

Мазарович А.О., Соколов С.Ю.

Разломные зоны северо-западного простирания Центральной Атлантики.

Геотектоника. 2002. № 3. С. 87 - 94.

Анализ Генеральной батиметрической карты Мирового океана (GEBCO) показывает, что в приэкваториальной части Атлантического океана существует система линеаментов северо-восточного и северо-западного простираций [Мазарович, 1994]. Она выявлялась по резкому исчезновению частей трансформных разломов в абиссальных котловинах, смещениям или их изгибам. Помимо этого, в ряде мест гребневой части Срединно-Атлантического хребта (САХ) отмечались искривления рифтовых долин. Линеаменты северо-западного простирания отчетливо устанавливались, в основном, между 30° и 50° з.д., северо-восточного – в районе Островов Зеленого Мыса и южнее поднятия Ресерчер. Предполагалось также, что они определяют рельеф поднятия Сеара. При изображении линеаментов на структурно-морфологической схеме отмечались также данные о положениях эпицентров землетрясений вне осевой зоны САХ. При этом выявлялась определенная их приуроченность к разрывам северо-западного простирания. Несколько позже [Мазарович и др., 1996] существование разломов, ориентация которых не совпадала с простирациями ни САХ, ни трансформных разломов, подтвердилось при анализе данных батиметрической съемки и непрерывного сейсмического профилирования (НСП) в пассивной части разлома Страхова.

Необходимо подчеркнуть, что разрывы, косо (под углом отличным от прямого) ориентированные по отношению к простиранию срединно-океанического хребта, рифтовой зоны или трансформных разломов, выделялись между разломами Зеленого Мыса и Меркурий [Van Andel et al., 1971] и описывались как «Oblique fault», "Discontinuity" или области прерывания сплошности рифтовых гор. Позже проблема существования этих феноменов анализировалась Ю.М.Пущаровским и С.Г.Сколотневым. Они показали, что "на океанском дне повсеместно как в пределах сводовой части Срединно-Атлантического хребта, так и на его флангах и в зафланговых абиссальных котловинах наблюдаются структуры иных простираций, косых по отношению и к тренду рифтовой долины, и к тренду трансформного разлома" [Пущаровский, Сколотнев, 1997, с. 63]. "Косые разломные структуры представлены тремя основными типами: трансформными разломами, разрывами, располагающимися в межразомных пространствах, и структурами, находящихся вне трансформных зон" [там же, с.73].

Обширную новую информацию о косоориентированных разломных структурах несут альтиметрические данные [Sandwell, Smith, 1997]. Они показывают (рис. 1), что в Центральной Атлантике можно выделить большое количество линеаментов с азимутом простирания от 310 до 330°, положение которых в целом, совпадает с нарушениями, которые выявлялись и по батиметрическим данным. Они тяготеют к Срединно-Атлантическому хребту, однако отчетливо проявлены и в абиссальных котловинах. Возникает вопрос – являются ли эти образования реально существующими природными объектами или это артефакты?

Ответ на поставленный вопрос дает детальный анализ батиметрических и сейсмических данных, которые были получены в рейсах НИС «Академик Николай Страхов». Анализ всех вышеприведенных материалов и их сопоставление с мировыми базами данных по землетрясениям позволяет вновь обратиться к оценке достоверности существования линеаментов указанных направлений и попытаться определить их рельефобразующую роль и тектонический смысл.

Разломы северо-западного простирания по данным крупномасштабной батиметрической съемки Центральной Атлантики между зонами разломов Зеленого Мыса и Сан-Паулу

Батиметрическая съемка в рейсах НИС «Академик Николай Страхов» проводилась многолучевым эхолотом ECHOS-625 в сочетании с непрерывным сейсмическим профилированием (НСП) с межгалсовым расстоянием 2,5 – 5 миль. В 22-ой рейсе применялся многолучевой эхолот SIMRAD EM12S, обеспечивший покрытие дна в полосе шириной до 4 глубин. С 11-ого рейса координация промера осуществлялась при помощи системы навигации GPS. Эти технические средства обеспечивают высокую надежность получаемых данных о рельефе дна.

Разломная зона Сан-Паулу состоит из четырех субширотных желобов [Агапова, 1993], разделенных межразломными поднятиями (рис.2). Глубины желобов (Агапова, 1993), увеличиваются с севера на юг от 3700 до 4200 м. В пределах изученной акватории установлено также 3 рифтовых долины.

Компьютерная обработка исходной батиметрической карты [2, 8], а также совмещение результатов с гравиметрическими, сейсмическими и сейсмологическими [CNSS..., 1997] данными [Sandwell, Smith, 1997] позволило выделить здесь систему разрывов северо-западного простирания. В частности, субширотный хребет между третьим и четвертым разломами (от северной границы разломной системы), западнее рифта в плане имеет эшелонированный характер со смещениями в 3 – 4 км. К этим зонам приурочены уступы северо-западного простирания, что позволяет предполагать существование разломных зон соответствующего простирания, видимо сдвигового характера. Указанное направление также фиксируется по удлинениям подводных гор и поднятий на межразломных хребтах, отдельными уступами, распределением наклонов поверхностей рельефа или зон осадконакопления и ориентацией долин. В последнем случае это наиболее четко фиксируется конфигурацией депоцентров осадконакопления с мощностями от 600 до 1000 м. Последнее обстоятельство свидетельствует о большой древности заложения разломов северо-западного простирания. Наконец отметим, что простирания отрезков рифтовых зон также имеют ту же ориентировку.

