

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ДНА КОТЛОВИНЫ ДЖЕЙН (МОРЕ УЭДДЕЛЛА).

*А. А. Шрейдер¹, А. Э. Сажнева¹, М. С. Ключев¹, А. Л. Бреховских¹, Ф. Бохойо²,
Х. Галиндо-Зальдивар³, Ц. Моралес⁴, Е. И. Евсенко¹*

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, Россия, Москва,
Нахимовский пр-т, 36,
e-mail: aschr@ocean.ru*

² *Испанский институт геологии и минералогии, 28003, Испания, Мадрид, Риос Росас, 23*

³ *Гранадский университет, 18010, Испания, Гранада s/n С.Р., ул. дель Осписио*

⁴ *Андалузский Институт наук о Земле, 18071, Испания, Гранада Армилла С.Р., ул. Де лас
Пальмерас, 4
e-mail: alexe@ocean.ru*

Введение.

Вопросы геологического развития северо-запада моря Уэдделла в контексте разрушения континентального моста между Южной Америкой и Антарктидой и эволюцией дна переходной зоны от Тихого океана к Атлантическому, до настоящего времени остаются предметом дискуссий [2, 5, 7 – 13, 15 – 19, 21, 23, 26, 28 – 33, 40 – 43, 46, 47, 54, 55 и многие другие]. Решение этих вопросов имеет принципиальное значение для исследования взаимодействия [52] литосферной плиты Скотия и Антарктической литосферной плиты, а также для определения первичного пространственного положения элементов американо-антарктического континентального моста и восстановления на количественной основе начальных этапов раскрытия дна северо-запада моря Уэдделла во взаимосвязи с инициализацией американо-антарктического сектора южного циркумполярного океанского течения - важнейшего элемента эволюции климата южного полушария Земли и планеты в целом. Существенную роль в изучении палеогеодинамики севера моря Уэдделла играет восстановление эволюции дна, в районах, окружающих Южно-Оркнейский микроконтинент, том числе и в котловине Джейн (Рис. 1).

Современное состояние геолого-геофизических исследований.

В многочисленных опубликованных исследованиях по северу моря Уэдделла нет, прежде всего, единого подхода к географической номенклатуре структур изучаемого района. Так, в работе [6] употребляется термин Южно-Оркнейский микроконтинентальный блок, в то время как в исследованиях [3, 4, 7] употребляются термин Южно-Оркнейский микроконтинент. Сам Южно-Оркнейский микроконтинент представлен в литературе либо схематично без расчленения (например, [23]), либо с выделением ряда дополнительных внутренних тектонических блоковых структур и впадин-трогов, среди которых наиболее значительными [44, 53] представляются впадины Эри (Airy) (или Эйра в [6]), Буге (Bouguer), Этвеш (Eotvos), Ньютон (Newton). В работе [43] для котловины к востоку от Южно-Оркнейского микроконтинента употребляется термин Джейн (Jane basin), в то время как в работе [31] на ее месте располагается котловина Джейн-Дискавери (Jane-Discovery basin). С юга эту котловину ограничивает [43] вытянутая банка Джейн (Jane Bank), на месте которой в работах [6, 37] размещается хребет Эндьюранс (Endurance ridge), наиболее восточная часть которого продолжается поднятием Иризар (Irizar highs [43]).

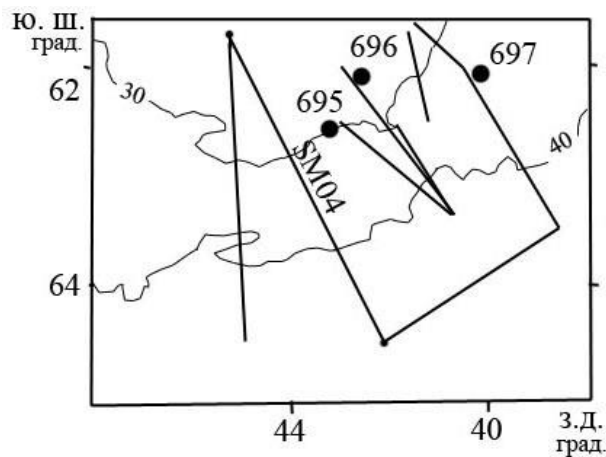


Рисунок 1. Расположение мест глубоководного бурения (большие точки с номерами скважин) и примеры географического расположения профилей(линии) геофизических наблюдений различных экспедиций по [19,20, 24, 47, 56 и др.]в котловине Джейн. Малыми точками обозначены концы профиля SM04, приведенного на рисунке 2. Изобаты в сотнях метров.

