

## СТРОЕНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ ФОЛКЛЕНДСКОГО ПЛАТО И БАНКИ МОРИСА ЮИНГА ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 2025 Д.А. Рыжова<sup>1</sup>, М.В. Коснырева<sup>1</sup>, Е.П. Дубинин<sup>1,2</sup>, А.А. Булычев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия, 119991; e-mail: m.kosnyreva@yandex.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Музей землеведения, Москва, Россия, 119991

Поступила в редакцию 10.04. 2025; после доработки 08.07.2025; принята в печать 25.09.2025

Фолклендское плато и банка Мориса Юинга располагаются в южной части Атлантического океана вблизи Южноамериканской континентальной окраины. Тектоническое происхождение и строение литосферы данной территории до сих пор остается дискуссионным. С целью изучения тектоносферы исследуемых структур выполнен анализ аномалий поля силы тяжести в редукции Буге и в свободном воздухе, а также плотностное моделирование вдоль трех протяженных профилей широтного простирания. При построении моделей использовались данные из открытых источников включающие рельеф дна океана, аномалии поля силы тяжести в редукции за свободный воздух и в редукции Буге, возраст океанического дна, данные о мощности осадков и сейсмомография. По результатам двумерного плотностного моделирования показано, что структурный подводный выступ вблизи Южноамериканской континентальной окраины сложен гетерогенной корой разного генезиса: Фолклендское плато сложено континентальной корой, а банка Мориса Юинга представляет собой раздробленный блок континентальной коры, пронизанный интрузиями, бассейн Фолклендского плато, по всей видимости, подстилается океанической корой.

*Ключевые слова:* Фолклендское плато, банка Мориса Юинга, плотностное моделирование, тектоносфера.

Исследуемый район характеризуется большим разнообразием тектонических структур (Шрейдер и др., 2011; König, Jokat, 2006; Torsvik et al., 2010). Начало процесса формирования тектонических структур, предположительно происходило в палеозое, когда в процессе разделения Америки, Африки и Антарктиды образовались террейны, объединившиеся в единый блок — Фолклендское плато (Dalziel et al., 2013; Eagles, Vaughan, 2009; König, Jokat, 2006; Storey, Kyle, 1997; Torsvik et al., 2010).

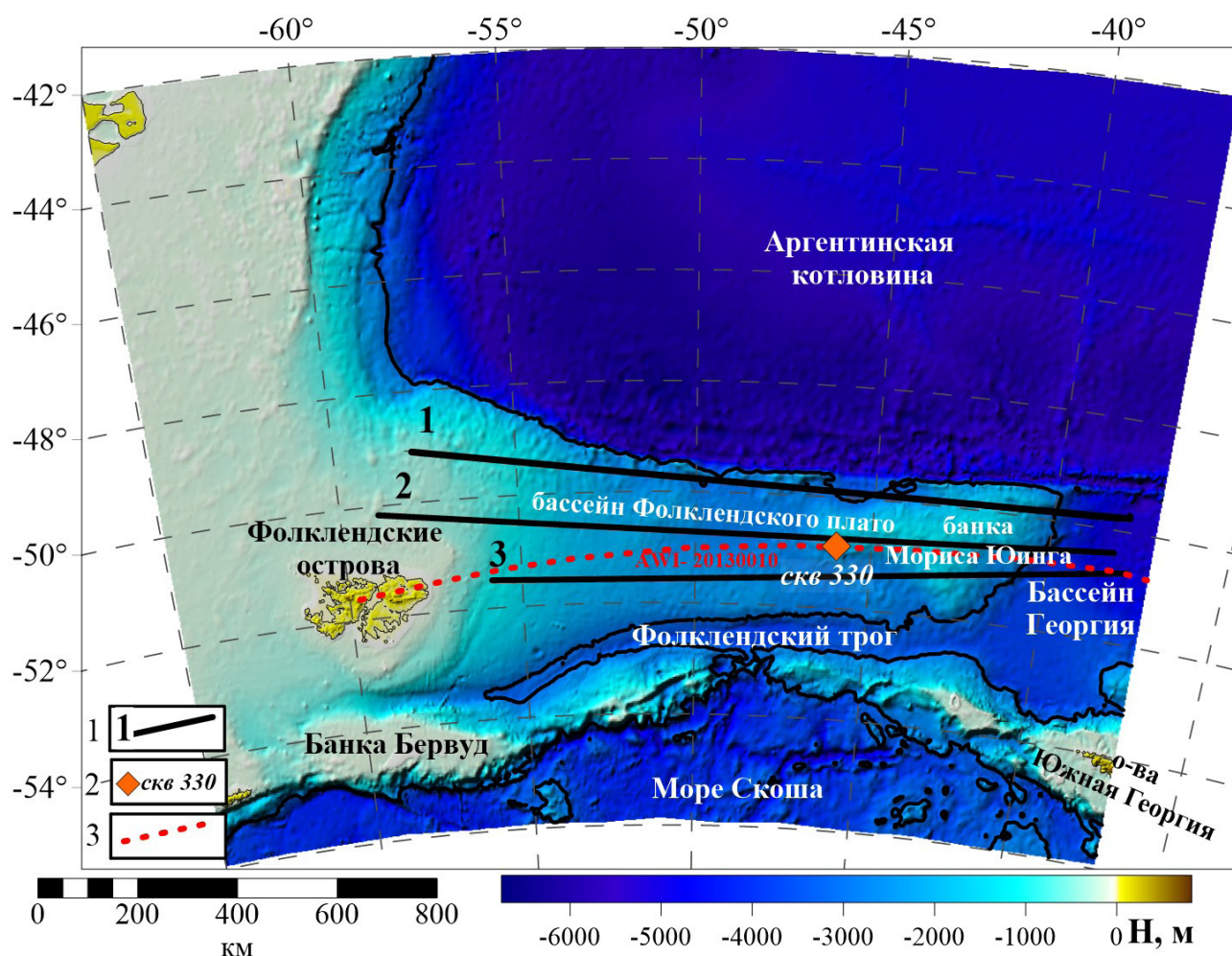
Фолклендское плато представляет собой подводный выступ вблизи Южноамериканской континентальной окраины, который простирается примерно на 1800 км к востоку от Фолклендских островов (рис. 1). Морское дно плавно наклоняется на восток от Фолклендских островов, после чего Фолклендское плато приобретает довольно ровное дно на средней глубине 2600 м. Дальше на восток находится возвышенная морфоструктура, банка Мориса Юинга,

