

УДК 551.35; 551.462

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГЕОЛОГИИ ПЛАТО ОСБОРН,
ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН****О. В. Левченко^{1,*}, Ю. Г. Маринова¹, М. В. Портнягин^{2,3},
Р. Вернер², член-корреспондент РАН Л. И. Лобковский¹**

Поступило 22.07.2019 г.

Плато Осборн — крупное внутриплитное поднятие в восточной части Индийского океана, слабо изученное геолого-геофизическими методами. В рейсе SO258/1 впервые было выполнено высокоразрешающее сейсмоакустическое профилирование одновременно с батиметрической съёмкой с многолучевым эхолотом. Разломы в осадочной толще, которые выходят в поверхность дна, свидетельствуют о высокой неотектонической активности в районе плато Осборн. Она может продолжаться вплоть до настоящего времени, как и в прилегающем сегменте Восточно-Индийского хребта, где регистрируются сильные землетрясения. Две отражающие границы в верхней части осадочного чехла маркируют глобальные регрессивные изменения уровня Мирового океана на рубеже миоцена/плиоцена и плиоцена/плейстоцена. Рефлектор в осадках на рубеже нижнего/верхнего плиоцена связан с изменением в то время регионального гидродинамического режима в восточной части Индийского океана. Драгированные на плато Осборн породы при сходстве с вулканитами Восточно-Индийского хребта, подтверждая их предполагаемое генетическое сходство, более сходны с базальтами плато Кергелен. Сильно изменённые витрокластические туфы, по-видимому, образовались в результате эксплозивных вулканических извержений щелочных базальтов или фойдитов в субэвральных или относительно мелководных условиях и представляют наиболее поздние продукты извержений в регионе.

Ключевые слова: плато Осборн, драгирование, туф, сейсмопрофилирование, многолучевая батиметрия, рефлектор, разлом.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524896631-636>

Плато Осборн является одним из множества внутриплитных поднятий в восточной части Индийского океана, сформированных в результате многоэтапной тектонической эволюции этого региона [1–3]. Оно имеет изометричную, в плане округлую форму диаметром 150–200 км и возвышается над прилегающей котловиной на ~2500 м; вершина плато на глубине ~1600 м находится примерно на одном уровне с осевой частью Восточно-Индийского хребта (ВИХ), к которому оно примыкает с запада в районе ~15° ю.ш. [4]. В отличие от хорошо изученного ВИХ [2–5], который равномерно покрыт скважинами глубоководного бурения [6], плато Осборн к настоящему времени изучено очень слабо. В основном имеющиеся геолого-геофизические данные на плато были собраны советскими исследователями в 80–90-е гг. прошлого столетия — Ин-

ститутом океанологии им. П.П. Ширшова (ИО РАН) в 25-м рейсе нис “Дмитрий Менделеев” (1980 г.) и НПО “Южморгеология” на Маскаренско-Австралийском геотраверзе (10°–18° ю.ш.) [7].

Только через 30 лет, в 2017 г., геолого-геофизические исследования на плато Осборн были продолжены в рейсе SO258/1 германского нис “Зонне” с участием двух научных сотрудников из ИО РАН [8]. Его маршрут пересёк южную часть плато Осборн и Восточно-Индийский хребет в районе их сочленения, и в течение суток судно работало на плато. Основным геологическим методом было драгирование. Геофизическая съёмка выполнялись по всему маршруту и специально для выбора точек драгировки. Батиметрия с многолучевым эхолотом Kongsberg Simrad EM 122 обеспечила построение детальных карт рельефа дна в полосе шириной до 6 глубин (рис. 1а). Высокочастотное (4 кГц) сейсмоакустическое профилирование с узколучевым параметрическим профилографом Atlas Parasound P70 выявило строение верхней осадочной толщи с высоким (десятки сантиметров) разрешением на глубину до 80 м ниже дна (рис. 1б, 2). Драгирование выполнено на двух станциях на южном фланге плато Осборн (рис. 3а).