В районе с 1950 по 1997 год зафиксировано 55 землетрясений с магнитудами от 3.0 до 6.7 [CNSS ..., 1997]. В пределах полигона зафиксировано также 15 событий, для которых произведен расчет параметров механизма очага, помещенных в каталог Гарвардского университета (США) [Harvard..., 1997]. Анализ механизмов показывает, что в ряде мест существуют дислокации типа “сдвиг”, но в отличие от трансформных разломов, где вектор сдвига по плоскости срыва направлен вдоль разлома, в пределах данного полигона наблюдается наличие сдвигов, у которых вектор направлен в субмеридианальном направлении. Это свидетельствует о наличии сильной субмеридианальной компоненты коровых напряжений, реализация которых в виде разрывных нарушений происходит по всем теоретически возможным направлениям сколов относительно ориентации напряжения.

Южнее разлома Зеленого Мыса ($15^{\circ}20' с.ш.$) рифтовая долина протягивается на юг субмеридионально до $13^{\circ}45'$ с.ш. Между $13^{\circ}40'$ и $13^{\circ}45$ с.ш. она изгибается к востоку, одновременно расширяясь и углубляясь. Ее генеральное простижение становится северо-западным (рис.3, автор батиметрической карты – Турко Н.Н., цифровой модели – Добролюбова К.О.). Активная часть разлома Марафон располагается на 13° с.ш. Дно желоба активной части разлома Марафон к югу от углового поднятия представляет собой две отдельные депрессии с глубинами 4600-5000 м, разделенные порогом с высотой 100-150 м. Здесь происходит ее смещение в южном направлении. На продолжении порога на хребте между желобами Марафон и Меркурий находится зона понижений северо-северо-западного простирания. Еще южнее располагается ряд аномальных зон в желобе разлома Меркурий. В северном направлении от нодальной впадины расположены склоны горы Ферсмана той же ориентировки. В рельфе горы Ферсмана хорошо видны крутые уступы высотой от 500 до 1000 м. На продолжении которых и находится вышеописанная область изгиба рифтовой долины. Севернее также намечается подобная субпараллельная зона аномалий рельефа северо-западного простирания, с которой корреспондирует второй изгиб рифта между $13^{\circ}40'$ и $13^{\circ}45$ с.ш. Можно предполагать, что формирование вышеописанных аномальных форм рельефа связано с существованием разломных зон.

В районе $2^{\circ}40'$ с.ш. разлом располагаются два субпараллельных трога, которые получили название - разлом Св. Петра. Он представляет собой сложно построенную структуру [2, 8]. Основной интерес представляют взаимоотношения рифтовой долины и поперечных нарушений, которые мы и рассмотрим более подробно. Северный трог хорошо прослеживается в рельфе и по увеличенным (до 700 м) мощностям осадков. При приближении к рифтовой зоне разлом изгибается к северу, но в гребневой зоне хребта не прослеживается. Восточнее оси хребта соотношение трога и рифта аналогично. По данным эхолотирования рифтовая долина резко изменяет простижение на субширотное [устное сообщение Г.В.Агаповой и 8].

Между разломами Богданова ($7^{\circ}10$ с.ш.) и Страхова закартирована рифтовая долина, которая в районах $6^{\circ}51'$ с.ш. и $6^{\circ}03'$ с.ш. резко меняет свое простижение (рис.4) с субмеридионального на северо-западное. В первом случае смещение рифта составляет порядка 20 км, во втором – около 50 км. Эти области совпадают с нарушениями, которые в американской тектонической терминологии именуются как «discontinuity» или разрывы. Помимо этого, в рельфе отчетливо видно значительное количество форм подводного рельефа (долины, отдельные хребты, удлинение гор), имеющих северо-западное простижение. Судя по изменениям направлений хребтов, их изгибам, наиболее вероятным представляется существование здесь системы правых сдвигов с амплитудами смещения до первых сотен метров.

Разломы северо-западного простирания устанавливаются не только на полигонах, но и на отдельных галсах. Так, в 22-ом рейсе НИС «Академик Николай Страхов», был исследован разлом, расположенный на $7^{\circ}20'$ с.ш. Его трог выполнен осадочной толщой с мощностью до 500 мс. Здесь был установлен ряд поперечных нарушений, которые привели к формированию новейших форм рельефа – пологих асимметричных валов, островершинного поднятия ($29^{\circ}30'$ з.д.), одностороннего моноклинального подъема осадков около поднятия акустического фундамента ($28^{\circ}55'$ з.д.).

Обсуждение

Приведенные выше факты свидетельствуют о том, что в Центральной Атлантике существует система разломов, происхождение которой требует специального обсуждения. Она оказывает активное влияние на строение практически всех известных объектов в океане – срединно-океанических хребтов, абиссальных котловин, асейсмичных поднятий, пассивных частей трансформных разломов, архипелагов и отдельных островов. Помимо этого они пересекают наиболее активные тектонические зоны в океанической литосфере – рифтовые долины с формирующейся океанической корой и активные части трансформных разломов. Поэтому понимание их природы окажет существенное влияние на развитие фундаментальных знаний в области геологии, тектоники и геодинамики литосферы океанов.

Рифтовые долины (например, севернее разлома Марафон, между разломами Богданова и Сьерра-Леоне) в местах пересечения с разломами северо-западного простирания, приспособливаются к этому направлению. Здесь влияние разломов ощущается даже на дне рифтовой долины. Вместе с тем, наиболее молодые части рифтов – неовулканические зоны и внутририфтовые впадины являются наложенными на них. Разломы вне рифтов прослеживаются по прямолинейным долинам, простирающимся поднятий, резким обрывам и изменениям простираций разнобразных геологических объектов. В целом структурные рисунки показывают, что они имеют сдвиговую или сбросо-сдвиговую составляющую. Этому обстоятельству не противоречат, как было показано выше, известные решения механизмов землетрясений в разломе Сан-Паулу. В целом, анализ распределения очагов землетрясений [CNSS..., 1997] и разломов (рис.5) показывает, что очень многие землетрясения, которые зафиксированы за пределами осевой части Срединно-Атлантического хребта тяготеют к разломам северо-западного простирания (например – юго-восточнее поднятия Ресерчер, севернее Гвинейского поднятия, в котловинах Демерара и Зеленого Мыса), что свидетельствует об их активности в настоящее время. Вместе с тем, данные о распределении мощностей осадков выше 600 м в разломе Сан-Паулу позволяют утверждать, что заложение системы могло происходить и в дочетвертичное время.