со слегка закругленной вершиной на высоте менее 1500 м. С севера Фолклендское плато и банка Мориса Юинга ограничены Агульяс-Фолклендским разломом, а с юга — Фолклендским трогом, представляющим собой южную границу плиты Скоша.

Представление о тектоническом строении Фолклендского плато и банки Мориса Юинга до сих пор остается предметом дискуссии. В реконструкциях плит Фолклендское плато рассматривалось по-разному:

– как жесткий блок континентальной коры, входящей в состав Южноамериканской плиты, заключенной между Африканской и Антарктической плитами в юрский период на ранней стадии распада Гондваны с ее современной протяженностью в юрский период (Eagles, Vaughan, 2009);

– как небольшой блок континентальной коры претерпевший растяжение в юрский период и также входящий в состав Южноамериканской плиты (König, Jokat, 2006; Torsvik et al., 2010)



**Рис. 1.** Батиметрическая карта Фолклендского бассейна (Sandwell et al., 2014): 1 — положение профилей плотностного моделирования; 2 — местоположение скважины 330 глубоководного бурения; 3 — положение сейсмического профиля AWI-20130010. Черной кривой показана изолиния 3000 м.

**Fig. 1.** Bathymetric map of the Falkland Basin (Sandwell et al., 2014). 1 — position of the density modeling profiles; 2 — location of the deep-sea drilling well 330. 3 — AWI-20130010 seismic profile. The black curve is the 3000 m isoline of.

– как литосферный блок, испытывающий независимые движения между различными континентальными блоками (микроплитами) во время распада Гондваны; в этом случае предполагается наличие океанической коры под бассейном Фолклендского плато (Dalziel et al., 2013; Storey, Kyle, 1997).

Наличие океанической коры толщиной до 20 км под бассейном Фолклендского плато предполагается также в работе (Schimschal, Jokat, 2019), в которой считается, что рифтинг между Фолклендскими островами и блоком Мориса Юинга начался ~178 млн лет назад и прекратился ~154 млн лет назад.

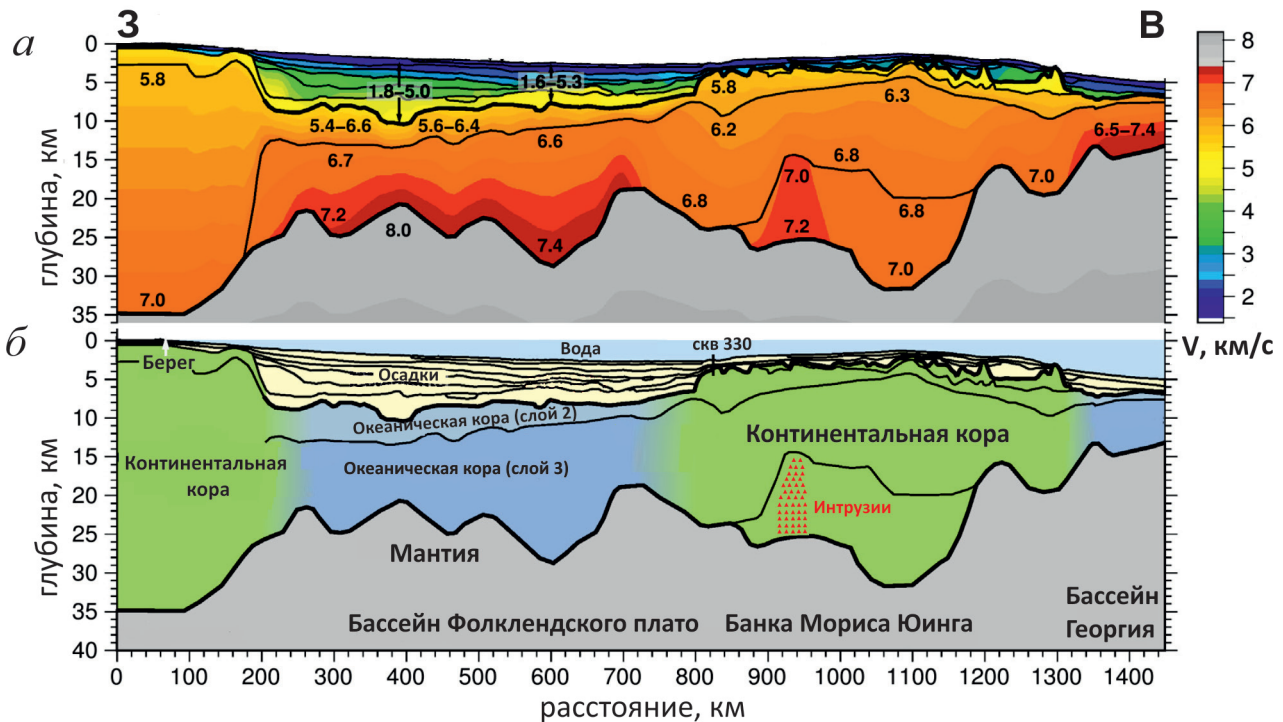
Результаты широкоугольного сейсмического профилирования вдоль профиля AWI-20130010 длиной 1450 км, протягивающегося от Фолклендских островов до бассейна Георгия (Schimschal, Jokat, 2019) показали (рис. 2), что под Фолклендскими островами и Фолклендским