В литературе отсутствуют и единые представления о взаимном расположении различных тектонических элементов континентального моста, связывавшего в прошлом Южную Америку и Антарктиду. Так в работе [18] эти элементы никак не обозначены, трудно распознаваемы и (по характеру представления в рисунках) часто обозначаются в ней как промежуточные блоки (intermediate blocks [18]). При этом в работе [54] контуры элементов моста представлены настолько схематично, что нет уверенности в восстановлении даже их географических названий. В других работах такого рода неопределенность преодолевается путем введения условных обозначений (например, [17, 41]).

Важнейшие тектонические события раскола американо-антарктического континентального моста на северо-западе моря Уэдделла связаны с отколом Южно-Оркнейского микроконтинента от Антарктического полуострова, происходившим по системе осей спрединга в котловинах Поуэлл и Джейн. Важную роль в исследованиях палеогеодинамики северо-запада моря Уэдделла и смежных с ним областей могли бы играть сведения о тектонических особенностях дна. Но лежащие в фундаменте таких построений линейные магнитные аномалии и трансформные разломы в этих областях до настоящего времени не являются точно определёнными и, будучи основанными на ограниченном количестве геолого-геофизических данных, различаются своей рисовкой в различных публикациях [24, 25, 30, 31, 34, 45, 47, 50 и др.].

На основании комплексной геолого-геофизической интерпретации данных аномального магнитного поля с учетом сведений о сейсмичности, тепловом потоке и результатах глубоководного бурения в скважинах 695, 696, 697, а также в скважинах на периферии котловины Поуэлл 1100, 1102, 1103 [19, 24, 52, 47] и др.) был проведен анализ выделенных в литературе границ литосферных плит, линейных магнитных аномалий и их палеогеодинамической интерпретации с позиций концепции тектоники литосферных плит. При этом в одной из наиболее глубоких из них в котловине Джейн в скважине 697 глубина забоя составляла 3480м, попытка достичь кристаллический фундамент в процессе бурения оказалась безуспешной. Всего было пройдено 322.9 м в осадках, древнейшие из которых имели раннеплиоценовый возраст, а ниже выделяются еще более 600 метров осадочных пород [47]. В целом изученный бурением осадочный разрез представлен хемипеллагическими илами и терригенными песчаниками, уплотняющимися с глубиной. Важнейшим обстоятельством является то, что полученные в процессе бурения в котловине Джейн данные являются первыми сведениями о вещественном составе пород, подстилающих ее дно.

В работе [20] представлены результаты испанских геомагнитных исследований в котловине Джейн. Моделирование линейных магнитных аномалий в рамках концепции спрединга дна проводилась путем общепринятого визуального сравнения модельной и наблюдаемой кривых аномального магнитного поля, что позволило идентифицировать последовательность хронов C5AD - C5D. При этом ось спрединга приурочена к локальной ундуляции аномального магнитного поля, соответствующей хрону C5ADn. Ряд работ посвящен представлению положения палеоосей спрединга. в плане.

В работе [48] в котловине Джейн каких-либо осей спрединга не выделяется вообще. В работе [23] востоке котловины выделяется одна ось и допускается существование второй более западной оси, примыкающей к ней со сдвигом. В работе [39] в котловине выделяется четыре отрезка оси спрединга, смещенные по системе трансформных разломов. В работах [34 – 36, 45, 46, 49] в котловине Джейн выделяются пять отрезков осей, наиболее западный из которых имеет меньшую длину и сдвинут к самому южному борту котловины. Простираение всех выделенных отрезков оси спрединга близко между собой и составляет 10 - 20 градусов. Наибольшее число отрезков осей представлено в работах [6, 45], в них количество отрезков достигает девяти или, возможно, даже одиннадцати. Смещающие такие отрезки оси спрединга трансформные разломы разнятся в разных упомянутых выше работах по положению, простираению и длине. Общим обстоятельством для всех осей спрединга, упомянутых выше в котловине Джейн, является отсутствие обоснования их пространственного положения какими-либо количественными расчетами.

