

Рельеф и осадочный чехол разлома Богданова (Центральная Атлантика) – первое описание

Мазарович А.О., Добролюбова К.О., Ефимов В.Н., Соколов С.Ю. Турко Н.Н.
// Геотектоника. 2001. № 6. С. 75-83.

АННОТАЦИЯ. Даётся первое описание рельефа и осадочного чехла разлома Богданова ($7^{\circ}10'$ с.ш.), исследованного в приэкваториальной Атлантике в июне 2000 г., во время 22-ого рейса НИС «Академик Николай Страхов» (Геологический институт РАН). Разлом Богданова представляет собой с одной стороны достаточно типичный трансформный разлом, с другой – здесь имеется крайне сложное строение области стыка рифт – трансформ. Рифт неоднократно продвигался на север и, в ряде мест, перегородил трог разлома вулканическими хребтами. Их морфология позволяет предполагать, что здесь происходили спрединговые процессы со скоростями сопоставимыми с быстросрединговыми хребтами Тихого океана.

В Атлантическом океане, между 1° и 7° с.ш., расположена область, которая отличается малым количеством трансформных разломов (Сьерра-Леоне, Страхова и Св.Петра) (рис.1). Южной границей этого сегмента является разлом Сан-Паулу [1,2], северной – разлом 7° с.ш. Последний практически был не изучен, и представление о рельфе дна основано на немногочисленных галсах, которые были отсняты при помощи однолучевого эхолота [7]. Наиболее полно особенности строения этого участка Атлантики отражены на Генеральной батиметрической карте Мирового океана (ГЕБКО) (рис.2а) [5]. Согласно этим данным, что между $35^{\circ}40'$ з.д. и $29^{\circ}00'$ з.д. расположен желоб безымянного разлома, протяженностью порядка 500 км. Данные альтиметрии подтверждают его существование, но между $38^{\circ}10'$ з.д. и $30^{\circ}20'$ з.д. [9] (рис. 2б). К этому району приурочены эпицентры землетрясений [4]. Протяженность активной части оценивается примерно в 100 км. На востоке и западе борта трога сближаются, и он «замыкается». Севернее, на $7^{\circ}20'$ с.ш., расположен крупный разлом который никогда не изучался.

В июне 2000 г. здесь был проведен 22-ой рейс НИС «Академик Николай Страхов» (начальник рейса – А.А.Пейве) (рис.2в, г). Съемка дна осуществлялась с применением многолучевого эхолота SIMRAD EM12S и сопровождалась непрерывным сейсмическим профилированием (НСП) (рис.3). Батиметрическая съемка проводилась под руководством Турко Н.Н. и Мазаровича А.О. Обработка первичных батиметрических данных осуществлялась Турко Н.Н., Добролюбовой К.О. и Соколовым С.Ю. (ГИН РАН). Помимо этого, в сборе данных принимали участие Пейве А.А., Сколотнев С.Г., Разницин Ю.Н. (ГИН РАН) и сотрудники Института морской геологии (Италия, Болонья) Лиджи М., Пениенти Д., Карлуччио С., Ферранте В., Блази А. и Чиприани А. Подчеркнем, что особенно важный вклад в успешное осуществление работ внес профессор Марко Лиджи, который во время российской части программы курировал техническое состояние эхолота и навигационной системы GPS, а также проводил измерения скорости звука в воде.

Техническое руководство по организации и проведении работ НСП осуществлялось Ефимовым В.Н., сбор цифровой информации – Соколовым С.Ю., техническое обслуживание – Чиликовым А.М. и Ерофеевым С.А.

Дополнительные сведения о результатах рейса, а также цветную карту можно найти на сайте Лаборатории геоморфологии и тектоники дна океанов ГИН РАН – <http://atlantic.tv-sign.ru>).

Запланированные галсы обеспечили 100% покрытие всей активной зоны упомянутого разлома и частичное – на его восточном фланге. Такая изученность позволяет дать первое описание этого нарушения, которому предлагается присвоить название «разлом Богданова» в честь крупного советского геолога – Алексея Алексеевича Богданова (подробнее - http://atlantic.tv-sign.ru/names/russian/names_r.html).

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА РАЗЛОМА БОГДАНОВА

Разлом Богданова был прослежен от $30^{\circ}55'$ з.д. до $34^{\circ}50'$ з.д. (230 миль). По особенностям рельефа и по строению осадочного чехла он может быть разделен на три зоны: от $30^{\circ}55'$ з.д. до $33^{\circ}35'$ з.д.; $33^{\circ}35'$ з.д. - $33^{\circ}55'$ з.д.; $33^{\circ}55'$ з.д. - $34^{\circ}50'$ з.д.

Первая зона представляет собой трог с выровненным дном, расположенным на глубинах 4250 - 4300 м (рис.4А, Б). Его строение осложняется рядом небольших поднятий, ориентированных под углом по отношению к основному простиранию трога. Южнее закартированы хребты меридионального простириания, севернее, в районе $30^{\circ}55'$ з.д. – два хребта, разделенных впадиной.

Вторая зона соответствует замкнутой котловине, которая с востока и запада ограничена субмеридиональными поднятиями, описание которых будет дано ниже(см. рис.4А, Б). Ее дно выровнено и расположено на глубинах 4260-4300 м. Севернее расположен хребет с минимальной глубиной 2567 м.