Очевидно, что описанные выше разломы (см. рис. 1) формировались в поле напряжений, созданном глобальной системой тангенциальных (направленных по касательной к поверхности Земли) сил, которое охватывало всю Центральную Атлантику и воздействовало универсальным образом на блоки океанической коры самого разного масштаба и тектонического положения. Об этом говорит выраженность разломов северо-западного простирания на картографических основах разной детальности. При этом образование разломов не может быть связано с развитием спрединговой системы. Более того, выше, на нескольких примерах (например, район разлома Сьерра-Леоне), было показано, что рифтовые зоны сами наследуют в своем развитии обсуждаемое северо-западное направление.

Установленная разломная система, проявлена в Центральной Атлантике на огромной площади (порядка 22 000 000 кв. км). Она устанавливается как в пределах Срединно-Атлантического хребта, так и в абиссальных котловинах. Это требует поиска специальных объяснений.

Можно предположить, что формирование разломов происходило по одному из двух механизмов. Первый заключается в уменьшении полярного радиуса Земли на фоне общего расширения Атлантического океана. Соответствующая суперпозиция напряжений, возникающая вследствие деформации формы планеты (без изменения ее объема) может обеспечивать сдвиговый или сбрососдвиговый характер разломов. Подчеркнем, что для проверки этого механизма требуется изучение других регионов Земли под соответствующим углом зрения.

Второй механизм может быть связан с эволюцией приливных процессов в системе Земля-Луна (Авсюк, 1996), приводящей к периодическому (около 200 млн. лет) изменению ориентации оси вращения Земли относительно тела сфериода. Вместе с ориентировкой оси вращения, не проходящей через центр масс Земли, меняется характеристика и ориентация главных моментов инерции Земли. Нам представляется, что расположенные на поверхности планеты блоки земной коры, подстилаемые слоем с пониженной вязкостью, будут «отслеживать» изменения ориентации главных моментов инерции Земли

и двигаться по его поверхности к положению, соответствующему оптимальной конфигурации масс относительно осей инерции. При этом возникающая на поверхности сфероида система тангенциальных сил обеспечивает как образование сдвиговых разломов, так и перемещение блоков земной коры по поверхности. В реальности, скорее всего, имеет место совокупность обоих механизмов – изменения формы планеты и отслеживания поверхностными массами на поверхности сфероида ориентации осей инерции Земли. В обоих случаях для образования сдвигов блоков коры относительно друг друга необходима пониженная вязкость подкорового субстрата, что в срединных зонах океана обеспечивается широкими проявлениями мантийного диапиризма.

Если высказанные предположения верны, то при наличии тангенциальной силы, можно также ожидать существование сколовой, примерно перпендикулярной системы разрывов северо-восточного простирания. Анализ данных спутниковой альtimетрии (см. рис 1) показывает, что она существует и особенно отчетливо проявляется в районе Островов Зеленого Мыса. Она доказывается данными непрерывного сейсмического профилирования около горы Крылова [Вулканические..., 1989], где установлены системы нарушений северо-восточного простирания, а также прямыми геологическими наблюдениями на островах Боавишта и Сан-Висенти [Тектоника ..., 1990]. На западе о. Боавишта расположена зона крупных разломов северо-восточного простирания с общей шириной до 2 км. Судя по горизонтам калькаренитов, эта часть острова испытывала опускания, которые в новейшее время сменились неравномерным подъемом, в результате которого калькарениты были подняты над уровнем океана на высоты 40-130 м.

На о. Сан-Висенти [Тектоника ..., 1990] хорошо прослеживается система разломов северо-западного простирания (СЗ 310°), которая разбивает его на ряд блоков и совпадает с простиранием всего поднятия Санту-Антан - Сан-Николау. Она контролирует основные геоморфологические элементы острова (северо-восточные квесты, их отроги, основные долины, перевалы и т.п.) и разделяет различные геологические образования. Северо-восточная система разломов имеет меньшую протяженность, она, как правило, амагматична, и ее простирание совпадает с простиранием проливов между островами. Отметим, что зоны разломов северо-восточного простирания требуют специального анализа, который не входит в задачу настоящей работы.

Таким образом, в Центральной Атлантике существуют две системы разломов северо-западного и северо-восточного простираций, которые оказывают активное воздействие на рельефообразующие процессы как в пределах Срединно-Атлантического хребта, так и в абиссальных котловинах, в которых они контролируют расположение эпицентров землетрясений. Выявленные структуры ставят ряд проблем, которые связаны с комплексной интерпретацией разломов всех типов – их генезис, пространственные и временные соотношения, сравнительный анализ с другими районами Мирового океана. Последняя проблема требует анализа огромного количества картографического и литературного материала. Предварительно можно отметить, что разломы, пересекающие рифтовые зоны под разными углами (в плане) были установлены ранее в районе острова Буве в южной Атлантике [Mazarovich, Sokolov, 1995], что свидетельствует о перспективности данного направления тектонического анализа.