В полосе детальной съёмки с многолучевым эхолотом рейса SO258/1 на западном склоне плато Ос-

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской Академии наук, Москва

² ГЕОМАР — Центр исследования океана
им. Гельмгольца, Киль, ФРГ

³ Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского Российской Академии наук, Москва

⁴ Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

*E-mail: olevses@mail.ru

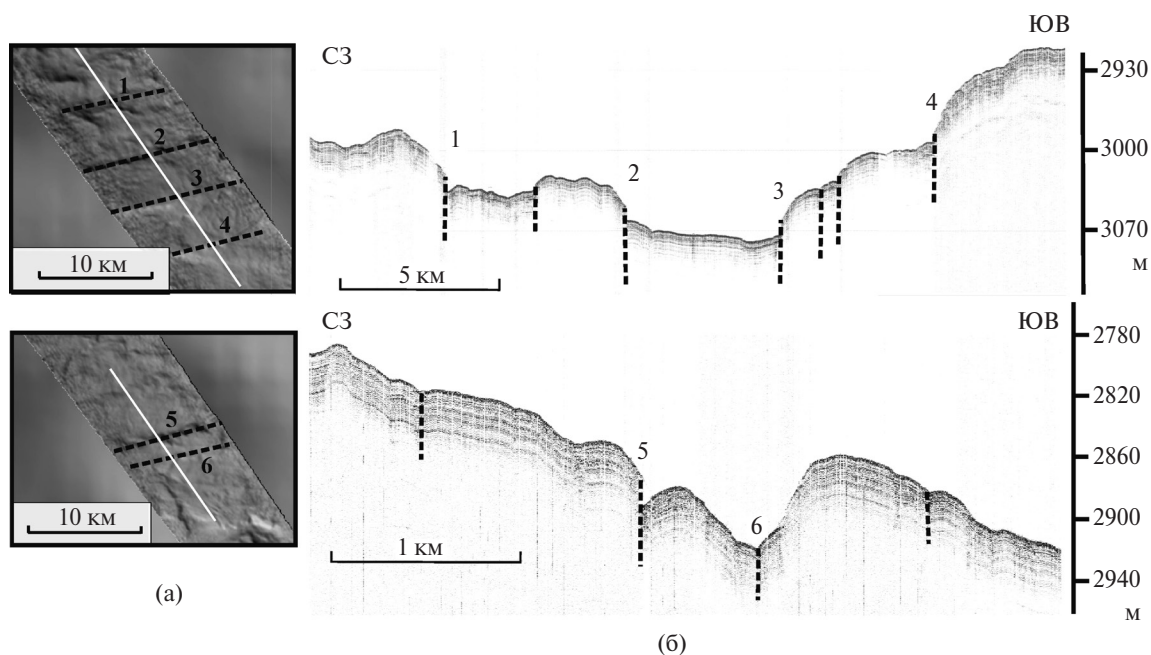


Рис. 1. Молодые разломы на плато Осборн, корреляция данных батиметрии с многолучевым эхолотом и высокоразрешающими сейсмоакустическим профилированием рейса SO258/1. а — разломные уступы в рельефе дна; б — разломы в верхнем осадочном слое.

борн видна система субширотных линейных структур, по-видимому, разломного генезиса (рис. 1а). В рельефе дна они образуют протяжённые уступы с углами наклона до 10° и высотой до 10 м. Подобные разломы наблюдаются и северо-восточнее на своде плато на профилях многолучевого эхолотирования рейса VANC10MV нис “Мелвилл” (2003 г.). Выделенные по данным многолучевой батиметрии разломные уступы хорошо коррелируются с разломами, отчётливо выраженными в структуре верхней осадочной толщи на сейсмических разрезах (рис. 1б). Эти разломы выходят в поверхность дна, что свидетельствует об их молодом, вплоть до современного, возрасте. По характеру смещения осадочных слоёв они являются сбросами, образующими мелкомасштабную горсто-грабненную тектоническую структуру дна в западной части плато Осборн. Однако часть разломов на сеймопрофилях не выражена в поверхности дна. Из-за отсутствия данных невозможно делать предположения об их существовании в восточной части плато.

Волновая картина на сейсмоакустическом профиле рейса SO258/1 достаточно однородная по латерали. Самый верхний осадочный слой мощностью ~40 м характеризуется чёткой акустической стратификацией с протяжёнными параллельными отражающими границами, конформно повторяющими рельеф дна. Из них выделены три рефлектора: А, Б и В на глубинах 10, 20 и 35 м ниже дна соответственно (рис. 2). Скважин глубоководного бурения,

необходимых для сеймостратиграфического анализа, на плато Осборн нет. Ближайшая скв. 757 ODP, которая даёт информацию о позднечетвертичной истории региона, пробурена южнее на Восточно-Индийском хребте [6]. В ней вскрыты базальты возраста 58 млн лет на глубине 365 м, на которых залегают верхнепалеоценовая толща туфов мощностью 150 м, постепенно переходящая в пепловую с лапиллями. Выше залегают нижнеэоценовая пачка микритового мела мощностью 40 м, на нём — 150-метровый слой кокколитового ила среднего эоцена—плиоцена, ещё выше — 10-метровая пачка плейстоценовых кокколито-фораминиферовых илов.