Третья зона (активная часть разлома) имеет протяженность порядка 60 км. Она представляет собой желоб шириной 7-7,5 км, дно которого расположено на глубинах более 4000 м (см. рис.4А, Б). Осадки здесь имеют мощности либо на пределе обнаружения НСП или отсутствуют (см. рис.3). С 1958 по 1996 год в районе активной части разлома Богданова зафиксировано 26 мелкофокусных (0-10 км) землетрясений с магнитудами 4,5-5,4 а, в период 1963 – 1975, 7 глубокофокусных (33 км) с магнитудами 4,2-5,1 (см. рис. 4В) [4]. Первые сосредоточены, в основном, в районе углового поднятия и восточнее, в рифтовой зоне. Вторые тяготеют к северному борту трога разлома, а также к западной нодальной впадине.

Желоб активной части разлома с севера обрамлен хребтом, южные склоны которого имеют уклоны от 20 до 45° . Наиболее приподнятая часть хребта расположена на западе, где установлена гора с минимальной глубиной 1591 м. Она имеет уклоны западных склонов более чем в 30° . Западнее установлена изометрическая нодальная впадина с максимальной глубиной 5512 м. Общий размах рельефа около 4400 м. В основании склона вышеописанного хребта закартированы вытянутые впадины с уклонами поверхностей от 0 до 3° . Южнее установлен узкий медианный хребет, высота которого достигает 200 м, а далее – субширотные депрессии с глубинами 4700 - 4800 м. С юга активная часть разлома ограничена угловым поднятием и субмеридиональными хребтами.

Угловое поднятие (рис. 5Б) представляет собой двухвершинную гору общей протяженностью с востока на запад около 25 км, которая оконтурена изобатой 3400 м. Минимальная глубина на востоке составляет 1635 м, на западе – 1307 м. Северный склон круто опускается к активной части разлома. Он осложнен двумя уступами. Общая амплитуда рельефа составляет 3695 м.

Поднятие состоит из двух частей – восточной субширотной и западной с северо-западным простирианием. Первая представляет собой массивное образование, имеет ширину вершинной поверхности около 2,7 км. Вторая выражена протяженным хребтом, который имеет ориентацию (с юга на север) 325° , 347° , затем – 5° , и, наконец, 45° . Ширина хребта меняется от 2500 до 3800 м. Субпараллельно ему, примерно вдоль $34^{\circ}07'$ з.д., от восточной вершины углового поднятия отходит второй отрог с шириной порядка 6 км. Южная граница углового поднятия, видимо, имеет разломную природу. Оба отрога разделяются долиной с шириной от 2 до 5 км. Внутри нее расположено несколько изометрических гор с диаметром основания до 2000 м. Они могут интерпретироваться как вулканы центрального типа. Максимальная высота построек достигает 350 м.

Севернее углового поднятия была закартирована нодальная впадина (см. рис. 4, 5). Она представляет собой субширотную депрессию, протяженностью 35 –40 км, шириной от 9 – 10 км на востоке до 4 – 5 км на западе. Максимальная измеренная глубина составляет 5002 м. Восточная часть более пологая и ступенчато опускается в западном направлении. Дно имеет углы наклонов в первые градусы. Северные и южные склоны представляют собой уступы с углами 15 и более градусов. В некоторых местах закартированы субмеридиональные уступы, возникновение которых можно связать с разломной тектоникой.

Западнее углового поднятия расположены субмеридиональные гряды с минимальными отметками 1793, 2074, 2179, 2074 м. Они отделены от углового поднятия долиной шириной порядка 5 км. Для района характерно также большое количество узких (1 – 2 км) хребтов, высотой до 200 м и протяженностью до 20 км, которые нередко ориентированы под различными углами и в плане могут иметь извилистую форму (рис. 6). Они хорошо видны на профилях НСП в виде вертикальных стен высотой до 300 м, возвышающихся на относительно плоском основании. Драгирование показало, что

эти образования покрыты прочной железо-марганцевой коркой. Морфологические признаки позволяют предполагать, что это дайковые или интрузивные образования. Однако необходимы дополнительные исследования для определения истинной природы «даек».

Наиболее примечательной деталью строения области стыка рифтовой долины и разлома Богданова представляется хребет, лежащий севернее внешнего углового поднятия. Он представляет собой приподнятую область дна (вал), шириной порядка 5 – 6 км, которая перегораживает разломный. На продолжении хребта в северном борту склона разломного трога установлена депрессия.

На склонах вала, особенно на западном, есть большое количество гор конической формы с высотами от первых метров до 150 м. С учетом данных драгирования [8] (свежие базальты со стеклом) (см. рис. 5) они могут быть вполне достоверно интерпретированы как вулканы центрального типа. По осевой части хребта протягивается узкий вал, протяженностью около 12 км, над которым также возвышаются изометричные вулканические постройки, высотой порядка 50 м. Таким образом, вал представляет собой результат трещинного излияния, а весь хребет – результат интенсивнейшей современной вулканической деятельности, возникшей при продвижении рифта в северном направлении. Это подтверждается также данными расположения эпицентров землетрясений. В пределах вала с 1979 по 1988 год зафиксировано тридцать землетрясений с магнитудами от 4,5 до 5,4 и с глубиной очага 10 км и одно – 33 км.