Работа выполнена в рамках подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» Федеральной Целевой Программы «Мировой океан», реализуемой Минпромнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

- Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: Научный мир, 1996. 188 с.
- Агапова Г. В. Особенности морфологии межрифтовой зоны разлома Сан-Паулу (Экваториальная Атлантика). // Океанология. 1994. Т.33. № 1. С. 107-112.
- Вулканические поднятия и глубоководные осадки востока Центральной Атлантики. М.: Наука, 1989. 247 с.
- Мазарович А.О. Тектоническая конвергенция пассивных частей трансформных разломов в Приэкваториальной Атлантике. // Докл. РАН. 1994. Т. 335. №. 1. С. 70 - 73.
- Мазарович А.О., Кольцова А.В., Соколов С.Ю., Ефимов В.Н. Строение пассивной части разлома Страхова на востоке Срединно-Атлантического хребта. // Докл. РАН. 1996. Т. 349. № 4. С. 511-515.
- Пущаровский Ю.М., Сколотнев С.Г. Косые разломы в Атлантическом и Индийском океанах. // Геотектоника. 1997. № 2. С. 63–74.
- Тектоника и магматизм островов Зеленого Мыса. М.: Наука, 1990. 246 с. (Тр. ГИН'а: Вып. 451)
- Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта. Приложение к монографии "Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта". Париж. МОК ЮНЕСКО, ГЕОХИ РАН: АТКАР ПКО "Картография". 1997. 33 с.

CNSS Earthquake Composite Catalog. June 1997 (<http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/>)
Harvard University Centroid-Moment Tensor Catalog. December 1997.
[\(http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html\)](http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html)

Mazarovich A.O., Sokolov S.Yu. Unusial modern fractures cut be rift valley in the Bouvet island region. // 5-th Zonenshain conference on plate tectonics. Moscow 22-25, Shirshov institute of Oceanology RAS. 1995. p. 17

Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine Gravity Anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry.//J. geophys. Res. 1997. Vol. 102. N B5. p.10039-10054.

Van Andel T.H., Von Herzen R.P., Phillips J.D. The Vema Fracture Zone and the tectonics of transverse shear zones in oceanic crustal plates. // Mar. Geophys. Res. 1971. V.1. P. 261–283.

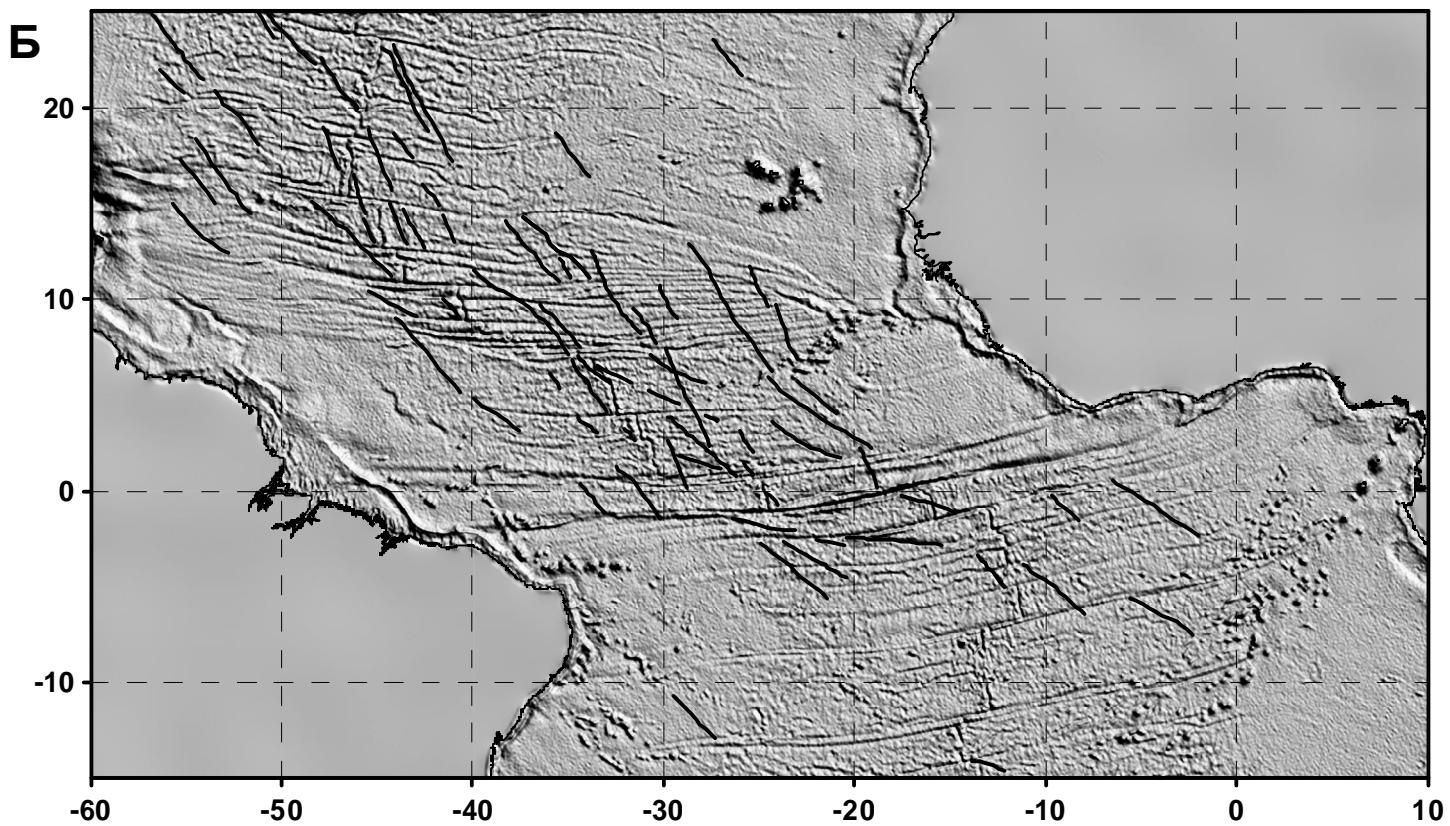
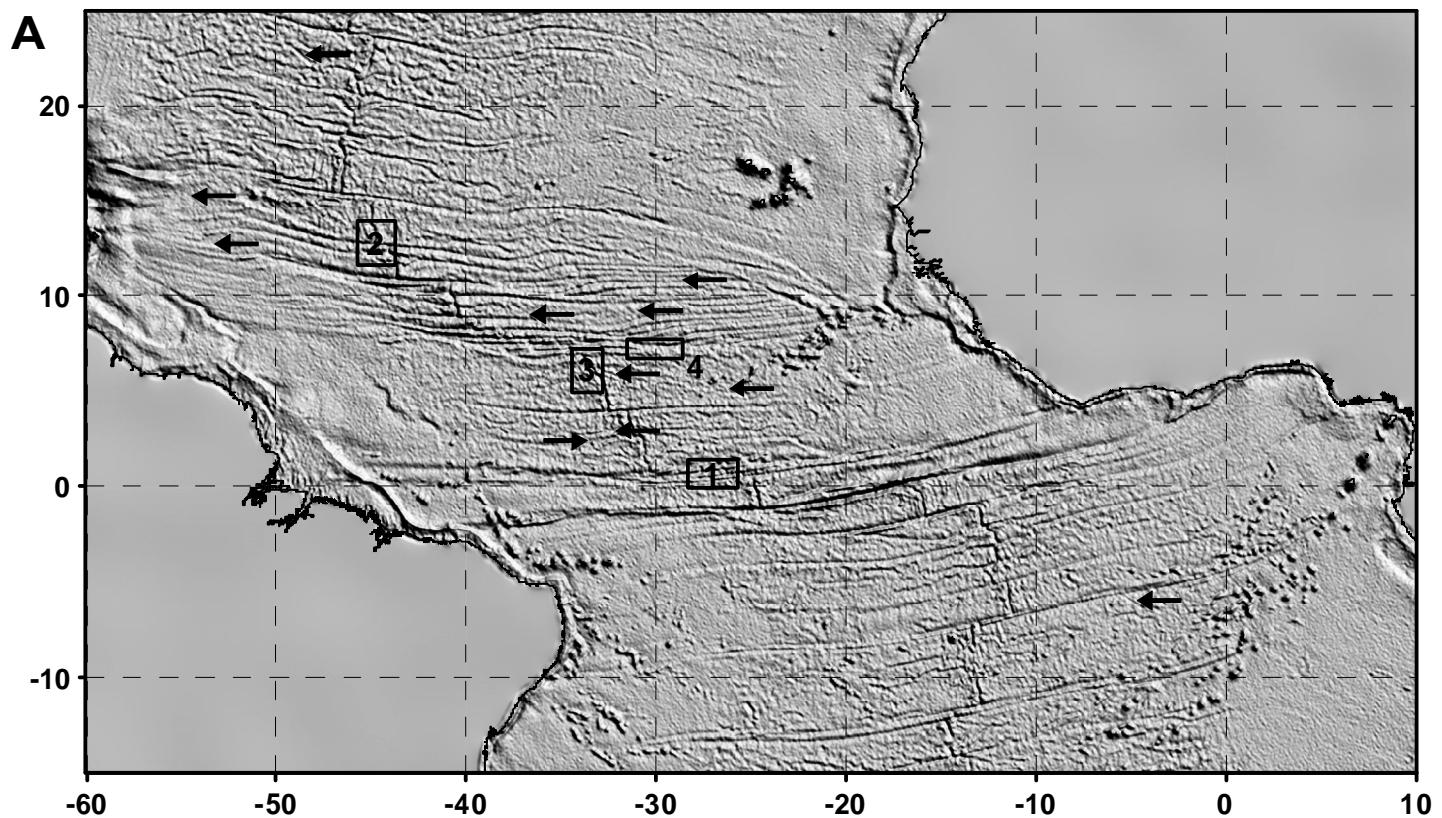


