

**А.О.Мазарович<sup>1</sup>, В.А.Симонов<sup>2</sup>, А.А.Пейве<sup>1</sup>, С.В. Ковязин<sup>2</sup>, Г.А. Третьяков<sup>2</sup>, Ю.Н.Разницин<sup>1</sup>,  
Г.Н.Савельева<sup>1</sup>, С.Г.Сколотнев<sup>1</sup>, С.Ю.Соколов<sup>1</sup>, Н.Н.Турко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

**Гидротермальная минерализация разлома Сьерра-Леоне (Центральная Атлантика)**  
Литология и полезные ископаемые. 2001. № 5. С. 526 – 533.

Анализ данных по положению гидротермальных полей, сейсмичности и спутниковой альtimетрии свидетельствует о том [Мазарович, Соколов, 1998], что в срединно-океанических хребтах с невысокой скоростью спрединга гидротермальные поля тяготеют к сегментам рифтовых зон с пониженным фоном сейсмичности, которые, по всей видимости, наиболее благоприятны для устойчивой циркуляции растворов. Такие участки располагаются в областях разрывов (“discontinuity”). Согласно рассмотренной модели [Мазарович, Соколов, 1998], предполагалось, что миграция флюидов осуществляется вдоль простирания рифта, в соответствии с ориентацией трещин. Места разгрузки рудных компонентов в этом случае должны находиться в наиболее стабильных частях, в которых созданы условия для долговременной (до десятков тысяч лет) устойчивой циркуляции гидротермальных растворов.

Анализ расположения эпицентров землетрясений [CNSS..., 1997] в приэкваториальной Атлантике (рис. 1) показывает, что здесь есть два региона, в которых землетрясения или не зарегистрированы или их количество существенно меньше чем в соседних отрезках Срединно-Атлантического хребта (САХ). Первый располагается в области разлома Св. Петра ( $2^{\circ}40'$  с.ш.), второй – разлома Сьерра-Леоне ( $6^{\circ}$  с.ш.). Оба разлома имеют незначительные по протяженности активные части и могут быть отнесены к разрывам (“discontinuity”).

Область разлома Сьерра-Леоне исследовалась нами в 2000 году во время 22-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» [Peyve et al., 2000]. В ходе экспедиции проводилась батиметрическая съемка со сплошным покрытием с помощью многолучевого эхолота SIMRAD 12S и драгирование, которое позволило обнаружить породы с гидротермальными изменениями и с сульфидной минерализацией.

**Геологическое положение пород с гидротермальными изменениями**

Рифтовая зона САХ между разломами Страхова ( $4^{\circ}$  с.ш.) и  $7^{\circ}10'$  с.ш. разделена на три крупных сегмента. Наиболее южный расположен между разломами Страхова и  $5^{\circ}05'$  с.ш. Здесь развита (Экваториальный..., 1997) субмеридиональная рифтовая долина прямолинейной в плане формы, которая обрамлена рифтовыми горами, усложненными отдельными субширотными седловинами. По данным драгировок, здесь поднимались только измененные в различной степени базальты. Второй сегмент расположен между  $5^{\circ}05'$  с.ш. и  $6^{\circ}15'$  с.ш. Рифтовая зона имеет общее простиранье  $320^{\circ}$ . Она состоит из трех изолированных впадин сложной конфигурации. Западный борт образован узкими вытянутыми хребтами, которые испытывают разворот с меридионального простирания на  $320^{\circ}$  в районе  $5^{\circ}05'$  с.ш. Третий сегмент представляет собой хорошо выраженную в рельефе рифтовую долину с неовулканическими хребтами. Строение рифтовой зоны нарушено двумя крупными широтными зонами ( $6^{\circ}50'$  с.ш. и Сьерра-Леоне -  $6^{\circ}$  -  $6^{\circ}20'$  с.ш.). Обе, по данным спутниковой альtimетрии [Sandwell, Smith, 1997], представлены в гравитационном поле отчетливыми линейными минимумами. Здесь наблюдается исключительно широкое распространение ультрабазитов и габброидов, вскрытых в бортах рифтовой долины. Дно современного рифта сложено свежими подушечными базальтами.