Восточнее ($33^{\circ}48'$, $33^{\circ}42'$, $33^{\circ}36'$ - $33^{\circ}30'$ з.д.) закартированы (см. рис. 2) еще три хребта со сходным строением. Наиболее восточный превышает по ширине все остальные, и на нем можно выделить, помимо вулканов центрального типа, два вулканических вала, изогнутых, так же, как и в районе стыка рифт – разлом, в западном направлении.

НСП проводилось вдоль желоба разлома Богданова и на западе полигона, где осадки не были обнаружены. Профиль НСП, проведенный с востока на запад примерно по центральной части желоба разлома Богданова, показал (см. рис.3), что трог разлома заполнен осадочным чехлом, мощность которого уменьшается при приближении к рифту. В активной части осадки отсутствуют. Толща состоит из трех комплексов. Верхний имеет мощность порядка 100 – 150 мс, средний – 300 мс, а нижний, проявленный только в восточной части профиля, – до 200 мс. Характер осадочной толщи соответствует ненарушенному пелагическому заполнению, со слабо выраженной компакцией в местах налегания осадков на акустический фундамент. Границы между верхним и средним, а также между средним и нижним комплексами в ряде мест деформированы.

Восточнее полигона на протяжении 10 миль наблюдается рефлектор с аномально большим коэффициентом отражения, который резко отличен от окружающего акустического фундамента и, скорее всего, соответствует вулканокластическому материалу (восточные склоны хребтов 1 и 2, см. рис. 3), заполнившему имевшиеся депрессии акустического фундамента. В западной части профиля хорошо видно боковое отражение от крутого южного борта разлома (угловое поднятие), вступающее раньше донного отражения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разлом Богданова по особенностям рельефа представляет собой типичный трансформный разлом. Протяженность трога активной части разлома составляет около 60 км, осадки в нем отсутствуют. Сейсмичность приурочена к его бортам. В областях стыка его активной части и рифтовых долин закартированы нодальные, которые резко отличаются по своей морфологии – западная имеет изометричные очертания, восточная – вытянута в широтном направлении. Примерно вдоль осевой части трога трассируется медианный хребет.

В строении восточного стыка рифт – трансформ установлены особенности, которые не типичны для Срединно-Атлантического хребта. Рифт неоднократно продвигался на север и в ряде мест перегородил трог разлома вулканическими хребтами. В Центральной Атлантике отмечены случаи проникновения неовулканических зон в пределы нодальных впадин в виде узких хребтов (разломы Вима, Сан-Паулу), но в разломе Богданова случай более масштабный и необычный. Описанная ситуация характерна для хребтов с очень быстрыми скоростями спрединга (например, разлом Ороско в Тихом океане) [6], но не для Срединно-Атлантического хребта. Она свидетельствует об активном продвижении рифта в северном направлении при большой скорости растяжения. Это же подтверждают

и данные о гравитационных аномалиях Буге – под хребтом протягивается аномальная зона разуплотненных пород (аномалии 220 мГал), в то время как прилегающие области характеризуются аномалиями в 260 – 270 мГал. Разуплотненная зона пересекает трог разлома Богданова и прослеживается на северном хребте. В рельфе здесь закартирована широкая депрессия, которая хорошо видна и на картах «предсказанной топографии». Как говорилось выше, к этому району приурочена зона повышенной сейсмической активности. Изложенные факты свидетельствуют о том, что в настоящий момент происходит существенная перестройка геодинамической ситуации. Можно предполагать, что в случае полного пересечения рифтом поперечного хребта произойдет «отключение» активной части разлома Богданова и западного рифта, а основная область трансформации переместится севернее, в разлом $7^{\circ}20'$ с.ш., при этом значительный отрезок пассивной части станет активной зоной.

Нами были установлены, как было сказано выше, восточнее стыка рифт – трансформ еще три вулканических хребта, которые нарушают строение трога разлома Богданова. Таким образом, процессы резкого ускорения спрединга протекали с разной интенсивностью и попытки продвижения рифта на север происходили в этом районе неоднократно. По неизвестным причинам «прорыва» рифта на север не произошло. Более того, по данным, «предсказанной топографии» на поперечном хребте на их продолжении нет никаких значительных депрессий.

Анализ соотношения осадочного чехла в пределах желоба разлома Богданова и отрогов южного хребта показал, что здесь происходила их неоднократная активизация как минимум в два этапа (см. рис. 3 и 4В). В самом общем виде изученная часть разлома делится на три части, наиболее восточная характеризуется движениями отрога 9 (см. рис. 3), происходившими после накопления осадочных пород нижнего и среднего комплексов. После прекращения движений стал накапливаться наиболее молодой осадочный комплекс, который полностью замаскировал эти подвижки.

Средняя часть, расположенная между отрогами 3 и 6 (см. рис. 3 и 4В) отличается современными деформациями осадков, которые приводят к образованию новых форм рельефа – хребтов меридионального простирания. Амплитуды движений составляют не менее 50 м.

Между хребтами 1 и 3 (см. рис. 3 и 4В) расположена зона, в которой современные деформации осадочного чехла не устанавливаются. Основная часть тектонической активности, как было сказано выше, сосредоточены в пределах хребта 1, который отличается вулканализмом и сейсмичностью и продвигается в северном направлении, нарушая строение северного обрамления трога разлома Богданова.