Рис. 1. Система разломов северо-западного простирания в Центральной Атлантике. А - Проявление системы по данным альтиметрии (Sandwell, Smith, 1997). Стрелками показаны примеры линеаментов северо-западного простирания. Прямоугольники – районы работ НИС «Академик Николай Страхов»: 1 – Сан-Паулу, 2 – Марафон-Меркурий, 3 – Сьерра-Леоне, 4 – разлом $7^{\circ}20'$ с.ш. Б - результат дешифрирования.

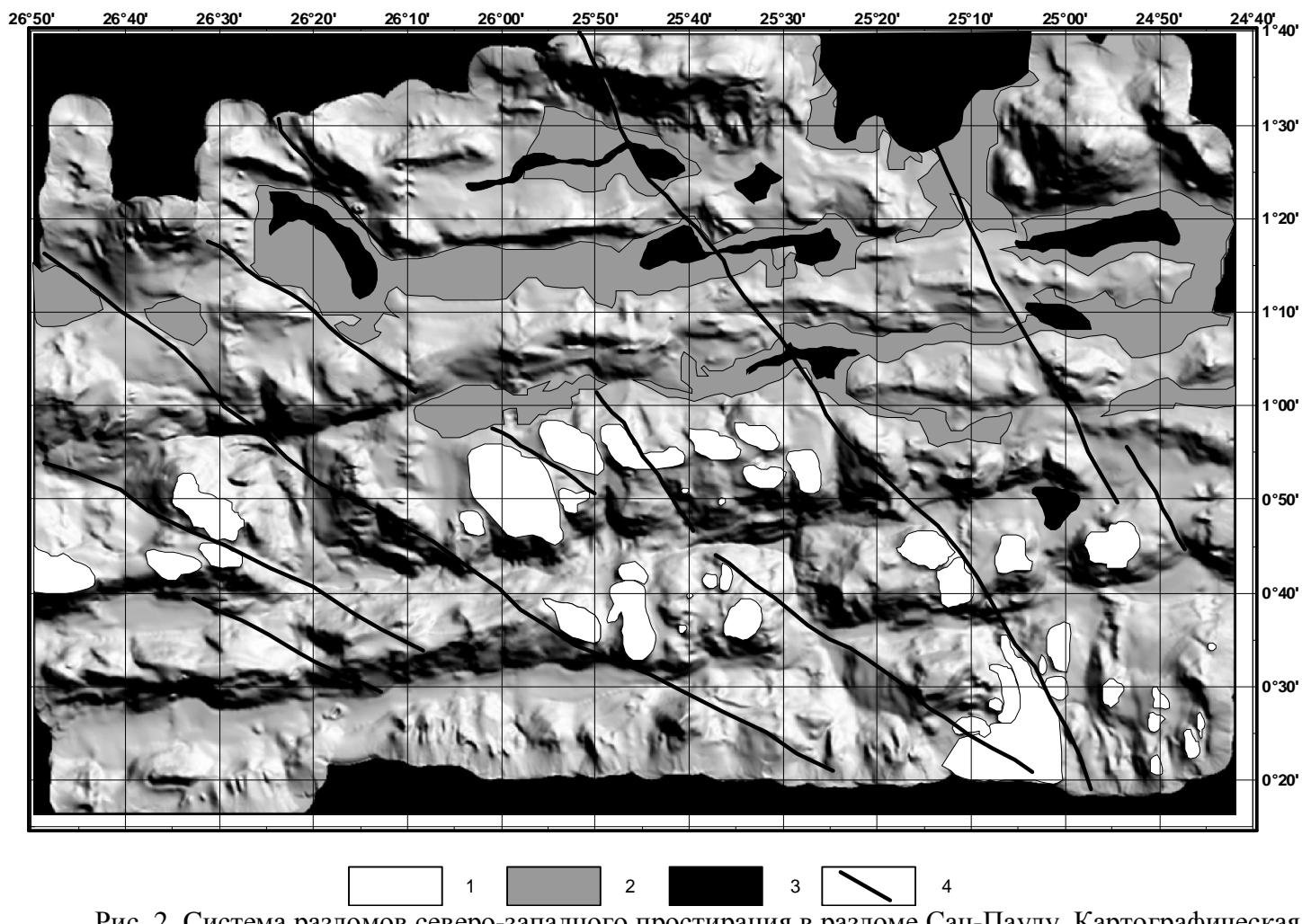


Рис. 2. Система разломов северо-западного простирания в разломе Сан-Паулу. Картографическая основа - батиметрическая карта, построенная по технологиям оттененного рельефа. 1 – крупные горы; 2 – 3 осадки мощностью: 2 – менее 600 м, 3 – 600 – 1100 м; 3 – разломы.