плато залегает континентальная кора толщина которой уменьшается к востоку от 35 км до 22 км. Под бассейном Фолклендского плато в области шириной 450 км фиксируется океаническая кора толщиной 20 км, которая переходит в кору континентального типа под блоком Мориса Юинга. Здесь толщина коры достигает 29 км и постепенно утоняется к востоку, переходя в океаническую кору бассейна Георгия, где ее толщина составляет 7.1 км (Schimschal, Jokat, 2019).

С целью изучения тектоносферы исследуемых структур выполнен анализ аномалий поля силы тяжести в редукции Буге и в свободном воздухе, а также плотностное моделирование вдоль трех протяженных профилей широтного простирания. При построении моделей использовались данные из открытых источников включающие:

– аномалии силы тяжести в свободном воздухе (Sandwell et al., 2014);

## СТРОЕНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ ФОЛКЛЕНДСКОГО ПЛАТО



**Рис 2.** Строение коры вдоль профиля AWI-20130010 (по Schimschal, Jokat, 2019 с упрощением). Положение профиля см. на рис. 1. *a* — значения скоростей сейсмических волн (в км/с); *b* — геологическая интерпретация строения коры.

**Fig 2.** The structure of the Earth's crust along the AWI-20130010 profile (Schimschal and Jokat, 2019, simplified). The position of the profile is shown in Fig.1. *a* — values of the seismic wave velocities (in km/s); *b* — geological interpretation of the profile.

– аномалии силы тяжести в редукции Буге, рассчитанных с помощью авторской программы с учетом сферичности Земли ( $\sigma_{сл} = 2.67 \text{ г/см}^3$ ) с дискретностью в две угловые минуты (Булычев и др., 1998);

– модель сейсмотомографии LLNL-G3Dv3 (Simmons et al., 2012);

– модель земной коры GEMMA (Reguzzoni et al., 2014);

– данные о мощности осадков (Whittaker, 2013);

– данные возраста океанического дна (Muller et al., 2008);

части, вблизи Агульяс-Фолклендского разлома, наблюдается область отрицательных значений аномалий поля силы тяжести амплитудой до  $-40 \text{ мГал}$  и протяженностью  $\sim 700 \text{ км}$ . С южной части Фолклендское плато ограничивает линейно-вытянутая интенсивно отрицательная аномалия (до  $-170 \text{ мГал}$ ), субширотного направления, связанная с Фолклендским торгом. В гравитационном поле в редукции Буге средние значения поля на акватории Фолклендского плато имеют положительный знак и амплитуду аномалий от  $150 \text{ мГал}$  до  $320 \text{ мГал}$  (рис. 2б). В центральной части наблюдается положительная аномальная зона, интенсивность которой на  $120 \text{ мГал}$  выше, чем над прилегающей банкой Мориса Юинга.

### АНАЛИЗ АНОМАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В СВОБОДНОМ ВОЗДУХЕ И РЕДУКЦИИ БУГЕ

### ПЛОТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Структура аномального гравитационного поля в свободном воздухе во многом отражает рельеф поверхности морского дна (рис. 2а). Форма аномалий практически полностью повторяет форму поднятий. На Фолклендском плато в целом наблюдаются положительные аномалии гравитационного поля в свободном воздухе, со значениями, превышающими  $75 \text{ мГал}$  над банкой Мориса Юинга. В северной

Для создания двумерных плотностных моделей по профилям через геологические структуры Фолклендского плато и банки Мориса Юинга, были проанализированы данные о глубине залегания границ основных слоев земной коры, их плотности, а также имеющаяся геолого-геофизическая информация (Müller et al., 2008; Reguzzoni et al., 2014; Simmons et al., 2012; Whittaker, 2013). Эффективность подобного

моделирования напрямую связана с наличием структурного каркаса, отображающего ключевые границы, обуславливающие гравитационные аномалии. Обычно этот каркас формируется на основе детальных сейсмических моделей строения земной коры. В отсутствии детальных сейсморазведочных данных зачастую прибегают к использованию различных аналитических и эмпирических зависимостей, полученных по результатам многолетних исследований.