Таким образом, происходило не простое формирование продвигающихся вулканических хребтов с последующим их отодвиганием, а их многофазная активизация, которая фиксируется деформациями осадков.

Полученные данные свидетельствуют о том, что на границе двух трансатлантических зон – с малым количеством трансформных разломов и полиразломной системой $7^{\circ}20'$ с.ш. – Вернадского – Долдрамс происходят сложные процессы продвижения рифтовой зоны в северном направлении. Для более полного понимания этих процессов требуется дополнительный геодинамический анализ районов со сходным тектоническим строением, например, района разлома Сан-Паулу.

Работа выполнена в рамках подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан», реализуемой Минпромнаукой России.

Авторы выражают признательность компании “GDS Production” за предоставленную возможность обработки сейсмических материалов в среде программного продукта MSPSoft.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапова Г. В. Особенности морфологии межрифтовой зоны разлома Сан-Паулу (экваториальная Атлантика). // Океанология. 1994. Т.33. № 1. С. 107-112.
2. Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта. Приложение к монографии "Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта". МОК ЮНЕСКО, ГЕОХИ РАН: АТКАР, ПКО "Картография". 1997. 33 с.
3. Bonatti E., Honnorez J., Ferrara G., Ultramafic Rocks. Peridotite-gabbro-basalt complex from Equatorial Mid-Atlantic Ridge // Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. 1971. Ser A. Vol. 268. P.385-402.

4. CNSS Earthquake Composite Catalog. June 1997 (<http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/>)
5. GEBCO-97 Digital Atlas CD. IHO. Natural Environment Research Council. (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/ihc.html>)
6. Madsen J.A., Fox P. J., Macdonald K.C. Morphotectonic fabric of the Orozco transform fault: results from SeaBeam investigations // J. Geophys. Res. 1986. Vol. 91. B3. P.3439-3454.
7. Marine Trackline Geophysical Data CD. NOAA Product # G01321-CDR-A0001.
8. Peyve A., Bonatti E., Brunelli D. et al. New data on some major MAR structures: preliminary results of R/V Akademik Nikolaj Strakhov 22 cruise // InterRidge News. 2000. Vol. 9. 2. P. 28.
9. Smith W. H. F., Sandwell D. T. Global Seafloor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. // Science. 1997. Sept. 26. Vol. 277 (5334). (<ftp://topex.ucsd.edu/pub/>, <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/>)

