of two-dimensional density modeling showed a similar structure of the crust and lithosphere, which confirms the probability of their formation 83–73 million years ago as a result of the action of a single hotspot. Also on the basis of the obtained results, the assumption is confirmed that the seamounts Lena and Ob of the Conrad Rise were formed afterwards due to the continuation of the action of the hotspot under the Antarctic Plate.

Key words: potential fields, earth crust, Conrad and Afanasy Nikitin Rises, the Indian ocean.

Введение. Работа продолжает серию статей авторского коллектива, посвященных изучению подводных поднятий Индийского океана [Булычев и др., 2013, 2015, 2016; Шайхуллина и др., 2018а, б].

Поднятие Конрад включает в себя цепь подводных гор Обь, Лена и Марион Дюфре, которая протягивается между 40° и 53° в.д. с северо-запада на юго-восток в юго-западной части Индийского океана между котловинами Эндерби и Крозе. Подводные горы Обь и Лена сложены базальтами двух серий — субщелочной трахибазальт-трахитовой и щелочной базанит-тефритовой [Борисова, 1997]. Поднятие Афанасия Никитина расположено в Центральной котловине Индийского океана между 82° и 84° в.д. и представляет собой протяженную в меридиональном направлении магматическую структуру длиной около 400 км и шириной около 150 км, с многочисленными подводными горами

вулканического происхождения (рис. 1, 2). Плато, на котором формировались вулканические постройки, сложено оливин-порфировыми базальтами, сменяющимися вверх по склону породами базальт-трахибазальтовой серии [Борисова, 1997; Mahoney et al., 1996; Borisova et al., 2001].

Материалы и методы исследований. В работе использованы новейшие глобальные модели и компиляции: цифровые модели рельефа дна GEBCO [Weatherall et al., 2015], гравитационного поля и его градиента [Sandwell et al., 2014], магнитного поля [Maus et al., 2009], глобальная модель эволюции границ плит [Matthews et al., 2016].

На сегодняшний день предполагается, что подводные горы Марион Дюфре, Лена и Обь поднятия Конрад и основание поднятия Афанасия Никитина сформировались в результате действия горячей точки 83–73 млн лет назад вблизи Индо-

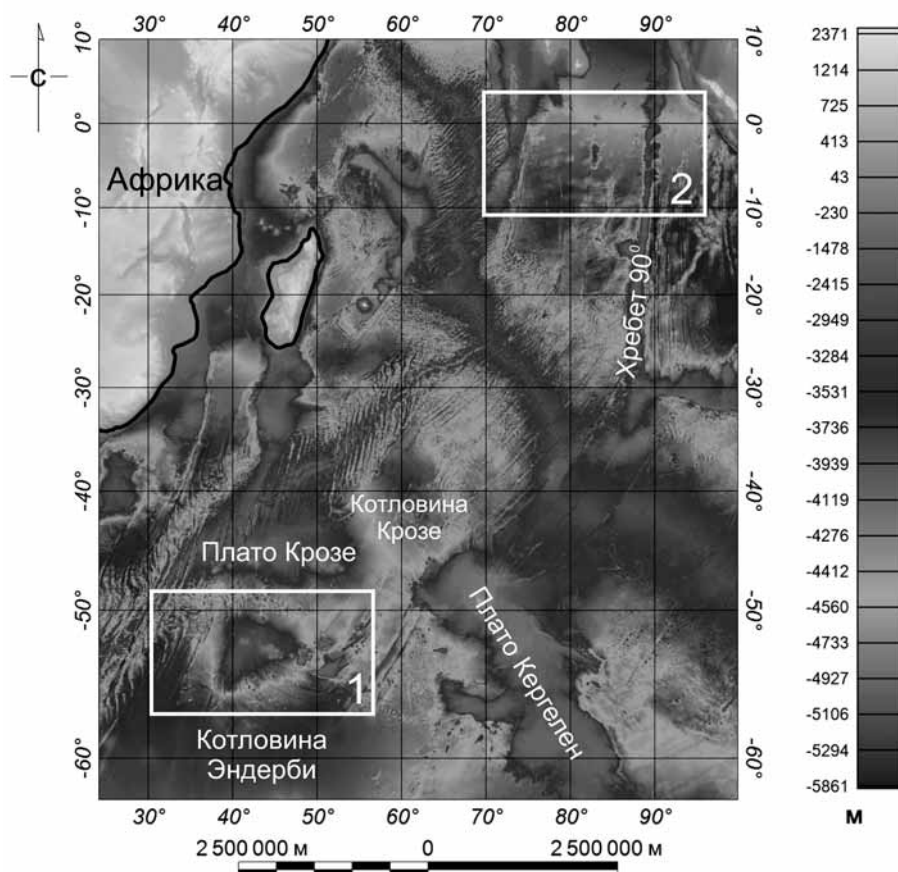
¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, аспирантка; *e-mail*: anzhela.shaiikhullina@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Музей землеведения, заведующий сектором геодинамики Музея землеведения МГУ; *e-mail*: edubin08@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, заведующий кафедрой; *e-mail*: aabul@geophys.geol.msu.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, науч. С.; *e-mail*: gilod_dolores@mail.ru