Корреляция сейсмоакустической записи с геологическим разрезом скв. 757, вещественным составом и физическими свойствами образцов осадков (содержание карбоната кальция, плотность, рис. 2) позволила сделать предположения о геологической природе и примерно оценить возраст рефлекторов А, Б и В. Эти рефлекторы и стратифицированная акустическая волновая картина связаны с литологически обусловленной плотностной неоднородностью осадочного разреза, с глинистыми прослоями внутри биогенных известковых осадков. Рефлекторы А и В, вероятный возраст которых соответствует границам плиоцена—плейстоцена и миоцена—плиоцена, маркируют геологические границы осадочных слоёв с разными физическими свойствами. Эти изменения плотности осадков коррелируются с регрессивными эпизодами в истории Мирового океана

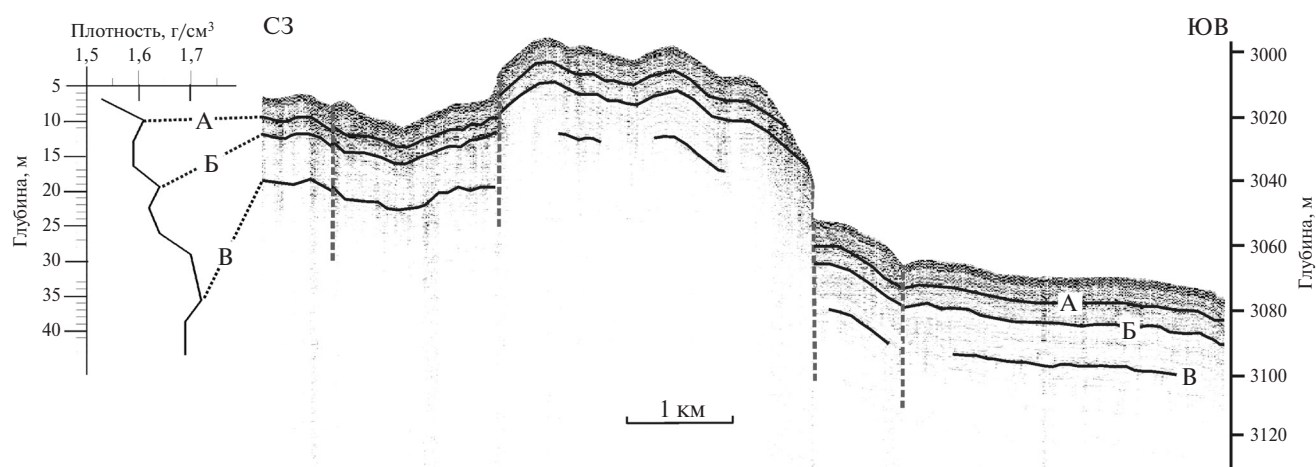


Рис. 2. Корреляция рефлекторов в верхнем осадочном слое плато Осборн, маркирующих основные палеогеографические события в плиоцене, с физическими свойствами осадков в скв. 767. Рефлекторы А и В — понижение уровня Индийского океана в начале и конце плиоцена, рефлексор В — нескомпенсированное осадконакопление из-за изменения гидродинамического режима в восточной части Индийского океана на границе нижнего и верхнего плиоцена.

на глобальной кривой колебаний его уровня, в частности отмечается понижение уровня Индийского океана в начале и конце плиоцена [9]. Аналогично изменения в структуре нижнего палеоцен-эоценового сейсмокомплекса на плато Осборн связывают с размывом при понижении уровня океана [7]. Средний рефлексор В также коррелируется со скачком плотности, по-видимому, связанным с изменением регионального гидродинамического режима в восточной части Индийского океана на границе нижнего и верхнего плиоцена и нескомпенсированным осадконакоплением. Отсутствие осадков в системе абиссальной циркуляции Индийского океана отмечено поблизости в районе 10–15° ю.ш. в Центральной котловине [10].