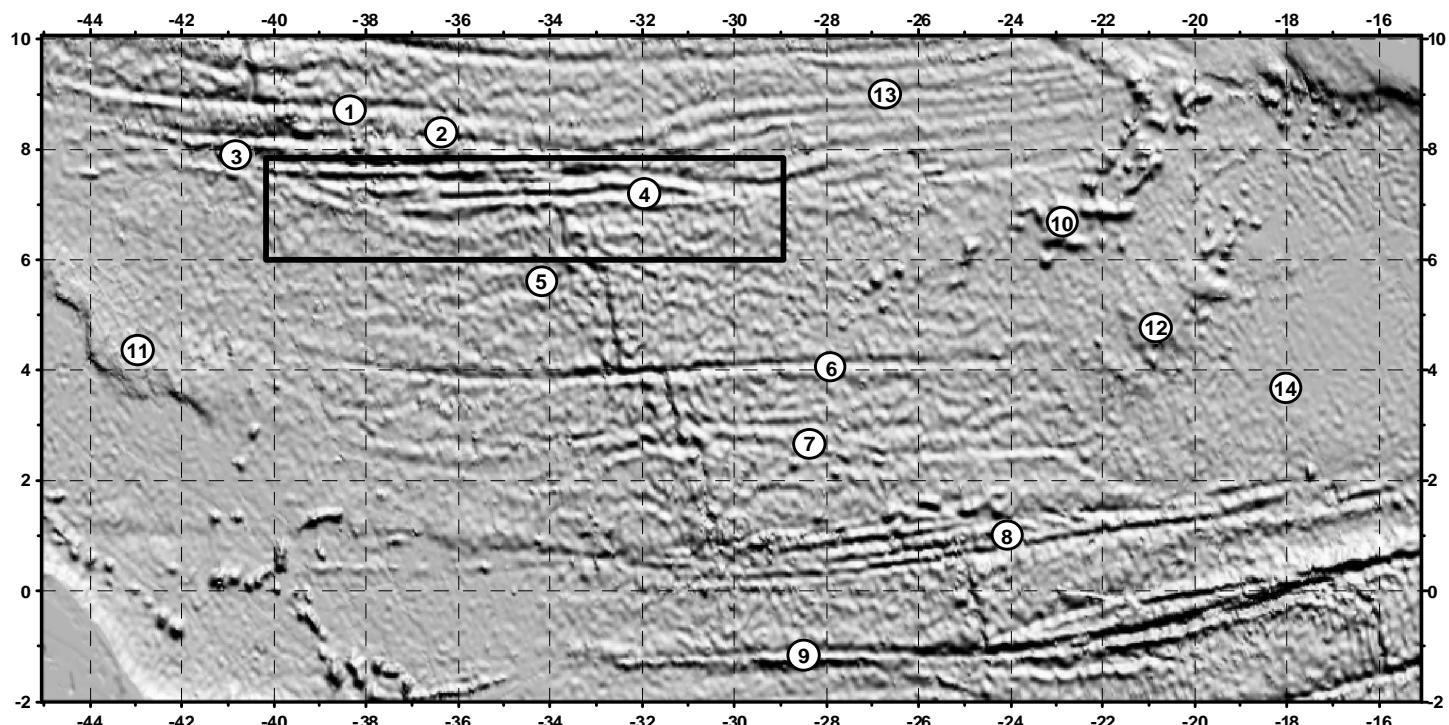


Рис. 1. Положение района работ и основные морфоструктуры приэкваториальной Атлантики. Цифрами в кружках обозначены: 1 – 9 - разломы: 1 - Архангельского, 2 – Долдрамс, 3 – Вернадского, 4 – Богданова, 5 – Сьерра-Леоне, 6 – Страхова, 7 – Св.Петра, 8 – Сан-Паулу; 9 – Романш; 10 – горы Батиметристов; 11 – 12 поднятия: 11 –Сеара, 12 - Сьерра-Леоне; 13 – 14 – котловины: 12 - Зеленого Мыса, 14 – Сьерра-Леоне. Прямоугольник – район работ. Картографическая основа – предсказанная топография [9]. Здесь и далее значения широты и долготы приведены в градусах с десятичной долей (кроме рисунка 4).

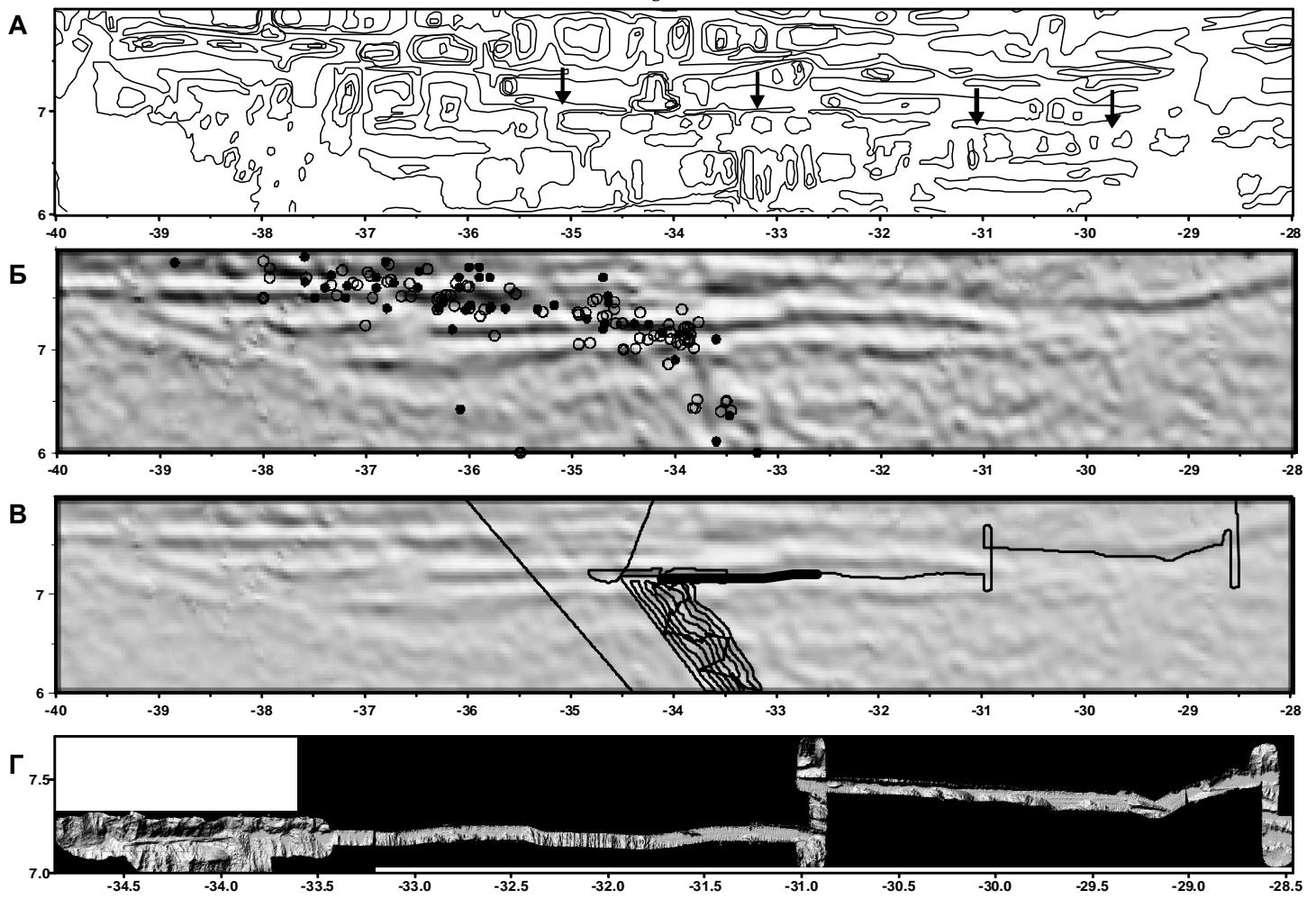


Рис. 2. Район разлома Богданова. А – батиметрическая карта [5], Б – Сейсмичность. Кружками обозначено положение эпицентров: залитые – глубокофокусные (33 и более км), не залитые – мелкофокусные (10 и менее км), Картографическая основа – предсказанная топография [9], В – схема изученности в 22-ом рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (толстой линией показано положение сейсмического профиля - рис.3), Г – батиметрия изученной части разлома, построенная по технологии оттененного рельефа.