Плотностные модели тектоносферы, изучаемые до глубины 100 км, представлены пятью основными слоями, гравитационный эффект от которых, исходя из анализа структуры аномального гравитационного поля, имеет разные частотные и амплитудные характеристики. Плотности в слоях модели задавались постоянными в пределах отдельных блоков.

Первый слой — водный, подошва которого определяется рельефом дна океана (Sandwell et al., 2014), а плотность его составляет  $1.03 \text{ г/см}^3$ . Второй — слой осадков, мощность которого определена по данным (Whittaker, 2013) со средней плотностью  $2.1 \text{ г/см}^3$ . Третий слой — слой океанической коры, подошва этого слоя определяется границей Мохоровичича (Reguzzoni et al., 2014) с переменными значениями плотности ( $2.7\text{--}2.88 \text{ г/см}^3$ ). Четвертый слой — слой консолидированной мантии, подошва которого рассчитывалась по аналитической зависимости «возраст дна — мощность литосферы» (Сорохтин, 1973):

$$H_n = 7.5 + 6.6 \cdot \sqrt{t},$$

где  $t$  — возраст литосферы в млн лет (Müller et al., 2008).

Данный слой имеет переменную плотность в зависимости от возраста литосферы и составляет от  $3.27 \text{ г/см}^3$  до  $3.31 \text{ г/см}^3$ . Пятый слой — астеносферы, кровля которого проведена по подошве литосферы, плотности варьируют в пределах от  $3.25 \text{ г/см}^3$  до  $3.29 \text{ г/см}^3$ . Минимальное расхождение в результате подбора не превышало  $\pm 2$  мГал.

Все интерпретационные профили были проведены с запада на восток (рис. 1, 3). Структурно-плотностной профиль 1, протяженность которого составляет более 1400 км, занимает самое северное положение (рис. 4). Мощность земной коры под Фолклендским плато составляет  $\sim 35$  км, уменьшаясь к востоку в сторону бассейна Фолклендского плато до  $\sim 22$  км, а под банкой Мориса Юинга снова увеличивается до  $\sim 26$  км. Бассейн Фолклендского плато подстилается корой с повышенными значениями плотности, которые варьируют от  $2.79 \text{ г/см}^3$  до  $2.84 \text{ г/см}^3$ , что соответствует океаническому типу коры. Под банкой Мориса Юинга слой океанической коры разделяется два слоя, что свидетельствует о наличии здесь фрагментов континентальной

коры. Первый верхний слой имеет плотность  $2.70 \text{ г/см}^3$ , второй «базальтовый» представлен переменной и несколько пониженной для данного слоя плотностью  $2.73\text{--}2.80 \text{ г/см}^3$ , что может свидетельствовать о наличии здесь интрузий более кислого состава.

Структурно-плотностной профиль 2 (рис. 5), протяженностью  $\sim 1450$  км, занимает центральное положение. Мощность земной коры немного увеличена по сравнению с профилем 1 и варьирует в пределах  $25\text{--}38$  км. Под Фолклендским плато слой океанической коры так же разделяется на два слоя, при этом верхний слой имеет мощность большую по сравнению с северным профилем —  $\sim 17$  км. В нижележащем «базальтовом» слое значения плотности меняются от  $2.78 \text{ г/см}^3$  до  $2.81 \text{ г/см}^3$ . Банка Мориса Юинга имеет разделенный верхний слой, мощность которого не превышает 10 км. Плотность во втором слое варьирует в пределах  $2.74\text{--}2.84 \text{ г/см}^3$ .