Наряду с работами, демонстрирующими наличие осей спрединга не переходящих из котловины Джейн в котловину Поуэлл, имеются работы, в которых такая ось является единой для обеих котловин. Так в работе [14] Показана единая ось спрединга, протягивающаяся через котловины Джейн и Поуэлл, смещенная по трансформному разлому вдоль 48 градуса западной долготы. В работах [44, 51] представлена опоясывающая с юга Оркнейский микроконтинент с юга единая система осей разрастания дна, захватывающая котловины Джейн и Поуэлл и состоящая из нескольких отрезков оси спрединга, смещенных по трансформным разломам. При этом простираение отдельных отрезков оси меняется в диапазоне от 45 до 315 градусов.

Палеогеодинамика раскола континентального моста на северо-западе моря Уэдделла, связанного со спредингом в котловинах Поуэлл и Джейн, обусловившим отход Южно-Оркнейского микроконтинента и других континентальных фрагментов от Антарктического полуострова, различается в разных работах. Так в работе [27] предполагается, что начало разрушения американо-антарктического континентального моста во взаимосвязи с разрастанием дна в котловинах Поуэлл и Джейн датируется временем 70-80 миллионов лет назад. Начало спрединга в котловине Джейн в работах [16, 54] предположительно датируется возрастом 25 млн. лет (хрон C8n.1n). Процесс разрастания дна был довольно кратковременным и его окончание точно не определено. В работе [20] указывается, что спрединг начался 17.5 млн лет назад во время хрона C5Dn и закончился 14.5 млн лет назад во время хрона C5ADn. Имеются работы, в которых обнаружены осадки, определенный или оцененный возраст древнейших из которых достигает величины более 30 млн. лет [22, 46, 47, 49 и др.]. Тем самым и начало спрединга дна должно быть столь же древним.

Подводя итог проведенному анализу, еще раз подчеркнем, что в литературе отсутствует единообразие в номенклатуре географических названий форм подводного рельефа для северо-западной части моря Уэдделла. Поэтому в настоящем исследовании для изложения материала (с учетом работ [1, 4, 7] и др.) будут использоваться русскоязычные транскрибированные термины: моря Скотия, Уэдделла, котловины Поуэлл, Джейн, впадины Эри, Буге, Этвеш, хребты Эндюранс, Поуэлл, поднятие Иризар, Южно-Оркнейский микроконтинент, Антарктический полуостров. При этом в наших расчетах будет использоваться наиболее современная шкала линейных магнитных аномалий из работы [38].

Анализ материалов свидетельствует, что Антарктический полуостров относится важнейшим частям американо-антарктического континентального моста и разрушение моста

взаимосвязано с дисперсией элементов полуострова к числу важнейших из которых принадлежат Оркнейский микроконтинент, банка Джейн, хребет Поуэлл, хребет Эндюранс, Эризар и др. Дисперсия этих элементов происходила в основном в процессе разрастания дна в котловинах Поуэлл и Джейн, примыкающих к Южно-Оркнейскому микроконтиненту (включая впадины Эри, Буге, Этвеш). Из анализа приведенных выше многочисленных литературных источников видно, что датировка линейных магнитных аномалий и хронов полярности, конфигурация осей спрединга, их число, пространственное положение равно как и положение смещающих трансформных разломов различаются в разных исследованиях.