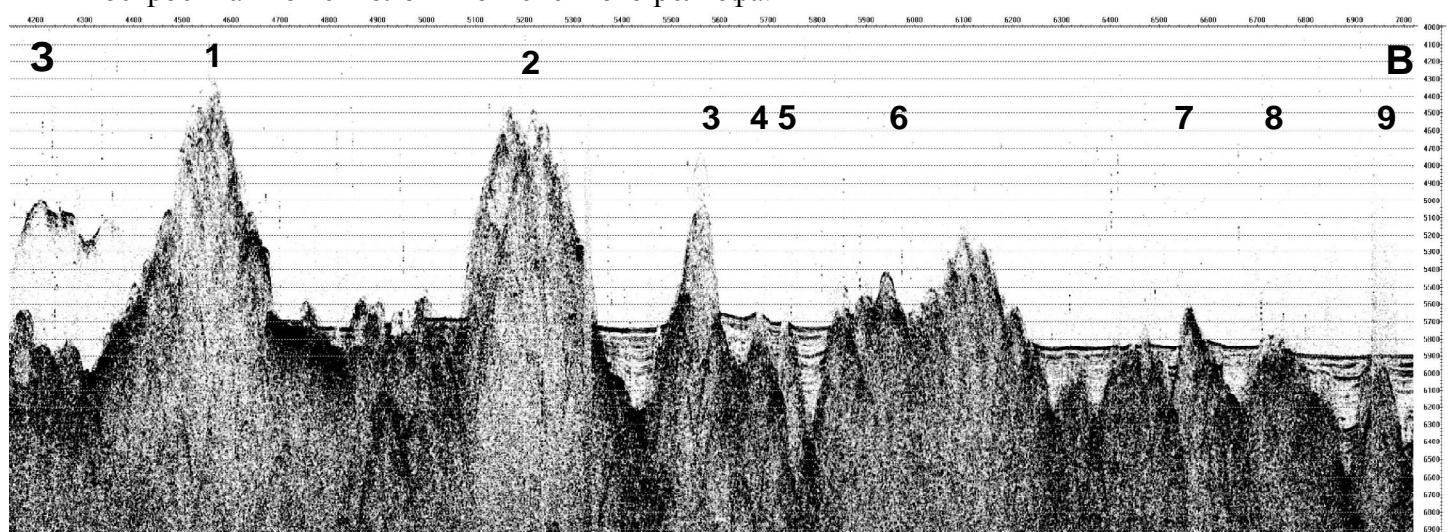


Рис. 3. Сейсмический профиль НСП вдоль активной части разлома Богданова. Положение профиля показано на рисунке 2В. Расстояние между пикетами – 50 м, весь профиль – 144 км. Цифрами обозначены условные номера хребтов, которые обсуждаются в тексте.