Рис. 1. Обзорная схема изучаемых структур на батиметрической основе (прямоугольники — районы исследования): 1 — область поднятия Конрад; 2 — область поднятия Афанасия Никитина



Антарктического спредингового хребта [Krishna et al., 2014]. В начальной фазе спрединга под воздействием горячей точки образовалась подводная гора Марион Дюфре на Антарктической плите, а затем — плато поднятия Афанасия Никитина на Индийской плите. После этого горячая точка вновь сместилась под Антарктическую плиту, образовав подводные горы Обь и Лена. Основание поднятия Афанасия Никитина осталось изолированной структурой на Индийской плите, на которой за счет последующего вулканизма возникли плосковершинные горы — гайоты [Krishna et al., 2014]. Впоследствии поднятие Афанасия Никитина в палеоцене под воздействием горячей точки Кергелен перемещалась к северу в составе Индийской плиты [Krishna, 2003].

Результаты исследований и их обсуждение.

В таблице приведены геолого-геофизические параметры для подводных гор поднятия Конрад и поднятия Афанасия Никитина. Показано, что как для подводной горы Марион Дюфре, так и для поднятия Афанасия Никитина характерны среднее значение аномалий силы тяжести в редукции Буге (~240 мГал) и линейные магнитные аномалии северо-западного простирания [Maus et al., 2009].

Кроме того, на основе современных геолого-геофизических данных выполнено двумерное плотностное моделирование по профилям, пересекающим подводные горы поднятия Конрад и поднятие Афанасия Никитина (рис. 2, 3). Модели

включают в себя пять основных слоев. Первый слой — водный, подошва которого определяется рельефом дна (плотность $1,03 \text{ г/см}^3$). Второй слой — осадочный, его мощность определена по данным [Whittaker et al., 2013] (плотность 2 г/см^3). Третий слой — слой океанической коры, подошва которой определяется границей Мохо (переменная плотность от $2,6$ до $2,8 \text{ г/см}^3$). Четвертый слой — слой подкоровой литосферы (плотность $3,31\text{--}3,33 \text{ г/см}^3$) с подошвой, глубина которой рассчитана по аналитической зависимости «возраст дна — мощность литосферы» [Лукашевич, Приставакина, 1984; Muller et al., 2008]. Пятый слой — астеносфера (плотность $3,3 \text{ г/см}^3$). Переходный слой между подкоровой литосферой и океанической корой (плотность 3 г/см^3) при моделировании по профилям, пересекающим поднятие Афанасия Никитина и подводные горы Марион Дюфре и Лена (профили 1, 2 и 4 соответственно), а также по профилю 3, пересекающему подводную гору Лена, разделен на два слоя с значениями плотности $2,9$ и $3,1 \text{ г/см}^3$, что суммарно создает тот же эффект, что и объединенный слой.