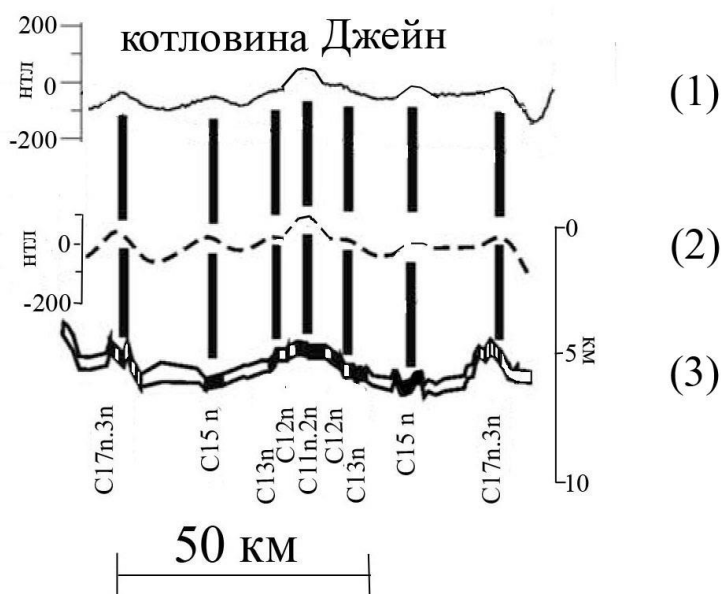


Рисунок 2. Наблюдаемые (1) и теоретические (2) линейные магнитные аномалии, а также соответствующие им хроны полярности C11n.2n – C17n.3n в модели (3) инверсионного магнитоактивного слоя вдоль профиля SM04 нис. «Гесперидас» [20]. Вертикальными линиями показаны оси корреляции хронов и аномалий, из которых ось палеоспрединга соотнесена с хроном C11n.2n.

Указанные различия, несомненно, отражают скудность имеющихся геолого-геофизических материалов, не позволяющую уверенно анализировать вопросы эволюции северо-запада моря Уэдделла и смежных регионов, например, [33]. При этом важную роль в изучении палеогеодинамики северо-запада моря Уэдделла играют ранее не публиковавшиеся результаты геохронологической интерпретации геолого-геофизических (и прежде всего геомагнитных) данных испанских экспедиций последних лет, полученные с борта испанского научно-исследовательского судна «Гесперидас».

Результаты расчетов.

Гидромагнитные наблюдения, примеры которых представлены на рис.2, позволили получить сведения о распределении магнитных аномалий в котловине Джейн. Согласно им, аномальное магнитное поле характеризуется наличием линейных магнитных аномалий малой амплитуды (менее 400 нТл) с длиной волны до 15 км. На основании комплексной геолого-геофизической интерпретации данных аномального магнитного поля с учетом сведений о сейсмичности, тепловом потоке и результатах глубоководного бурения в

скважинах 695, 696, 697 [19, 24, 46, 47, 52] и др.) в настоящей работе был проведен анализ выделенных в литературе линейных магнитных аномалий.

Сравнение наблюдаемых и теоретических магнитных аномалий в модели разрастания дна (рис.2) позволило идентифицировать палеомагнитные аномалии А17–А11, а также соответствующие им хроны полярности С17n.3n (38.159–38.333 млн. лет) - С11n.2n (29.527–29.970 млн лет). Наиболее современная версия их распределения в котловине Джейн представлена на рис.3.

Сравнение пространственного положения хрона С17 с положением границы между континентальной и океанической корой из работы [30] и с учетом данных рисунка 2 настоящей работы свидетельствует, что граница располагается на периферии хрона С17. При этом палеоось спрединга ассоциируется с положением хрона С11n.2n (29.527–29.970 млн лет), а начало процесса разрастания дна датируется хроном С17n.3n (38.159–38.333 млн. лет), а может быть и хроном С17г (38.333–38.615 млн. лет). Тем самым спрединг дна в котловине Джейн шел около 9 млн. лет.



Рисунок 3. Схема геохронологии дна котловины Джейн по результатам моделирования аномального магнитного поля вдоль маршрутов гидромагнитных наблюдений, пример которого представлен на рис.2. Положение палеооси спрединга соответствует хрону С11n.2n (29.527–29.970 млн. лет - точки) а наиболее древняя океаническая кора располагается в области хрона С17n.3n (38.159–38.333 млн. лет-пунктир). В зонах разрыва пунктирной линии возможно наличие тектонических нарушений, в том числе трансформной природы. Контуры Южно-Оркнейского микроконтинента (изобата 0.5 км) и Банка Джейн (изобата 1400 м) проведены по данным работы [56].

Спрединг дна происходит в направлении 60° , ортогональном простиранию палеоосевой магнитной аномалии. Кинематические расчеты свидетельствуют, что в интервале палеоаномалий А13–А17 спрединг дна шел со скоростями 0.8–1.5 см/год и в целом был близок к 1.2 см/год. Нарращивание новой океанической коры в котловине к югу от палеооси спрединга шло в целом на 6% интенсивнее чем к северу от нее. Комплексный геолого-геофизический анализ результатов моделирования инверсионного магнитоактивного слоя свидетельствует, что наиболее медленным (около 0.5 см/год) разрастание дна было в первые три миллиона лет после раскола в интервале хронов С17n.3n–С16n.1n. Эти сведения в дальнейшем явятся основой для проведения первых детальных количественных палеогеодинамических реконструкций этапов разрастания дна в котловине Джейн по оригинальной отечественной методике [11].