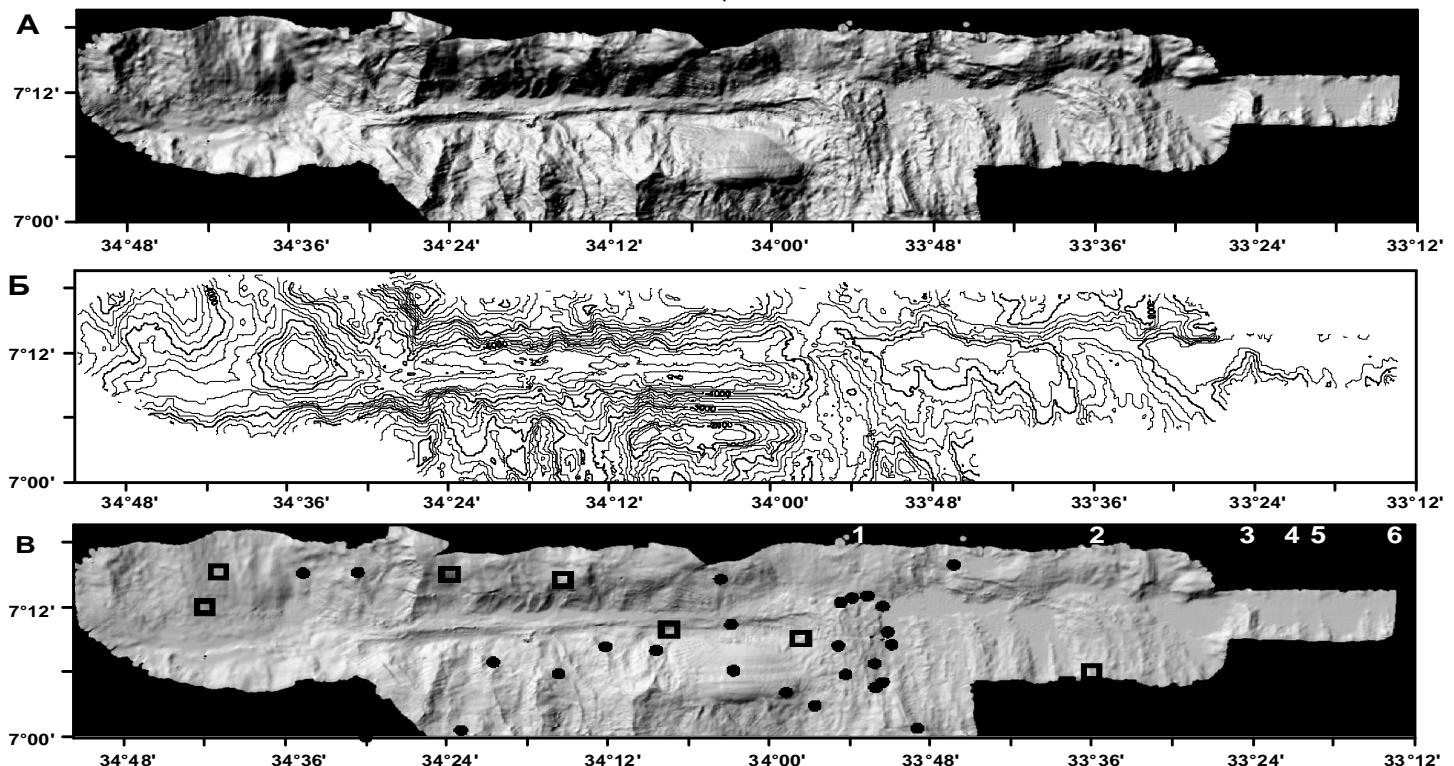


Рис. 4. Строение активной части разлома Богданова. А - батиметрия, построенная по технологии оттененного рельефа, Б – батиметрия (изобаты через 100 м), В - сейсмичность. Квадраты - эпицентры глубокофокусные (33 и более км), кружки - мелкофокусные (10 и менее км), картографическая основа – предсказанная топография [9]. Цифрами обозначены условные номера хребтов, которые обсуждаются в тексте (см. Рис.3).