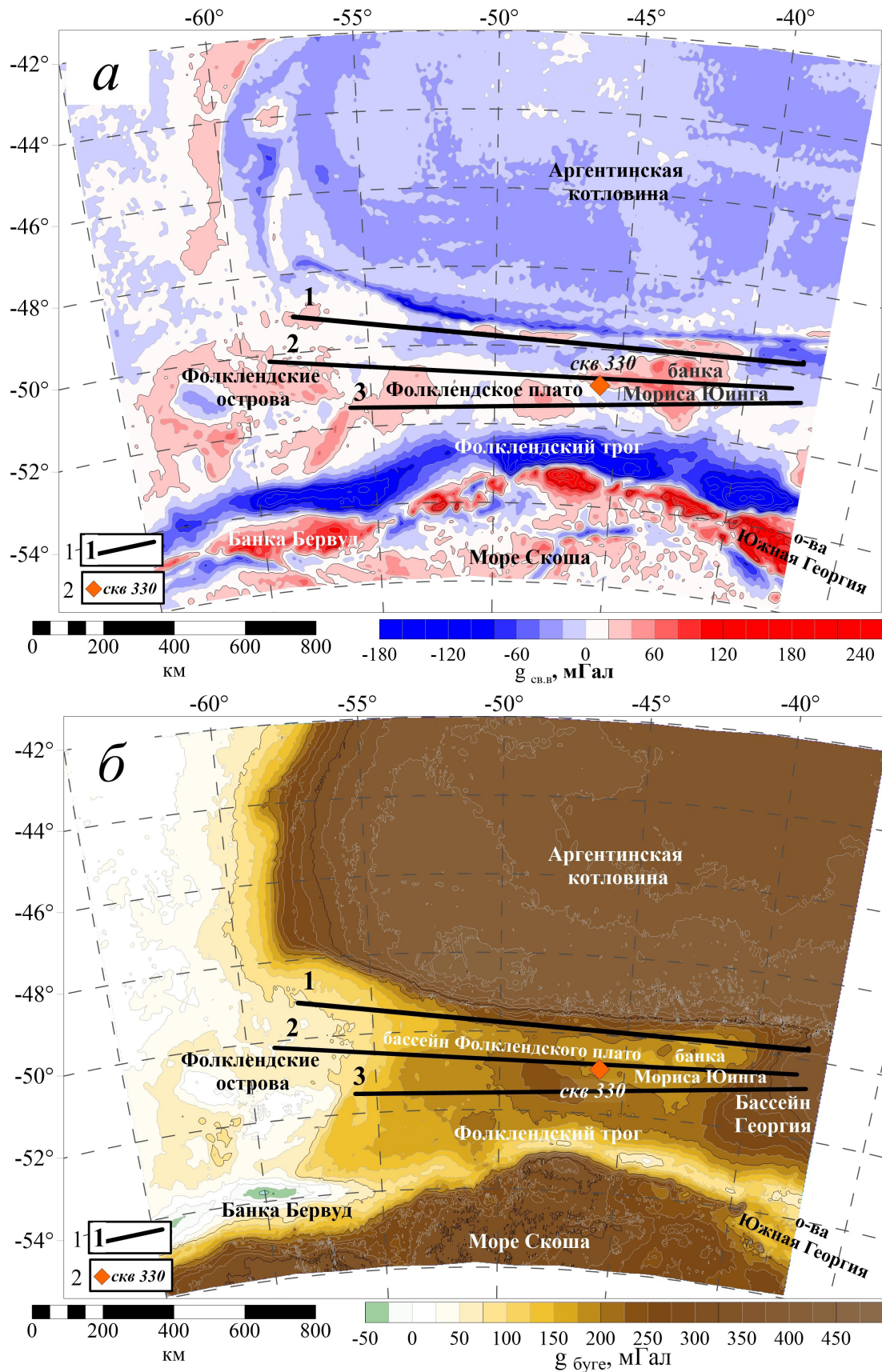
Структурно-плотностной профиль 3 расположен в южном окончании плато, недалеко от Фолклендского торго (рис. 6). Протяженность профиля составляет  $\sim 1300$  км, мощность земной коры под плато уменьшается до 30 км. Наблюдается небольшой мощности (до 10 км) верхний слой с плотностью  $2.7 \text{ г/см}^3$  под Фолклендским плато, плотность «базальтового» слоя варьирует в пределах  $2.78\text{--}2.83 \text{ г/см}^3$ . Под банкой Мориса Юинга нижележащий слой имеет меньшую плотность от  $2.75 \text{ г/см}^3$  до  $2.81 \text{ г/см}^3$  и мощность до 27 км. В бассейне Фолклендского плато значения плотности слоя коры увеличиваются и достигают  $2.83 \text{ г/см}^3$ , что может говорить о наличии океанической коры.

## ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Все рассмотренные профили пересекают Фолклендское плато, бассейн Фолклендского плато и банку Мориса Юинга, выходя в котловину Георгия, которая имеет океаническую кору. На всех интерпретационных профилях под исследуемыми структурами наблюдается кора, сложенная двумя слоями. Верхний слой с плотностью  $2.70 \text{ г/см}^3$ , а под ним располагается слой с плотностью  $2.74\text{--}2.82 \text{ г/см}^3$ . Мощность земной коры под Фолклендским плато уменьшается с севера на юг и изменяется в пределах  $30\text{--}38$  км, а под банкой Мориса Юинга варьирует от 25 км до 28 км. Плотность коры бассейна Фолклендского плато также меняется с севера на юг, имея на севере максимальное значение  $2.84 \text{ г/см}^3$ , а на юге —  $2.81 \text{ г/см}^3$ .

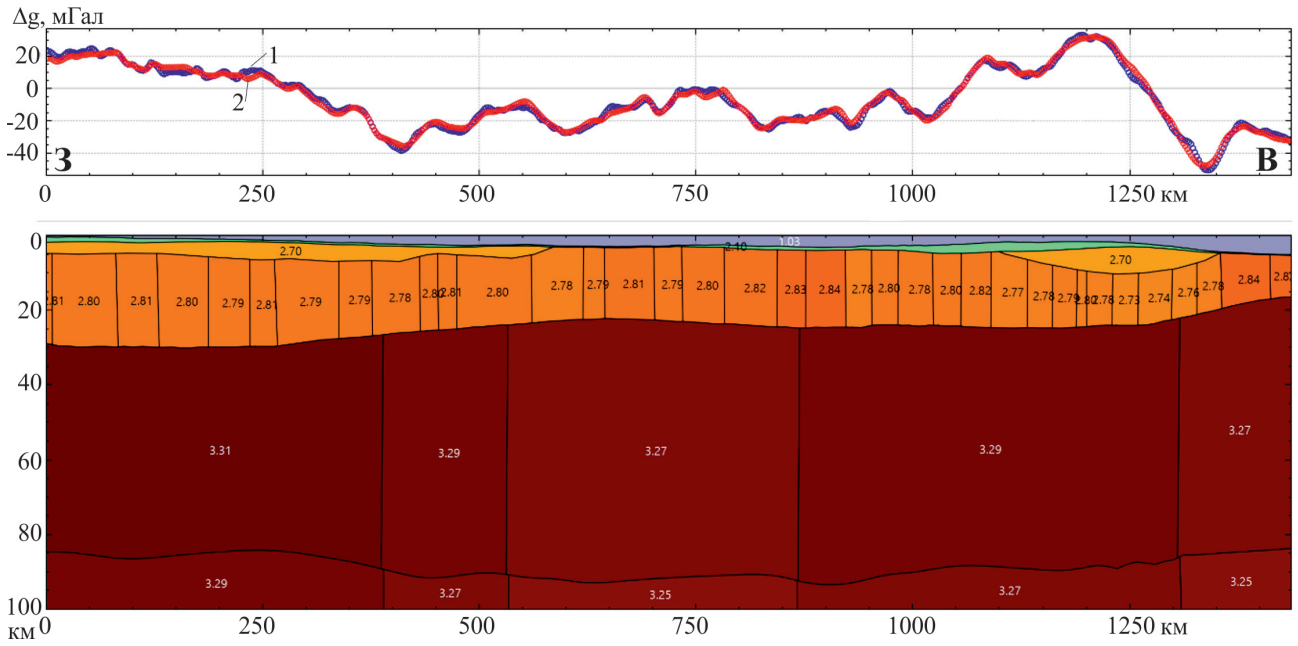
На основании предшествующих геолого-геофизических данных и проведенного нами

СТРОЕНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ ФОЛКЛЕНДСКОГО ПЛАТО



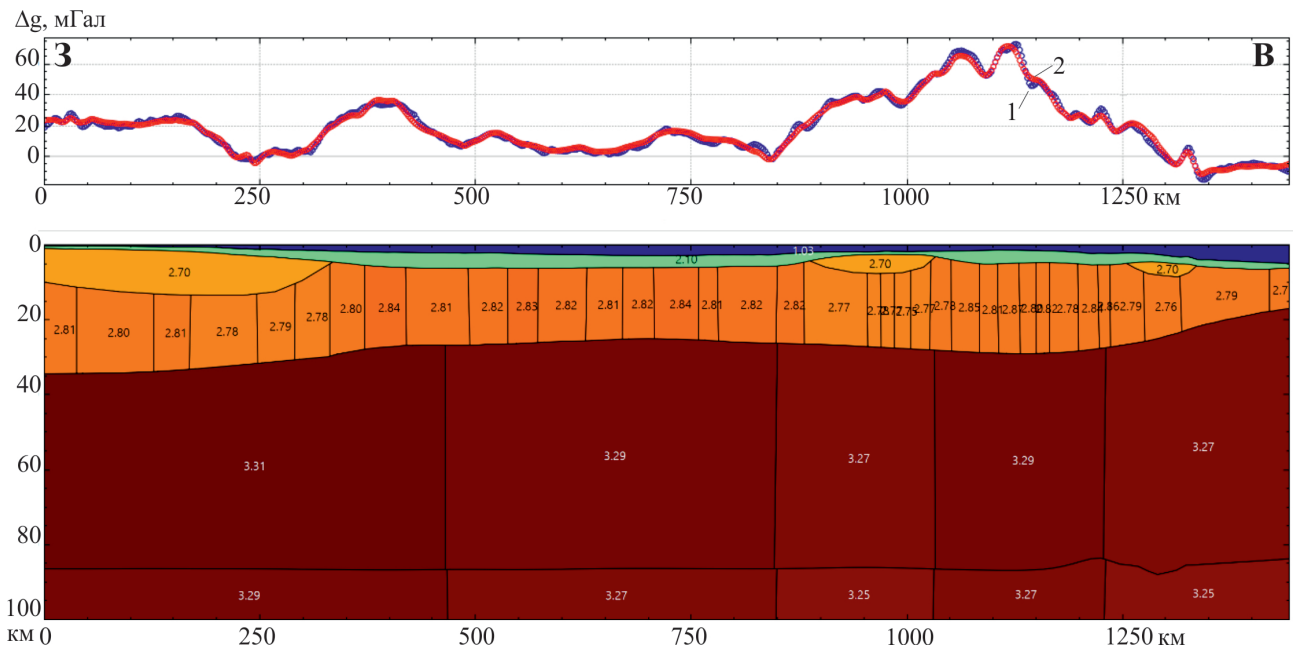
**Рис. 3.** Аномалии поля силы тяжести в свободном воздухе (Sandwell et al., 2014) (а) и в редуции Буге (2.67 г/см<sup>3</sup>) (б). Условные обозначения см. на рис. 1.

**Fig. 3.** Anomalies of the gravity field in free air (Sandwell et al., 2014) (а), in the Bugey reduction (2.67g/cm<sup>3</sup>) (б). Symbols see Fig. 1



**Рис. 4.** Структурно-плотностная модель тектоносферы вдоль профиля 1. Цифры на разрезе — значения плотности,  $g/cm^3$ . Цифры на графиках: 1 — наблюдаемое поле силы тяжести в свободном воздухе; 2 — рассчитанное от модели поле силы тяжести в свободном воздухе. Местоположение профилей представлено на рис. 1, 3.