Выводы.

Таким образом, в результате проведенных исследований выделены новые и, при необходимости, реинтерпретированы известные ранее линейные магнитные аномалии в котловине Джейн. Моделирование палеомагнитных аномалий позволило составить современную версию электронной карты-схемы геохронологии ее дна. Разрастание дна в котловине началось ввремя хрона C17n.3n (38.159-38.333 млн. лет), а может быть и хрона C17r (38.333- 38.615 млн. лет) и шло со средней скоростью до 1.2 см/год. Нарастание новой океанической коры в котловине к югу от палеооси спрединга шло в целом на 6% интенсивнее, чем к северу от нее. Наиболее медленным (около 0.5 см/год) разрастание дна было в первые три миллиона лет после откола Банки Джейн от Южно-Оркнейского микроконтинента в интервале хронов C17n.3n-C16n.1n.

Настоящая работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 20-05-00089. При этом методические вопросы расчета модельных кривых магнитных аномалий прорабатывались в рамках Государственного задания № FMWE-2021-0004.

Литература.

1. *Агапова Г.В., Виноградова И.В., Кашиникова И.П.* Словарь географических названий форм подводного рельефа // М.: ГИН РАН. 1993, 311с.
2. *Дубинин Е.П., Кохан А.В., Тетерин Д.Е. и др.* Тектоническое строение и типы рифтогенных бассейнов моря Скотия, Южная Атлантика // Геотектоника. 2016. № 1. С. 41-61.
3. *Иванов В.А., Показеев К.В., Шрейдер А.А.* Основы океанологии // Лань. 2008, 576с.
4. *Садовничий В.А., Козодеров В.В., Ушаков С.А. и др.* Океаны и материки М.: МГУ 2003, 400с.
5. *Тетерин Д.Е., Голь К.* Геодинамика континентальных окраин морей Беллинсгаузена и Амундсена // Материалы XI тектонического совещания. Москва. 2007г. С. 290-294.
6. *Удинцев Г.Б., Шенке Г.В.* Очерки геодинамики Западной Антарктики // М. ГЕОС, 2004, 132 с.
7. *Хаин В.Е.* Тектоника континентов и океанов // М.: Научный мир. 2001, 606 с.
8. *Шрейдер А.А., Сажнева А.Э., Клюев М.С. и др.* Геохронология и кинематическая модель развития дна котловины Поуэлл на северо-западе моря Уэдделла // Процессы в геосредах. 2020. № 4 (26). С. 967-974.
9. *Шрейдер А. А., Шрейдер Ал. А., Клюев М.С., Сажнева А.Э.* Разрушение американо-антарктического континентального моста // Процессы в геосредах. 2016. № 4. С. 378-382.
10. *Шрейдер А.А., Шрейдер Ал. А., Булычев А.А., Галиндо- Зальдивар Х., Мальдонадо А., Кашинецев Г.Л.* Геохронология Американо-Антарктического хребта //Океанология. 2006. Т.46. №1. С. 123-132.
11. *Шрейдер Ал. А.* Раскрытие глубоководной котловины Черного моря // Океанология. 2005. Т.45. № 4. С. 592-604.
12. *Шрейдер Ал.А., Шрейдер А.А., Евсенко Е.И.* Этапы развития бассейна пролива Брансфилд // Океанология. 2014. Т. 53. № 3. С. 396-405.
13. *Aldaya F., Maldonado A.* Tectonics of the triple junction at the southern end of the Shackleton Fracture Zone (Antarctic Peninsula) // Geo-Mar. Lett. 1996. V. 16. P.279–286.
14. *Balanya J., Galindo-Zaldivar J., Jaboloy A. et al.* Structure of the South Powell ridge (NE Antarctic peninsula): new clues for changing tectonic regimes near the Scotia/ Antarctic plate boundary // Geo-Mar. Lett. 1999. V. 18. P. 215-224.
15. *Barker P.* A spreading center in the east Scotia sea // Earth and Planet. Sci. Lett. 1972. V.15. P. 123-132.
16. *Barker P.* Scotia sea regional tectonic evolution: implications for mantle flow and paleocirculation // Earth Sci. Rev. 2001. V.55. P. 1-39.