Драгирование плато Осборн проводилось на двух станциях в основании южного склона — DR22 и DR23 (рис. 3а). Вулканические породы были получены при драгировании на станции DR22 в интервале глубин 3412–3088 м, где было поднято несколько фрагментов сильно изменённых витрокластических туфов с максимальным размером обломков 10 см. Они частично покрыты плёнкой гидроксидов марганца толщиной до 1 мм и состоят из полностью палагонизированных пепловых частиц и лапиллей размером до 1 см в тонкозернистом светло-розовом матриксе. Первичная форма вулканических частиц хорошо сохранена, пузыристость достигает 50%, первичная текстура афанитовая, минералов не обнаружено. Большое количество пузырей, высокая степень первичной дефрагментации пепловых частиц и их окисленность свидетельствуют о вероятном образовании туфа при субаэральных

или мелководных эксплозивных извержениях. Химический состав палагонита, замещающего вулканическое стекло в лапиллях, анализировался методом масс-спектрометрии индукционно-связанной плазмы с лазерной абляцией (LA-ICPMS) в Институте наук о Земле при Университете г. Киль (ФРГ). Полученные данные свидетельствуют об исключительно высокой степени аллохимической изменённости вулканического стекла, что значительно ограничивает возможность их использования для определения геохимического типа и первичного генезиса пород. Тем не менее на основе наименее подвижных в процессах вторичного изменения пород элементов (например, Nb, Y, Zr, Ti) можно предположить, что исходным протолитом исследованных пород являлся туф щелочного высокотитанистого состава. Согласно систематике отношений Nb/Yb и TiO₂/Yb в исследованных палагонитовых частицах исходный состав вулканического стекла мог соответствовать щелочным базальтам плато Кергелен (рис. 3б).

Географическая близость плато Осборн и Восточно-Индийского хребта предполагает общие черты в их происхождении и геологической истории. Выделенные на плато Осборн разломы (рис. 1) согласуются с простираем структур, определяющих морфологию ВИХ, где также имеются крупные депрессии, ограниченные разломами субширотного простираения [5]. В поле силы тяжести ВИХ выделены субширотные тектонические линеаменты [11], которые коррелируются с горстами и грабенами в рельефе дна и осадочном чехле, выделенными по данным многолучевой батиметрии и многока-

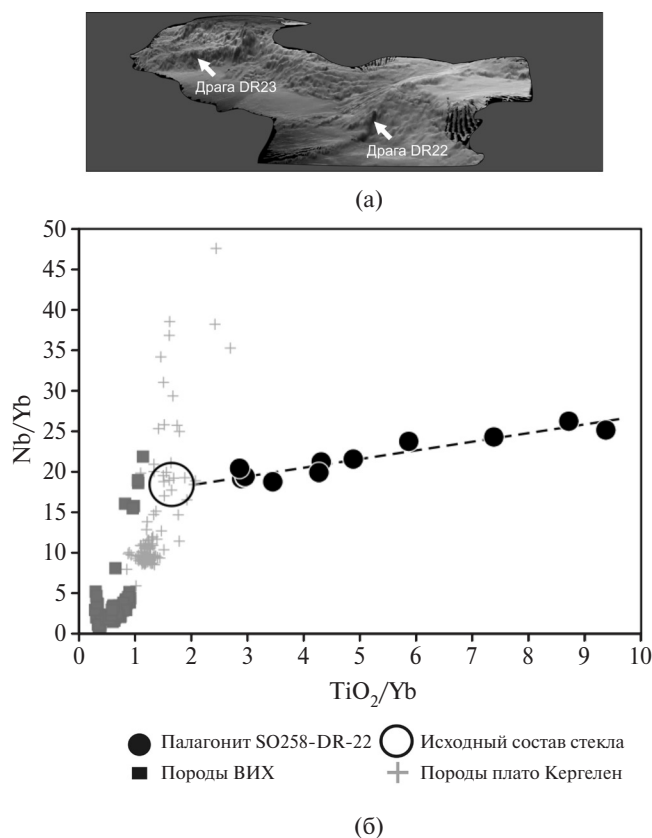


Рис. 3. Геохимия вулканических пород, драгированных на плато Осборн в рейсе SO258/1. а — объёмная модель южного склона плато Осборн со станциями драгирования, номера драг соответствуют общей нумерации станций рейса SO258/1. б — Систематика отношений Nb/Yb и TiO₂/Yb в исследованных частицах палагонита и породах ВИХ и плато Кергелен. Составы пород ВИХ и плато Кергелен из базы данных GEOROC [15].