Область пересечения разлома Сьерра-Леоне и рифтовой долины имеет очень сложное строение (рис.2). Рифтовая долина состоит из двух ветвей, которые разделены горой с минимальной отметкой 1902 м, которой предлагается присвоить название «гора Леонова» в честь профессора Геологического факультета МГУ Георгия Павловича Леонова (подробнее - [http://atlantic.tv-sign.ru/names/russian/names\\_r.html](http://atlantic.tv-sign.ru/names/russian/names_r.html)). Восточная ветвь представляет собой узкую долину с высотой склонов до 750-800 м. Она резко меняет свое направление в районе  $33^{\circ}18'$  з.д. с субмеридионального на широтное. Севернее горы Леонова рифт распадается на три субмеридиональных долины. Западная

ветвь изгибаются к востоку и прослеживается южнее горы Леонова.

Во время 22-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» в описанном выше районе, как перспективном для обнаружения признаков гидротермальной деятельности, проведено драгирование (см. рис. 2). Две станции были расположены на северо-восточном склоне горы Леонова (S2231, S2232), одна - в области разветвления рифтовой долины (S2234) и одна - в восточной ветви рифта (S2230). В трех первых породы с признаками гидротермальных изменений. Особый интерес представляют материалы станции S2234, в которых были установлены обильные выделения сульфидов.

На станциях S2231 и S2232 преобладают серпентинизированные мантийные ультрабазиты и развиты брекчии с обломками ультраосновных пород. На станции S2234 подняты комплексы пород с преобладанием габбро, габбро-долеритов и долеритов. Эти породы представляют фрагменты дайкового комплекса, о чем можно судить по прямолинейным закалочным контактам между среднезернистым габбро и долеритами, с образованием афировых базальтов. В долеритах развиты зеркала скольжения и тонкие зоны рассланцевания.

Наиболее детально особенности рудообразующих процессов в зоне разлома Сьерра-Леоне были изучены в ходе исследования каменного материала из драги S2234. При этом особое внимание было уделено долеритовым порфиритам, содержащим сульфидную минерализацию. Породы в значительной мере изменены с широким развитием в основной массе вторичных минералов - амфиболов, хлоритов и т.д. В то же время, порфировидные плагиоклазы, достаточно свежие, сохранили свой первичный магматогенный облик. Термобарогеохимическим анализом выявлены флюидные включения во вторичных минералах (амфибол) и расплавные включения в крупных порфировидных плагиоклаах. Таким образом, проведенное исследование включений позволили получить прямую информацию о физико-химических параметрах магматических и гидротермальных систем района станции S2234.

## **Методы исследования**

Составы сульфидов, расплавных включений и минералов-хозяев, содержащих включения, установлены на рентгеновском микроанализаторе «Camebax-micro». Расплавные включения исследовались в высокотемпературной термокамере с инертной средой [Соболев, Слуцкий, 1984]. Эксперименты с включениями при высоких температурах проводились с учетом рекомендаций других специалистов [Магматогенная кристаллизация ..., 1975; Sobolev, Danyashevsky, 1994] и на основе собственного опыта [Симонов, 1993]. Флюидные включения изучались с помощью методов термометрии и криометрии [Ермаков, Долгов, 1979; Roedder, 1984] в среднетемпературной термокамере и в криокамере оригинальных конструкций [Симонов, 1993]. Данные по расплавным включениям обработаны на компьютере и в результате расчетного моделирования по программе PETROLOG [Danyushevsky, 1998] получена дополнительная информация о параметрах базальтовых магматических систем. Аналитические исследования проведены в Объединенном институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН, г. Новосибирск.

## **Петролого-минералогические особенности рассмотренных образцов.**

В материале станций S2231, S2232 гидротермальные образования представлены в основном карбонатными прожилками в ультрабазитах, часто с жеодами, щетками и друзьями мелких кристалликов арагонита. Особый интерес представляют брекчии, состоящие из обломков серпентинитов, скементированных карбонатным материалом, на который нарастают друзья удлиненных кристалликов (с размерами кристаллических фаз до 5 мм) арагонита. В случае станции S2234 воздействие гидротермальных систем выразилось в замещении клинопироксена амфиболами преимущественно актинолитового ряда и в широком развитии сульфидов.