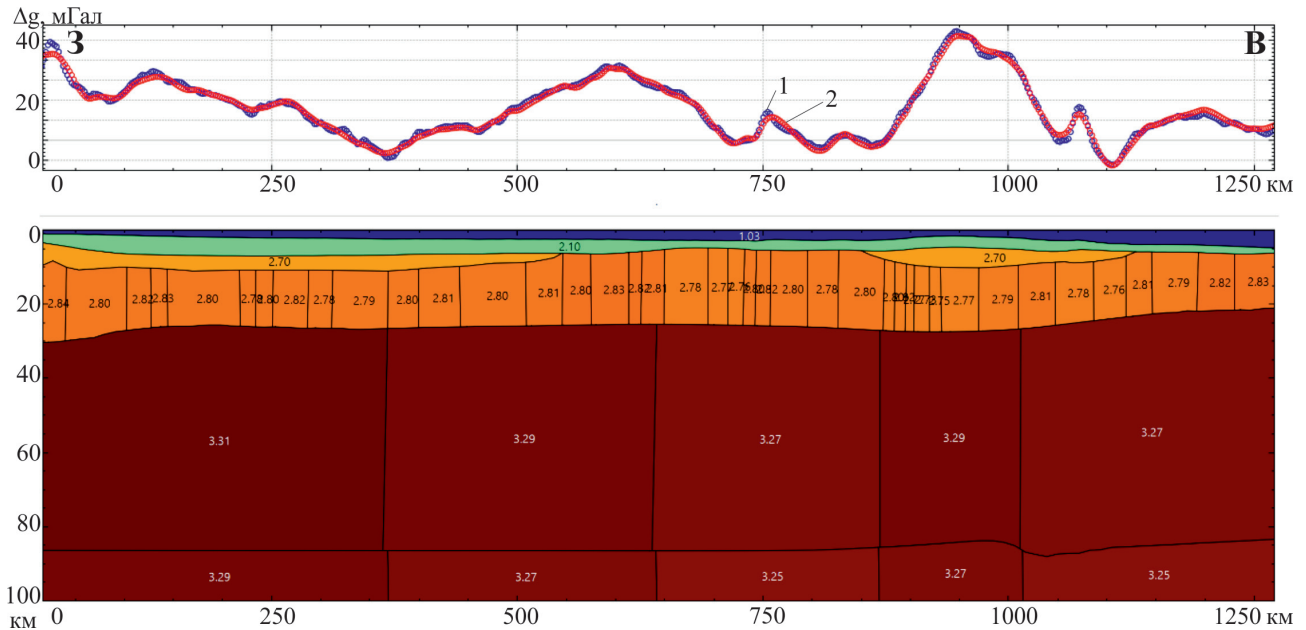
**Fig. 4.** Structural and density model of the tectonosphere along Profile 1. Figures are density values,  $g/cm^3$ . 1 — observed gravity field in free air; 2 — gravity field in free air calculated from the model. The location of the profiles is shown in Figs. 1, 3.



**Рис. 5.** Структурно-плотностная модель тектоносферы вдоль профиля 2. Цифры на разрезе — значения плотности,  $g/cm^3$ . Цифры на графиках: 1 — наблюдаемое поле силы тяжести в свободном воздухе; 2 — поле силы тяжести в свободном воздухе рассчитанное от модели. Местоположение профилей представлено на рис. 1, 3.

**Fig. 5.** Structural and density model of the tectonosphere along Profile 2. Figures are density values,  $g/cm^3$ . 1 — observed gravity field in free air; 2 — gravity field in free air calculated from the model. The location of the profiles is shown in Figs. 1, 3.

СТРОЕНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ ФОЛКЛЕНДСКОГО ПЛАТО



**Рис. 6.** Структурно-плотностная модель тектоносферы вдоль профиля 3. Цифры на разрезе — значения плотности, г/см<sup>3</sup>. Цифры на графиках: 1 — наблюдаемое поле силы тяжести в свободном воздухе; 2 — поле силы тяжести в свободном воздухе рассчитанное от модели. Местоположение профилей представлено на рис. 1, 3.

**Fig. 6.** Structural and density model of the tectonosphere along Profile 3. Figures are density values, g/cm<sup>3</sup>. 1 — observed gravity field in free air; 2 — gravity field in free air calculated from the model. The location of the profiles is shown in Figs. 1, 3.

двумерного плотностного моделирования, можно сделать вывод о том, структурный подводный выступ вблизи Южноамериканской континентальной окраины, который простирается примерно на 1800 км к востоку от Фолклендских островов до банки Мориса Юинга, сложен гетерогенной корой разного генезиса: Фолклендское плато сложено континентальной корой, а банка Мориса Юинга представляет собой раздробленный блок континентальной коры, пронизанный интрузиями, бассейн Фолклендского плато, по всей видимости, подстилается океанической корой. Такое гетерогенное строение коры предполагает возможность кинематических перестроек границ плит, сопровождаемых растяжением литосферы и спредингом в районе бассейна Фолклендского плато и обособлением микроблока банки Мориса Юинга в процессе разделения Африканской, Южноамериканской и Антарктической плит. Более детальную эволюционную картину структур этого региона авторы надеются получить в своих дальнейших исследованиях, которые будут направлены на построение трехмерных моделей изучаемых структур.

Исследование выполнено в рамках государственных заданий МГУ имени М.В. Ломоносова № АААА-А16-116042010088-5 и № 5-15-2021/ЦИТИС: 121042200088-6.