По результатам двумерного плотностного моделирования тектоносферы поднятий Конрад и Афанасия Никитина подводная гора Марион Дюфре и поднятие Афанасия Никитина имеют схожее строение: мощность коры составляет около 15 км , а граница литосферы прослеживается на глубине 75 км . Подводные горы Обь и Лена

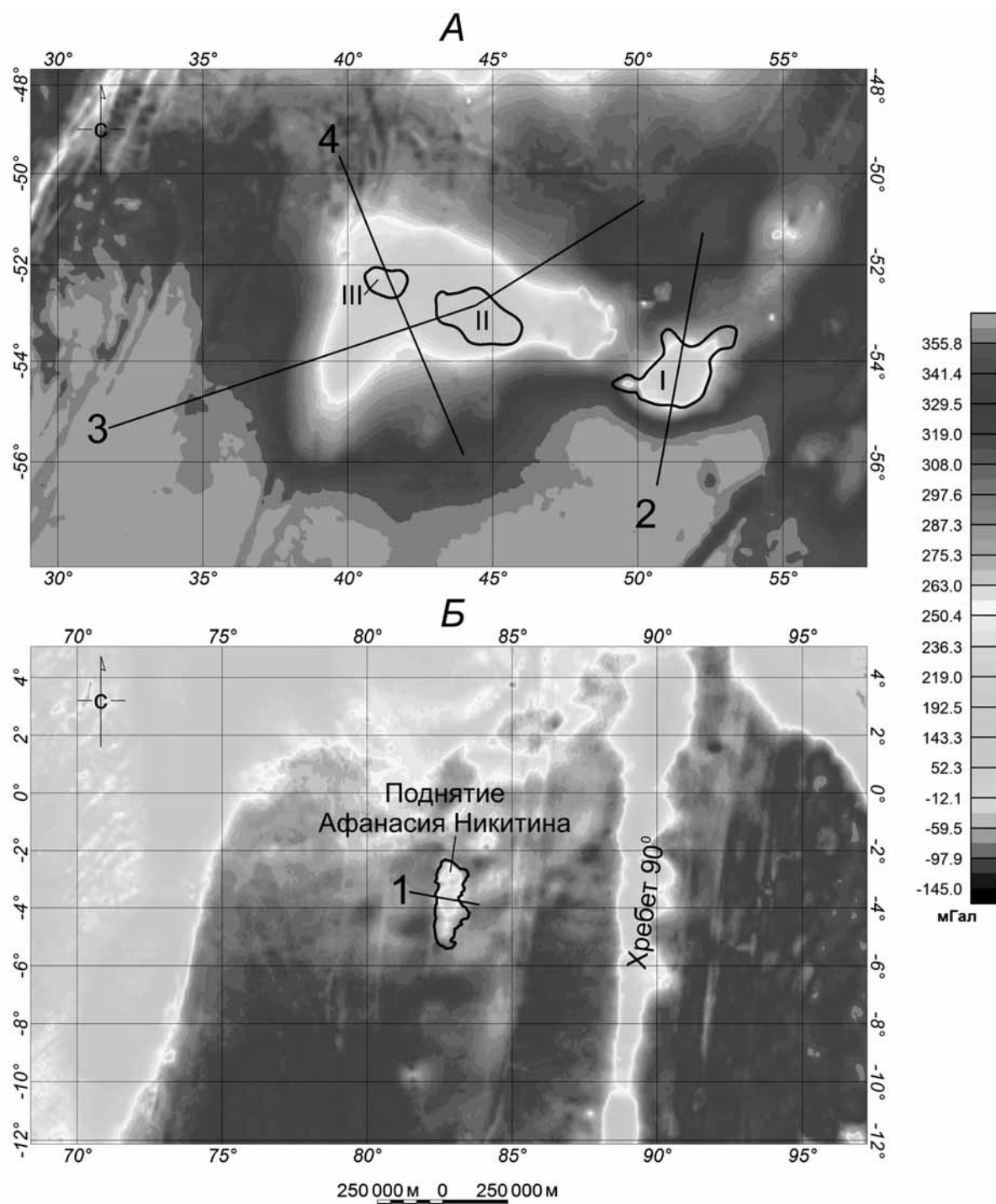


Рис. 2. Карты аномалий Буге с указанием расположения профилей двумерного плотностного моделирования, приведенных на рис. 3: А — область поднятия Конрад; Б — область поднятия Афанасия Никитина. Подводные горы поднятия Конрад: I — Марион Дюфре; II — Лена; III — Обь

также имеют схожее строение, но отличаются от подводной горы Марион Дюфре и поднятия Афанасия Никитина большей мощностью коры (20–25 км), граница литосферы расположена на глубине 80 км.