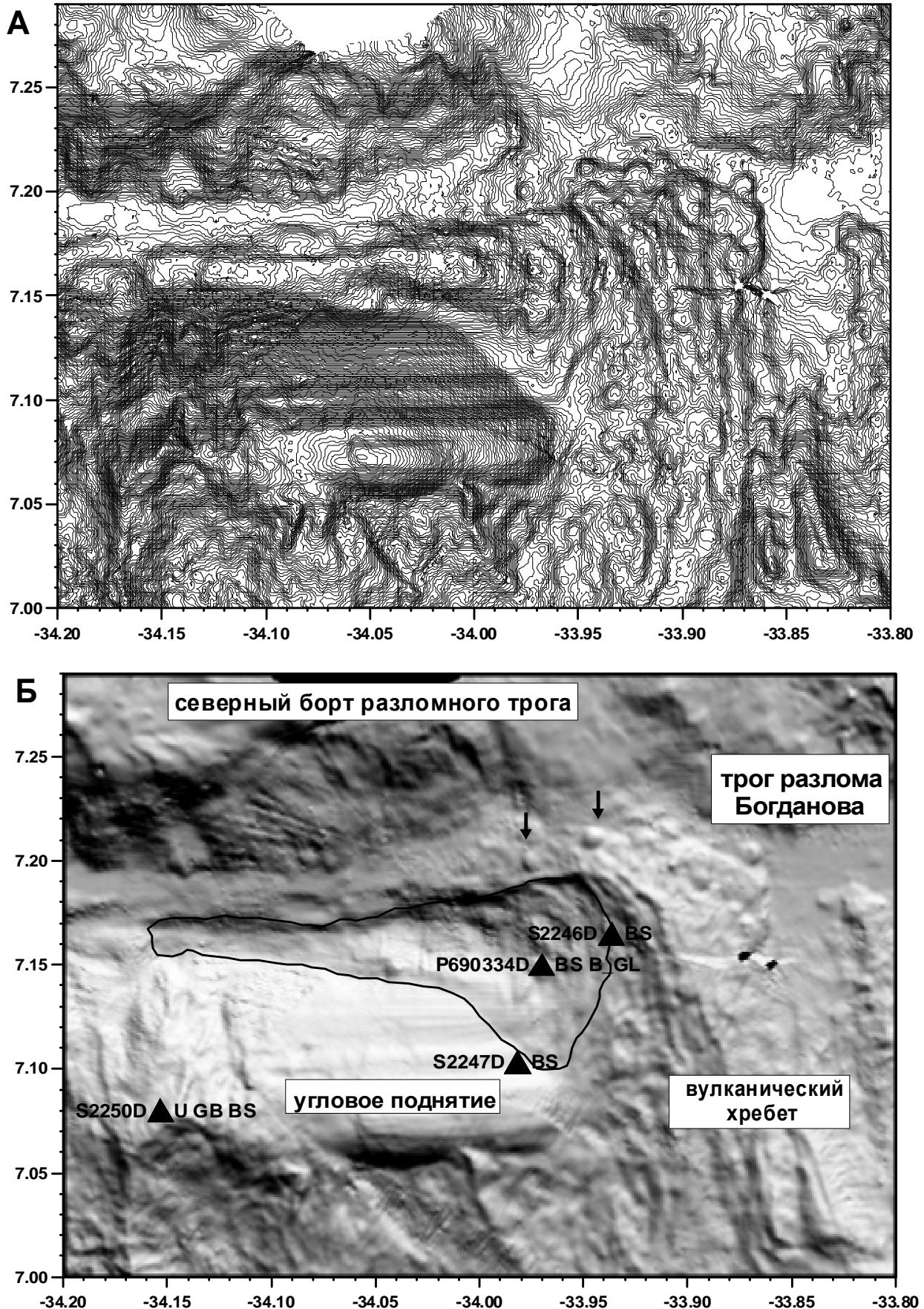


Рис. 5. Строение стыка разлома Богданова и рифтовой зоны. А - батиметрия (изобаты через 20 м), Б – положение станций драгирования, слева – код станции (Р – нис «Пиллсбери» [3], S22 - 22-ой рейс нис «Академик Николай Страхов»), справа – состав пород (BS – базальты, B_GL - базальты со стеклом, U - гипербазиты, GB – габбро). Стрелками показаны примеры вулканов центрального типа. Линия – внешний контур нодальной впадины. Картографическая основа – батиметрия, построенная по технологии оттененного рельефа

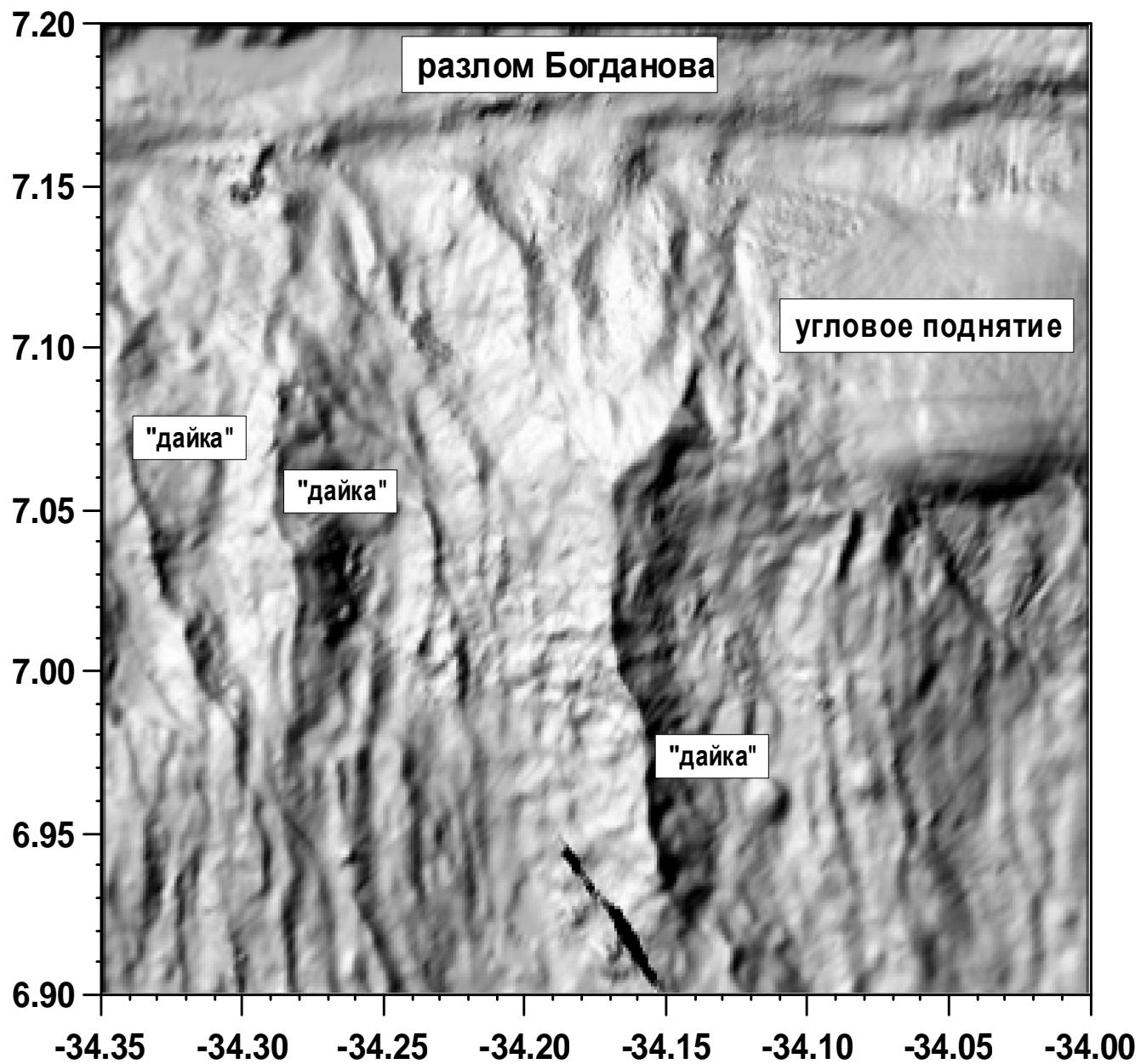


Рис. 6. «Дайки» южнее активной части разлома Богданова. Картографическая основа – батиметрия, построенная по технологии оттененного рельефа