Список литературы [References]

- Бульчев А.А., Кривошея К.В., Мелихов В.Р. и др. Вычисление аномального гравитационного потенциала и его производных на сфере // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 1998. № 2. С. 42–46 [Bulychev A.A., Krivosheya K.V., Melikhov V.R. et al. Vychislenie anomal'nogo gravitatsionnogo potentsiala i ego proizvodnykh na sfere // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya. 1998. № 2. P. 42–46 (in Russian)].
- Сорохтин О.Г. Зависимость топографии срединно-океанических хребтов от скорости раздвижения дна океана // Доклад АН СССР. 1973. Т. 208. № 6. С. 1338–1341 [Sorokhtin O.G. Dependence of the topography of the mid-ocean ridges on the rate of spreading of the ocean floor // Doklady Earth Sciences. 1973. V. 208. № 6. P. 1338–1341 (in Russian)].
- Чепиго Л.С. GravInv2D: Программное обеспечение для двумерного плотностного моделирования // Свидетельство о регистрации прав на ПО. 2019. №2019662512. EDN WQCWJH [Chepigo L.S. GravInv 2D: Programmnoe obespechenie dlya dvumernogo plotnostnogo modelirovaniya // Svidetel'stvo o registratsii pravna PO. 2019. №2019662512. EDN WQCWJH (in Russian)].
- Шрейдер А.А., Мазо Е.Л., Бульчев А.А. и др. Структура литосферы Фолклендского бассейна // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 920–929 [Schreider A.A., Mazo E.L., Bulychev A.A. et al. The structure of the Falkland basin's lithosphere // Oceanology. 2011. V. 51. № 5. P. 866–875. <https://doi.org/10.1134/S0001437011050171>

- Dalziel I.W.D., Lawver L.A., Norton I.O. et al.* The Scotia Arc: genesis, evolution, global significance // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 2013. V. 41. P. 767–793. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124155>
- Eagles G., Vaughan A.P.M.* Gondwana breakup and plate kinematics: business as usual // *Geophysical Research Letters*. 2009. V. 36. L10302. <https://doi.org/10.1029/2009GL037552>
- König M., Jokat W.* The Mesozoic breakup of the Weddell Sea // *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*. 2006. V. 111. P. 1–28. <https://doi.org/10.1029/2006JB004035>
- Müller R.D., Sdrolias M., Gaina C., Roest W.R.* Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2008. V. 9. № 4. P. 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007GC001743>
- Reguzzoni M., Sampietro D.* GEMMA: An Earth crustal model based on GOCE satellite data // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2015. V. 35. P. 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.04.002>
- Sandwell D.T., Müller D.R., Smith W.H.F. et al.* New global marine gravity from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure // *Science*. 2014. V. 346. Iss. 6205. P. 65–67. <https://doi.org/10.1126/science.1258213>
- Schimschal C.M., Jokat W.* The Falkland Plateau in the context of Gondwana breakup // *Gondwana Research*. 2019. V. 68. P. 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.11.011>
- Simmons N.A., Myers S.C., Johannesson G., Matzel E.* LLNL-G3Dv3: Global P wave tomography model for improved regional and teleseismic travel time prediction // *Journal Geophysical Research*. 2012. V. 117. № B10. 28 p. <https://doi.org/10.1029/2012JB009525>
- Storey B.C., Kyle P.R.* An active mantle mechanism for Gondwana breakup // *South African Journal of Geology*. 1997. V. 100. P. 283–290.
- Torsvik T.H., Rousse S., Smethurst M.A.* A new scheme for the opening of the South Atlantic Ocean and the dissection of an Aptian salt basin // *Geophysical Journal International*. 2010. V. 183. P. 29–34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04728.x>
- Whittaker J.M., Goncharov A., Williams S.E. et al.* Global sediment thickness data set updated for the Australian-Antarctic Southern Ocean // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2013. V. 14. № 8. P. 3297–3305. <https://doi.org/10.1002/ggge.20181>

## FALKLAND PLATEAU AND THE MAURICE EWING BANK TECTONOSPHERE BY GRAVITY DATA

D.A. Ryzhova<sup>1</sup>, M.V. Kosnyreva<sup>1</sup>, E.P. Dubinin<sup>1,2</sup>, A.A. Bulychev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Moscow State University, Moscow, Russia, 119991

<sup>2</sup>Museum of Earth Science, Moscow State University, Moscow, Russia, 119991

Received April 10, 2025; revised July 08, 2025; accepted September 25, 2025

The Falkland Plateau and Maurice Ewing Bank are located in the southern part of the Atlantic Ocean near the South America continental margin. The tectonic origin and lithosphere structure of this territory remain controversial so far. To study the tectonosphere of these structures, gravity field anomalies in Bouguer reduction and in free air reduction were analyzed. Density modeling along three latitudinal profiles was also performed. Data from open sources including seafloor topography, free-air and Bouguer-corrected gravity field anomalies, ocean floor age, sediment thickness data, and seismic tomography were used. Two-dimensional density modeling showed that underwater prominence near the South America continental margin includes crust blocks of different genesis: the Falkland Plateau is composed of continental crust, the Maurice Ewing Bank represents a fragmented block of continental crust penetrated by intrusions, and the basin underlying the Falkland Plateau may be underlain by oceanic crust.

*Keywords:* Falkland Plateau, Maurice Ewing Bank, density modeling, tectonosphere.