нального сейсмического профилирования [5]. Полагают, что первоначально эти разломные структуры сформировались вблизи спредингового хребта и затем активизировались в процессе молодой внутриплитной деформации на северо-востоке Индийского океана. Допуская генетическое подобие плато Осборн и ВИХ, можно сделать предположения о природе неотектонических структур, выявленных на плато Осборн в рейсе SO258/1. Возможно, разломы в верхней части его осадочного чехла, которым соответствуют горсты и грабены в поверхности дна, также являются результатом реактивизации более древних разломов в фундаменте. Последние, по-видимому, образовались в широтном спрединговом центре Вартон на раннем этапе формирования плато Осборн [12]. А их реактивизация может быть связана с тектоническими процессами внутриплитной деформации в близко расположенной зоне тройственного сочленения диффузных границ литосферных

плит [13]. Высокая неотектоническая активность региона, которая может продолжаться до настоящего времени, подтверждается интенсивной региональной сейсмичностью с большой магнитудой регистрируемых землетрясений.

Близкое географическое расположение и, по-видимому, общность происхождения плато Осборн и Восточно-Индийского хребта предполагают общий источник поступления магматических пород и единообразный механизм формирования двух этих вулканических структур. Плато Осборн рассматривается даже как необычный выступ на западном фланге ВИХ [4]. В разное время было предложено множество объяснений формирования Восточно-Индийского хребта [1–6]. Некоторые исследователи связывают происхождение Восточно-Индийского хребта с магматизмом в зоне гигантского трансформного разлома, по которому поступает базальтовая выплавка из астеносферы [1]. Однако доминирующей является модель, в которой хребет рассматривается как след горячей точки Кергелен на дрейфовавшей в северном направлении Индийской плите, когда поднимающаяся из мантии струя стационарного плюма проплавляет дрейфующую плиту и создаёт на ней вулкан, который отмирает после прохождения плюма [3]. Это формирование ВИХ под воздействием плюма Кергелен происходило вблизи трансформного разлома, разделявшего Индийскую и Австралийскую литосферные плиты 40–80 млн лет назад [2].

Изменения в кинематике литосферных плит могло существенно влиять на режим и характер регионального магматизма. Самым важным из таких событий в Индоокеанском регионе было “мягкое” столкновение континентальной Индии с Азией в позднем палеоцене (~55 млн лет), вызвавшее резкое уменьшение скорости движения Индийской плиты с 18–19,5 до 4,5 см/год [14]. Это событие отмечено изменением морфологии Восточно-Индийского хребта в районе ~15° ю.ш., где его ширина почти в 2 раза увеличивается как раз на широте плато Осборн (рис. 1а). Возраст базальтов в скв. 757 — 58 млн лет [6]. Эта перестройка вызвала реорганизацию системы спрединга и перескок спредингового хребта Вартон, так что плюм Кергелен оказался вблизи него. С этим событием связывают образование южной части ВИХ, включая плато Осборн, в результате избыточного магматизма в районе пересечения трансформного разлома и оси спрединга [4]. Действительно размеры и форма плато Осборн предполагают его образование в результате непродолжительного избыточного магматизма

вблизи активного тогда короткого субширотного срединного разлома, а затем этот канал, по-видимому, закрылся.

Результаты драгирования в рейсе SO258/1 на плато Осборн дают лишь самые предварительные представления о его природе. Вероятно, драгированные сильно изменённые витрокластические туфы, состоящие из палагонитизированных пепловых частиц и лапиллей, образовались в результате эксплозивных вулканических извержений щелочных базальтов в субаэральных или относительно мелководных условиях. Они представляют наиболее поздние продукты извержений в регионе, когда вершина плато Осборн могла быть островом. Морфоструктурный анализ полученных в рейсе геофизических данных позволил получить первые представления о эволюции плато Осборн в плиоцен-четвертичное время. Выявленные в осадочной толще разломы, которые выходят в поверхность дна, свидетельствуют о высокой неотектонической активности в районе плато Осборн. Она может продолжаться вплоть до настоящего времени, как в прилегающем сегменте Восточно-Индийского хребта, где регистрируются сильные землетрясения. Отражающие границы в верхней части осадочного чехла связаны с глобальными изменениями уровня и регионального гидродинамического режима Индийского океана в это время.