17. *Barker P., Burrell J.* The opening of the Drake Passage // *Mar. Geoph. Res.* 1977.V. 25. P. 15–34
18. *Barker P., Griffith D.* The evolution of the Scotia ridge and Scotia sea // *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1972. V. 271. P. 151-183.
19. *Barker P., Lawver L., Larter R.* Heat-flow determinations of basement age in small oceanic basins of the southern central Scotia Sea // *Geol. Soc. London Spec. Pub.* 2013. V.381, 13p.
20. *Bohoyo F., Galindo-Zaldivar J., Maldonado A., Schreider A.A., Suriñach E.* Basin development subsequent to ridge-trench collision: the Jane Basin // *Mar. Geoph. Res.* 2002. V. 23. P. 413–421.
21. *Catalan M, Galindo-Zaldivar J., Davila J. et al.* Initial stages of oceanic spreading in the Bransfield Rift from magnetic and gravity data analysis // *Tectonophysics.* 2013. V.585. P.102–112.
22. *Catalán M., Martos Y., Galindo-Zaldivar J. et al.* Unveiling Powell Basin's tectonic domains and understanding its abnormal magnetic Anomaly signature. Is heat the key? // *Front. Earth Sci.* 2020. V.8. P.1-15.
23. *Civile D., Lodolo E., A. Vuan A., Loreto M.* Tectonics of the Scotia–Antarctica plate boundary constrained from seismic and seismological data // *Tectonophysics.* 2012. V. 550–553. P. 17–34.
24. *Coren F., Lodolo E., Ceccone G.* Age constraints for the evolution of the northern Powell basin (Antarctica)// *Boll. Teor. Geoph, Appl.* 2000. V. 41. P. 193-205.
25. *Coren, F., Ceccone, G., Lodolo, E. et al.* Morphology, seismic structure and tectonic development of the Powell Basin, Antarctica // *J. Geol. Soc. Lond.* 1997. V. 154. P. 849-862.
26. *Cunningham W., Dalziel I., Lee T., Lawver L.* Southernmost America-Antarctic peninsula relative plate motion since 84 Ma: implications for the tectonic evolution of the Scotia arc region // *J. Geoph. Res.* 1995. V. 100. p. 8257-8266.
27. *De Wit M.* The evolution of the Scotia arc as a key to the reconstruction of southwestern Gondwanaland // *Tectonophysics.* 1977. V. 37. P.53-81.
28. *DziakR., Park M., Lee W.* Tectonomagmatic activity and ice dynamics in the Bransfield Strait back-arc basin, Antarctica // *J.G.R.* 2010. V. 115. B12. 19p.
29. *Eagles G.* South Georgia and Gondwana Pacific margin : lost in translation ? // *J. South. Am. Earth Sci.* 2010. V.30. P. 65-70.
30. *Eagles G., Livermore R.* Opening history of Powell basin, Antarctic peninsula // *Mar. Geol.* 2002. V.185. P. 195-205.
31. *Eagles G., Livermore R.A., Fairhead J.D., Morris P.* Tectonic evolution of the west Scotia Sea // *J. G. R.,* 2005. V. 110. BO 2401. P.1–19.
32. *Eagles, G., Livermore, R.A., Morris, P.* Small basins in the Scotia Sea: the Eocene Drake Passage gateway. // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 242. P. 343–353
33. *Eagles G., Vaughan A.* Gondwana breakup and plate kinematics: Business as usual // *Geoph. Res. Lett.* 2009. V. 36. 4p.
34. *Galindo-Zaldivar J., Balanya J.,Bohoyo F. et al.* Active crustal fragmentation along the Scotia-Antarctic plate boundary east of the South Orkney Microcontinent (Antarctica) // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. V. 204. P. 33-46.
35. *Galindo-Zaldivar J., Bohoyo F., Maldonado A. et al.* Propagating rift during the opening of a small oceanic basin:The Protector Basin (Scotia Arc, Antarctica) // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2006. V. 241. P. 398–412.
36. *Galindo-Zaldivar J., Puga E., Bohoyo F. et al.* Magmatism, structure and age o Dove Basin (Antarctica): A key to understanding South Scotia Arc development // *Glob. Planet. Change.* 2014. V.122. P. 50–69.
37. *Ghidella M., Yanez G., LaBrecque J.* Revised tectonic implications for the magnetic anomalies of the western Weddell Sea // *Tectonophysics.* 2002.V. 347. P. 65-86.