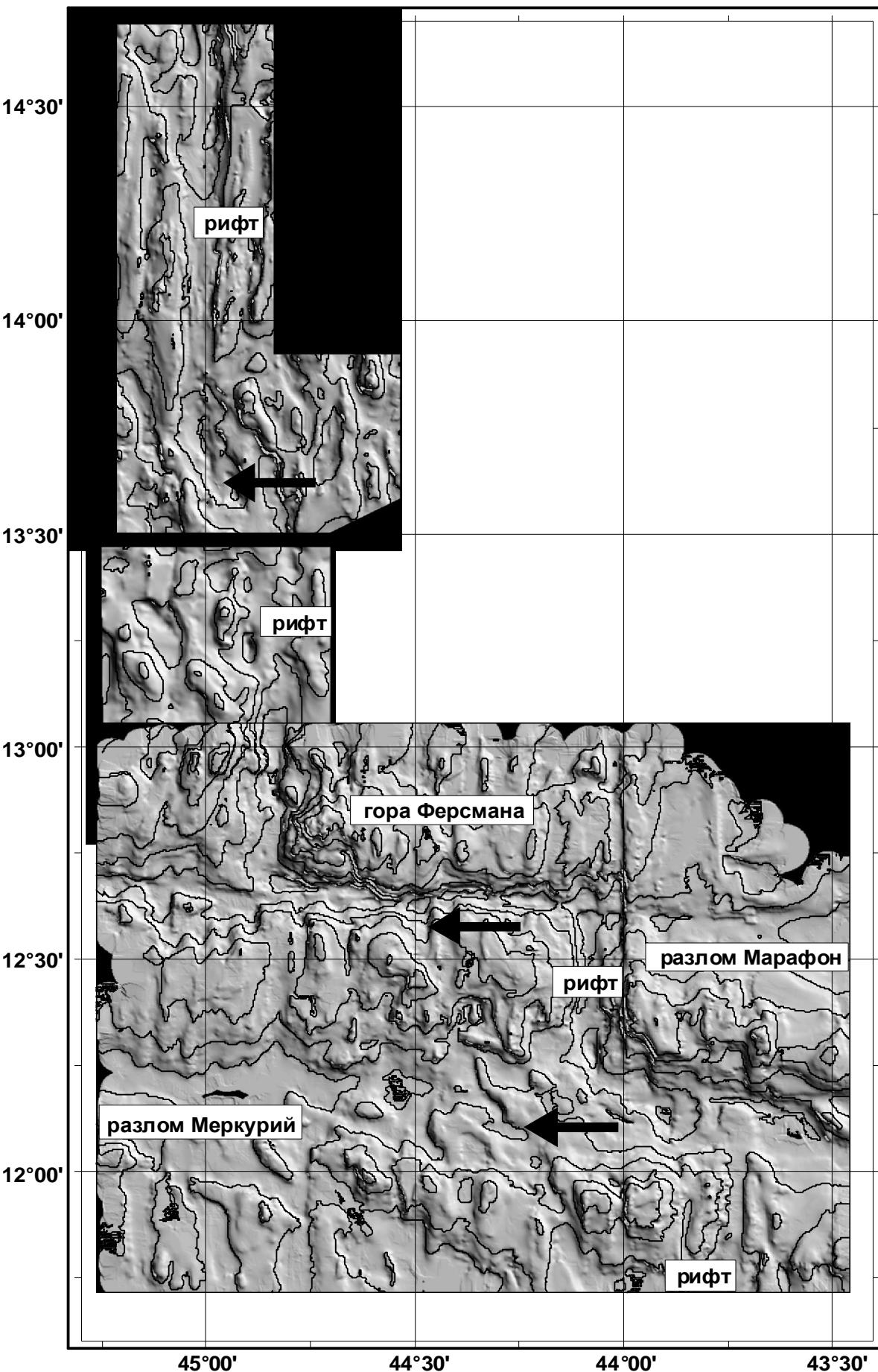


Рис. 3. Батиметрическая карта разломов Марафон и Меркурий, построенная по технологии оттененного рельефа. Изобаты – через 500 м. Стрелками показаны разрывы северо-западного простирания.

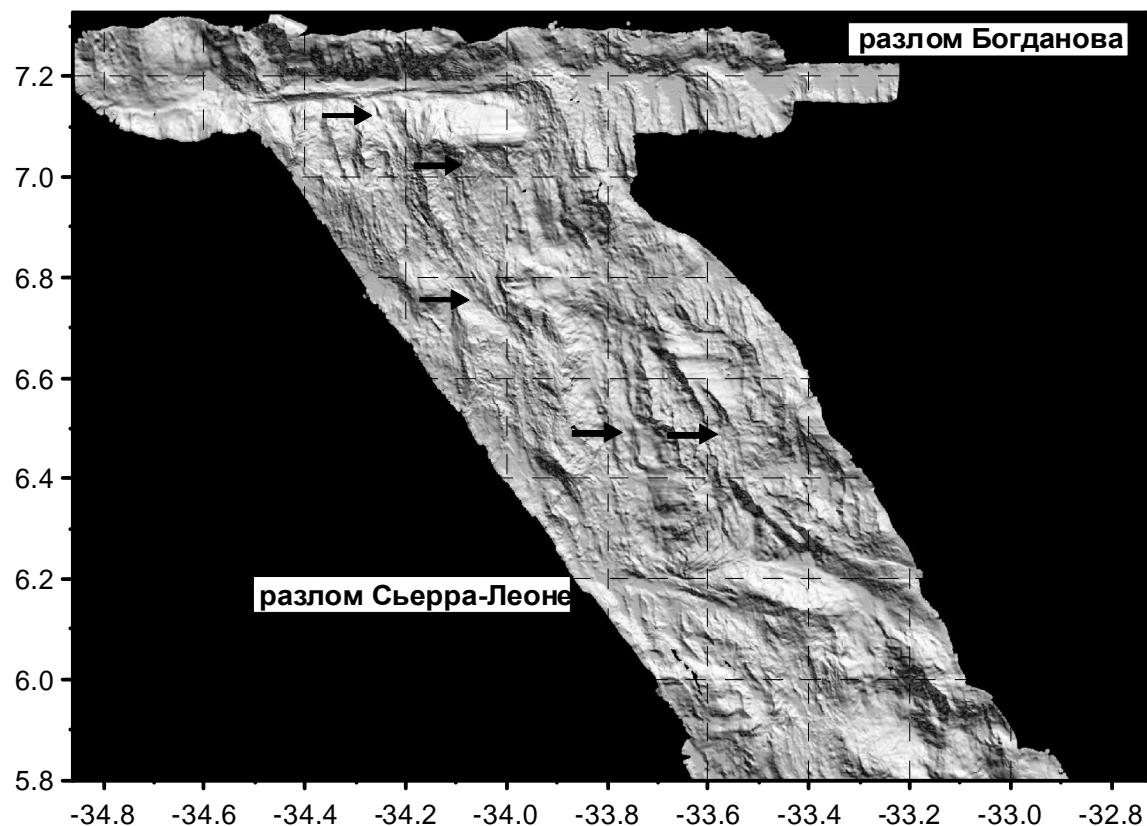
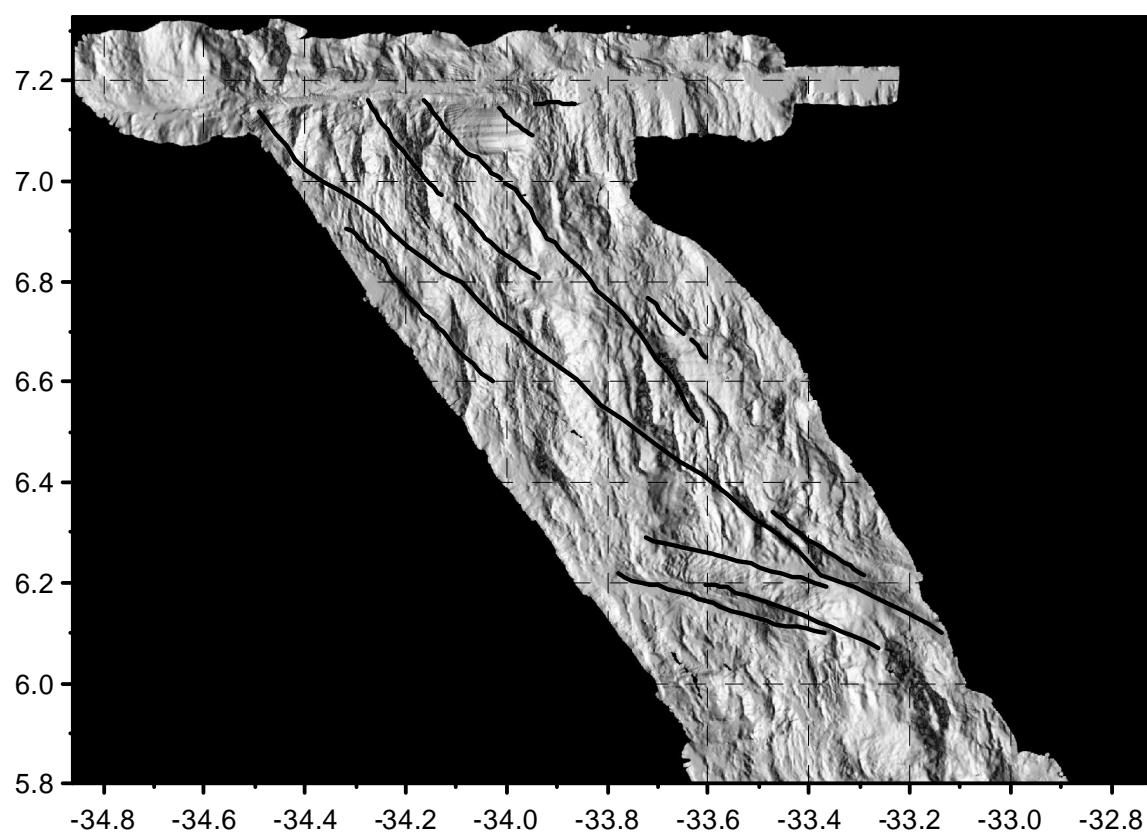
A**Б**