Благодарности. Авторы выражают благодарность капитану нис “Зонне” О. Мейеру, экипажу судна и коллегам — участникам исследований в рейсе SO258/1.

Источники финансирования. Рейс SO258/1 нис “Зонне” выполнялся в рамках проекта INGON при

финансовой поддержке Министерства образования и науки ФРГ. Российские учёные работали в рамках государственного задания (тема № 0149–2019–0006) при поддержке РФФИ (проект № 19–05–00680А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашинец Г.Л.* // Геотектоника. 1994. № 5. С. 70–81.
2. *Сущевская Н.М., Левченко О.В., Дубинин Е.П. и др.* // Геохимия. 2016. № 3. С. 1–22.
3. *Royer J.-Y., Peirce J.W., Weissel J.K.* // In: Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results. 121. 1991. P. 763–776.
4. *Sclater J.G., Fisher R.L.* // Geol. Soc. Am. Bull. 1974. V. 85. P. 683–702.
5. *Левченко О.В., Сборщиков И.М., Маринова Ю.Г.* // Океанология. 2014. Т. 54. № 2. С. 252–266.
6. *Weissel J., Peirce J., Taylor E., et al.* // In: Proc. ODP Sci. Results. 121: College Station, TX (Ocean Drilling Programm). 1991. 990 p.
7. *Пилипенко А.И., Мейснер Л.Б., Юбко В.М.* // Бюл. МОИП. 2004. Т. 79. Вып. 2. С. 24–29.
8. *Левченко О.В., Маринова Ю.Г., Вернер Р. и др.* // Океанология. 2019. Т. 59. № 2. С. 27–29.
9. *Vail P.R., Mitchum R.W., Thompson S.* // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1977. V. 26. P. 83–97.
10. *Левитан М.А.* Палеоокеанология Индийского океана в мелу–неогене. М.: Наука, 1992. 247 с.
11. *Sager W.W., Paul C.F., Krishna S., et al.* // Geophys. Res. Lett. 2010. V. 37. L. 17304.
12. *Krishna K.S., Gopala Rao D., Ramana M.V., et al.* // J. Geophys. Res. 1995. V. 100. № 10. P. 20011–20024.
13. *Royer J.-Y., Gordon R.G.* // Science. 1997. V. 277. P. 1268–1274.
14. *Klootwijk C.T., Gee J.S., Peirce J.W., et al.* // In: Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results. 121. 1991. P. 777–882.

NEW DATA ON GEOLOGY OF THE OSBORN KNOLL, INDIAN OCEAN**O. V. Levchenko¹, Yu. G. Marinova¹, M. V. Portnyagin^{2,3},
R. Werner², Corresponding Member of the RAS L. I. Lobkovsky¹**¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*²*GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Federal Republik of Germany*³*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Received July 22, 2019

The Osborne Plateau is a large intraplate elevation in the eastern part of the Indian Ocean, which has been poorly studied by geological and geophysical methods. In cruise SO258/1 on RV Sonne, we collected new data with Parasound seismic profile and multi-beam echo sounder survey. Fractures in the sedimentary cover, which extend to the bottom surface, indicate on high neotectonic activity in the area of the Osborne Plateau. It can continue up to the present, as well as in the adjacent segment of the Ninetyeast Ridge, where strong earthquakes are recorded. Two reflectors in the upper part of the sedimentary cover mark global regressive changes in the World Ocean level at the boundary of the Miocene / Pliocene and Pliocene / Pleistocene. The reflector in the sediments at the boundary of the Lower / Upper Pliocene is associated with a change in the regional hydrodynamic regime at the time in the eastern Indian Ocean. The rocks dragged on the Osborn Knoll are identical to volcanic rocks of the Ninetyeast Ridge, confirming their assumed genetic similarity, but they are more identical to basalts of the Kerguelen plateau. Extremely modified vitroclastic tuffs appear to have been formed as a result of explosive volcanic eruptions of alkaline basalts or foidites in subaerial or relatively shallow water conditions and represent the most recent eruption in the region.

Keywords: Osborne Knoll, dredging, tuff, seismic profiling, multibeam bathymetry, reflector, fault.