Заключение. Таким образом, на основании геолого-геофизических данных и двумерного плотностного моделирования можно сделать вывод о том, что поднятие Афанасия Никитина и подводная гора Марион Дюфре имеют схожее строение.

Это подтверждает предположения, сделанные в работах [Krishna, 2003; Krishna et al., 2014], о том, что эти структуры сформировались в одно время и вблизи спредингового хребта. Утолщенная кора подводных гор Лена и Обь подтверждает предположение, что после образования поднятия Афанасия Никитина и подводной горы Марион Дюфре горячая точка продолжала действовать под Антарктической плитой, в результате чего они образовались на общем основании.

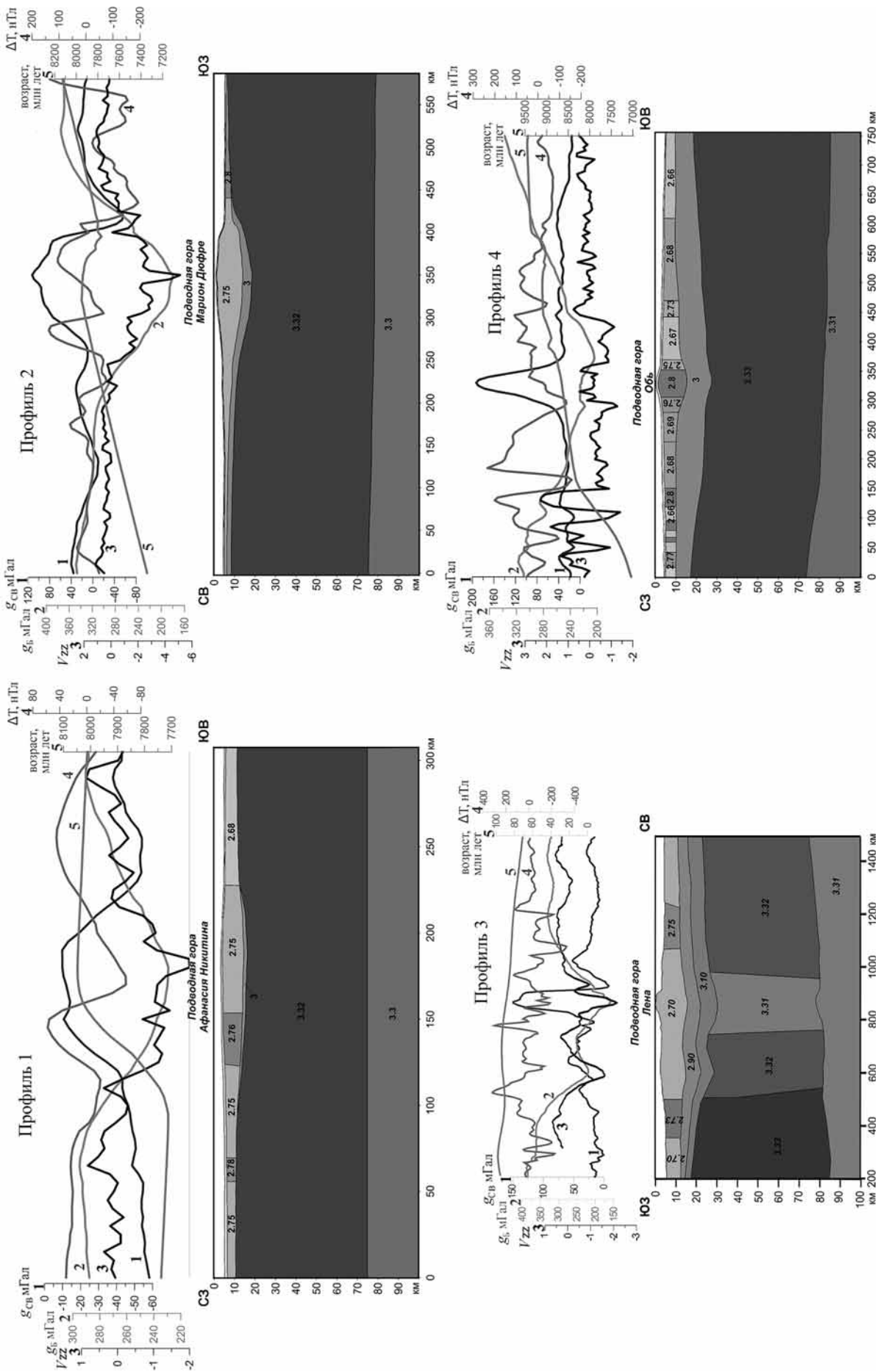


Рис. 3. Результаты двумерного плотностного моделирования по профилям пересекающим подводную гору Афанасия Никитина (1) и поднятие Конрад: Марион Дюфре (2), Лена (3) по [Булычев и др., 2015], Обь (4). Местоположение профилей показано на рис. 2. Графики над моделями (номер кривой соответствует номеру шкалы): 1 — аномалии силы тяжести в свободном воздухе ($\Delta g_{\text{св}}$, мГал); 2 — аномалии в редукции Буге ($\Delta g_{\text{Б}}$, мГал); 3 — вертикальный градиент силы тяжести (V_{zz} , Э); 4 — аномальное магнитное поле (ΔT , нТл); 5 — возраст океанического дна в млн лет

Геолого-геофизические параметры поднятий Конрад и Афанасия Никитина

Поднятие/ параметры	Подводные горы поднятия Конрад			Поднятие Афанасия Никитина
	Обь	Лена	Марион Дюфре	
Тип коры	океаниче- ская	океаниче- ская	океани- ческая	океаниче- ская