38. *Gradstein F., Ogg J., Schmitz M., Ogg G.* The geologic time scale 2012. // Amsterdam. Elsevier. 2012. 1139 p.
39. *Hernández-Molina F., Bohoyo F., Garabato N. et al.* The Scan Basin evolution: oceanographic consequences of the deep connection between the Weddell and Scotia Seas (Antarctica) // USGS OFR. 2007. Ext. Abstr. P. 1-4.
40. *Herve F., Calderon M., Faundez V.* The metamorphic complexes of the Patagonian and Fuegian Andes // *Geol. Act.* 2008. V.6. P. 43-53
41. *Konig M., Jokat W.* The Mesozoic breakup of the Weddell Sea *J. G. R.* 2006. V. 111. B12102, 28p.
42. *Larter, R., Barker, P.* Seismic stratigraphy of the Antarctic Peninsula Pacific margin: a record of Pliocene-Pleistocene ice volume and paleoclimate // *Geology.* 1989. V.17. P. 731-734.
43. *Lodolo E., Civile D., Vuan F. et al.* The Scotia-Antarctica plate boundary from 35° W to 45° W. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2010. V.293. P. 200-215.
44. *Maestro A., Lopez-Martinez J., Bohoyo F.* Mesozoic to recent evolution of intraplate stress fields under multiple remote stresses: The case of Signy Island (South Orkney Microcontinent, Antarctica) // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2013. V. 381, 22p.
45. *Maldonado A., Zitellini N., Leitchenkov G. et al.* Small ocean basin development along the Scotia–Antarctica plate boundary and in the northern Weddell Sea // *Tectonophysics.* 1998. V. 296. P. 371–402.
46. *Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldívar J. et al.* A model of oceanic development by ridge jumping: Opening of the Scotia Sea // *Glob. Planet. Change.* 2014. V.123 P. 152–173.
47. *Maldonado A., Bohoyo F., Galindo-Zaldívar J. et al.* Ocean basins near the Scotia–Antarctica plate boundary: influence of tectonics and paleogeography on the cenozoic deposits // *Mar. Geoph. Res.* 2006. V.27. P. 83-107.
48. *Nerlich R., Clark S., Bunge H.* The Scotia gateway: no outlet for Pacific mantle // *Tectonophysics.* 2013. V. 604. P. 41-50.
49. *Perez L., Maldonado A., Bohoyo F. et al.* Depositional processes and growth patterns of isolated oceanic basins the Protector and Pirie basins of the southern Scotia sea (Antarctica) // *Mar. Geol.* 2014. V. 357. P. 163-181.
50. *Rodriguez-Fernandez J., Balanya J., Galindo-Zaldívar J., Maldonado A.* Margin styles of Powell basin and their tectonic implications (NE Antarctic Peninsula) // *Terra Ant.* 1994. V.1 P. 315-316 .
51. *Tanahashi M., Nashimura A., Oda H., Murakami F.* Preliminary report of the 1997 of the geological and geophysical survey results, north of the Antarctic peninsula // *Polar Geosci.* 1999. V. 12. P. 192-214.
52. *Thomas C., Livermore R., Pollitz F.* Motion of the Scotia plates // *Geoph. J. Int.* 2003. V.155. P. 789-804.
53. *Trouw R., Passchier C., Simoes L. et al.* Mesozoic tectonic evolution of the South Orkney Microcontinent, Scotia arc, Antarctica // *Geol. Mag.* 1997. V.134. P. 383-401.
54. *Verard C., Flores K., Stampfli G.* Geodynamic reconstructions of the South America–Antarctica plate system // *J. Geodynam.* 2012. V. 53. P. 43-60.
55. *Weaver. S., Saunders A., Pankhurst R. et al.* A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1979. V. 68. P. 151-169.
56. www.topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_srtm15.cgi, 2021.