Рис. 4. Система разломов северо-западного простирания в районе разлома Сьерра-Леоне. А - батиметрическая карта, построенная по технологии оттененного рельефа. Стрелками показаны разрывы северо-западного простирания, Б - результат дешифрирования. (Значения широты и долготы приведены в градусах с десятичной долей)

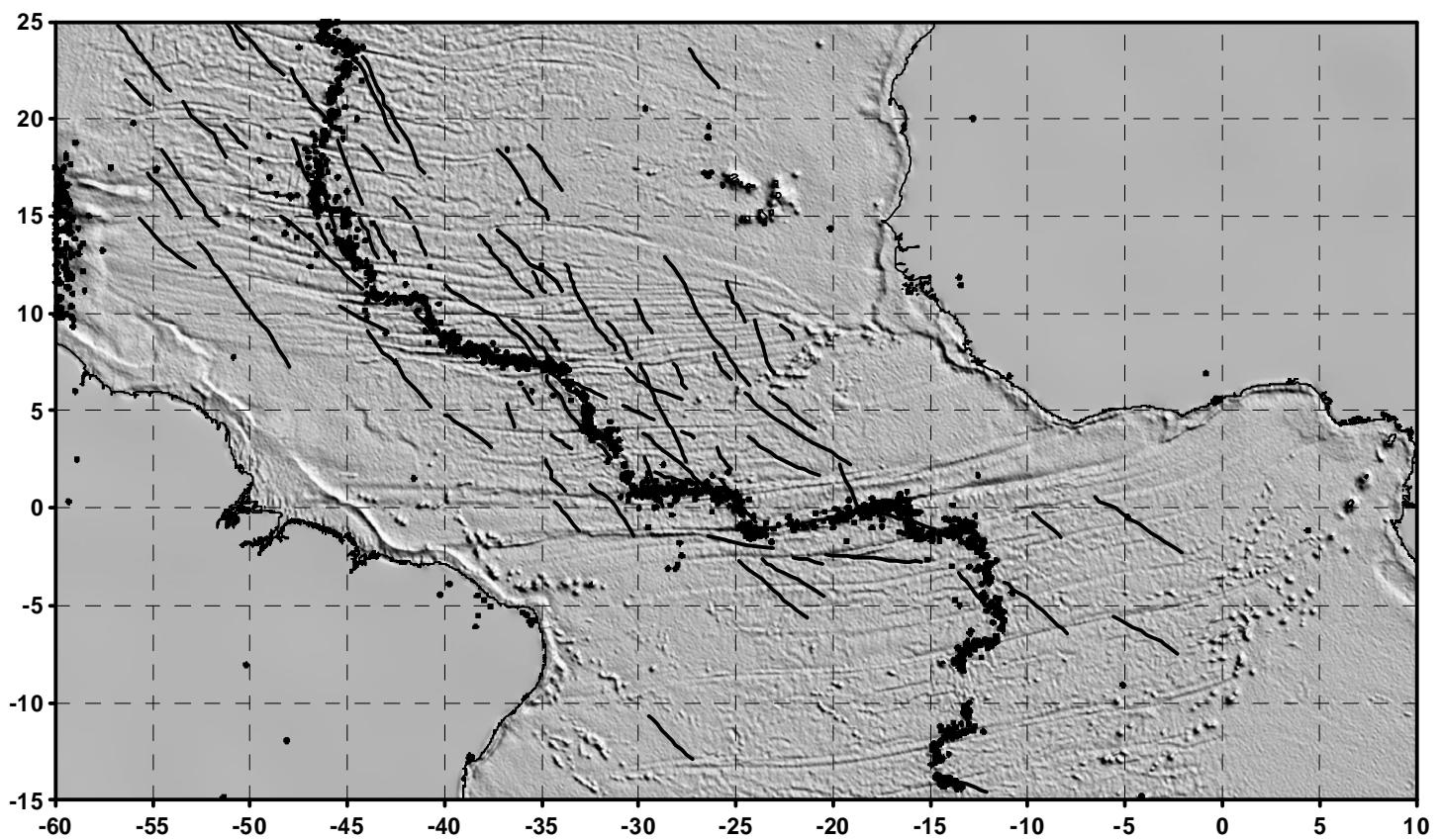


Рис. 5. Соотношение очагов землетрясений (черные точки) (CNSS..., 1997) и системы разломов северо-западного простириания в Центральной Атлантике.