Возраст, млн лет, по [Muller et al., 2008]	80			75÷90
Мощность осадков, м, по [Whittaker et al., 2013]	850	800÷820	400÷600	300÷1000
Мощность земной коры, км	16	17÷22	13÷15	9÷13
Δg_B^1 , мГал	195÷240 (222)	137÷240 (180)	175÷285 (240)	226÷280 (240)
Высоко- частотная компонента (Буге) ² , Э	-2,8÷2,2 (-0,05)	-10,4÷6,6 (-1,4)	-13,4÷1,9 (-1,2)	-2,1÷1,7 (-1,1)
Средне- частотная компонента (Буге) ³ , мГал	-22,7÷- 17,9 (-20,8)	-28,4÷- 16,9 (-26)	-17,4÷0,7 (-9,6)	-7,8÷0 (-4,3)

Поднятие/ параметры	Подводные горы поднятия Конрад			Поднятие Афанасия Никитина
	Обь	Лена	Марион Дюфре	
Тип коры	океаниче- ская	океаниче- ская	океани- ческая	океаниче- ская
Низкоча- стотная компонента (Буге) ⁴ , мГал	295÷299 (297)	292÷298 (295)	288÷302 (295)	279÷293 (280)
Распре- деление аномалий магнитного поля	линейные аномалии северо-за- падного простираения			линейные аномалии северо-за- падного простира- ния

Примечания. ¹ Для аномалий силы тяжести в редукции Буге приведены экстремальные значения (минимум—максимум); ² высокочастотная компонента — поле вертикального градиента аномалий силы тяжести в редукции Буге на уровне 0 км (приведены экстремальные значения (минимум—максимум)); ³ среднечастотная компонента (поле разностных аномалий), полученная путем пересчета аномалий силы тяжести в редукции Буге вверх на 75 и 150 км (приведены экстремальные значения (минимум—максимум)); ⁴ низкочастотная компонента — пересчет поля аномалий силы тяжести в редукции Буге вверх на 200 км (приведены экстремальные значения (минимум—максимум)). В скобках везде — среднее значение.

Благодарности. Авторы благодарят Н.М. Сушевскую, В.А. Рашидова и О.М. Сусанину за полезные советы и рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борисова А.Ю. Геохимия и петрология магматизма поднятия Афанасия Никитина и подводных гор Обь и Лена поднятия Конрад (Индийский океан): Автореф. канд. дисс. М., 1997.

Булычев А.А., Гилод Д.А. Двумерное плотностное моделирование тектоносферы структур юго-западного сектора акватории Индийского океана // Геофизика. 2013. № 1. С. 55–66.

Булычев А.А., Гилод Д.А., Дубинин Е.П. Двумерное структурно-плотностное моделирование строения тектоносферы акватории южной части Индийского океана // Геофизические исследования. 2015. Т. 16, № 4. С. 15–35.

Булычев А.А., Гилод Д.А., Дубинин Е.П. Строение литосферы северо-восточной части Индийского океана по результатам двумерного структурно-плотностного моделирования // Геотектоника. 2016. № 3. С. 42–62. DOI:10.7868/S0016853X16030048

Лукашевич И.П., Приставакина Е.И. Плотностная модель верхней мантии под океанами // Физика Земли. 1984. № 2. С. 103–107.

Шайхулина А.А., Дубинин Е.П., Булычев А.А., Гилод Д.А. Тектоносфера плато Кергелен по геофизическим данным // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2018а. Т. 37, № 1. С. 43–50.

Шайхулина А.А., Дубинин Е.П., Булычев А.А., Гилод Д.А. Тектоносфера поднятий Крозе и Конрад по геофизическим данным // Геофизика. 2018б. № 2. С. 44–51.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00127).

Borisova A.Yu., Belyatsky B.V., Portnyagin M.V., Sushchevskaya N.M. Petrogenesis of an olivine-phyric basalts from the Aphanasey Nikitin Rise: evidence for contamination by cratonic lower continental crust // J. Petrol. 2001. Vol. 42. P. 277–319.

Krishna K.S. Structure and evolution of the Afanasy Nikitin seamount, buried hills and 85°E Ridge in the northeastern Indian Ocean // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. Vol. 209. Iss. 3–4. P. 379–394.

Krishna K.S., Bull J.M., Ishizuka O. et al. Growth of the Afanasy Nikitin seamount and its relationship with the 85°E Ridge, northeastern Indian Ocean // J. Earth Syst. Sci. 2014. Vol. 123, N 1. P. 33–47.

Mahoney J.J., White W.M., Upton B.G.J. et al. Beyond EM-1: Lavas from Afanasy–Nikitin Rise and the Crozet Archipelago, Indian Ocean // Geology. 1996. Vol. 24, N 7. P. 615–618.

Matthews K.J., Maloney K.T., Zahirovic S. et al. Global plate boundary evolution and kinematics since the late Paleozoic // Global and Planet. Change. 2016. Vol. 146. P. 226–250. DOI:10.1016/j.gloplacha.2016.10.002

Maus S., Barckhausen U., Berkenbosch H. et al. EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements // Geochem., Geophys., Geosyst. 2009. Vol. 10, N 8. 12 p.

Muller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean

crust // *Geochem., Geophys., Geosyst.* 2008. Vol. 9, N 4. 19 pp. DOI:10.1029/2007GC001743.

Sandwell D.T., Muller R.D., Smith W.H.F. et al. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure // *Science*. 2014. Vol. 346, N 6205. P. 65–67. DOI: 10.1126/science.1258213. URL: <http://www.ngdc.noaa.gov/>, <http://topex.ucsd.edu>. (дата обращения: 12.09.2018)

Weatherall P., Marks K.M., Jakobsson M. et al. A new digital bathymetric model of the world's oceans //

Earth and Space Sci. 2015. Vol. 21, N 2. P. 331–345. DOI:10.1002/2015EA000107.

Whittaker J.M., Goncharov A., Williams S.E. et al. Global sediment thickness data set updated for the Australian-Antarctic Southern Ocean // *Geochem., Geophys., Geosyst.* 2013. Vol. 14, N 8. P. 3297–3305. DOI:10.1002/ggge.20181.

Поступила в редакцию

Поступила с доработки

Принята к публикации