Для установления особенностей рудообразующих процессов в зоне разлома Сьерра-Леоне наиболее детально были изучены образцы долеритовых порфириотов из станции S2234, содержащих вкрапленники достаточно свежего плагиоклаза (размерами до 5 мм) и замещенного актинолитом и хлоритом клинопироксена (до 1 мм). Основная масса обладает преимущественно долеритовой структурой с удлиненными микрокристаллами (до 0,5 мм) плагиоклаза. Для рассмотренных образцов (S2234/22, S2234/37) характерны многочисленные выделения (до 4 мм) сульфидов, заполняющих, в одних случаях, интерстиции между мелкими удлиненными кристалликами плагиоклаза в основной массе порфириита (фото. 1). В других случаях, сульфиды проникают по трещинкам в измененных

вкрапленниках преимущественно пироксена, располагаясь также по границам крупных зерен (фото 3, 4). Таким образом, судя по формам выделения и по особенностям взаимоотношения с силикатами, есть возможность предположить, что сульфиды первой группы формировались на последних этапах магматических процессов, а второй тип является явно наложенным, возникшим в результате воздействия гидротермальных процессов. О разном происхождении рассмотренных сульфидов свидетельствуют и их составы (табл. 1).

Для сульфидов из интерстиций между магматическими силикатными минералами характерно присутствие кубанита (см. №№ 1-3 в табл. 1), который образует структуры распада с халькопиритом (№№ 4-8 в табл. 1). На фото. 2 отчетливо видны пластинчатые выделения светлого халькопирита в ассоциации с более темным кубанитом. Наличие кубанита, который характерен для высокотемпературных, в том числе и для магматических, месторождений [Рамдор, 1962], свидетельствует, во-первых, о достаточно высоких температурах формирования данного типа сульфидов и, во-вторых, о возможном их магматогенном происхождении. В ассоциации с кубанитом встречается не только халькопирит, но и пирротин (№№ 9-12 в табл. 1), являющийся, скорее всего продуктом распада кубанита при более низких температурах [Рамдор, 1962].

Состав сульфидов из трещин в измененных крупных зернах пироксена однообразен. Здесь преобладает пирротин (№№ 13-16 в табл. 1). Развитие изученного пирротина по трещинкам в интенсивно переработанных вкрапленниках в ассоциации с такими вторичными минералами как актинолит и хлорит, свидетельствует об его гидротермальном происхождении.

Таким образом, отмеченные выше особенности сульфидной минерализации позволяют говорить о том, что сульфиды формировались при активном участии не только гидротермальных, но и магматических систем, поэтому с помощью включений минералообразующих сред нами были рассмотрены параметры как растворов, так и расплавов.

### **Характеристика расплавных и флюидных включений с обсуждением результатов исследования**

**Расплавные включения.** В плагиоклазе долеритового порфириита (образец S2234/37) были найдены и исследованы первичные расплавные включения (размерами 5-30 мкм), располагающиеся прямыми зонами-полосами, иногда заполняющие целиком небольшие вкрапленники. Формы включений – ограненные таблички. Во включениях преобладают мелкозернистые светлые и темные фазы. Температуры гомогенизации включений достаточно высокие и варьируют в диапазоне от 1210 до 1255°C. Несмотря на большой разброс значений наблюдается устойчивая прямая корреляция температур гомогенизации и содержания магния в расплавных включениях. Температуры гомогенизации в большинстве своих значений согласуются с рассчитанными по программе PETROLOG ликвидусными температурами, попадая в пределы точности использованного термометра, что может косвенно свидетельствовать о сухости расплавов. Эти данные служат независимыми критериями достоверности полученных нами результатов исследования включений.

Анализ состава включений показал, что при снижении температуры расплавы практически не меняют значения таких характерных геохимических характеристик как FeO/MgO и TiO<sub>2</sub>. Установлен также узкий диапазон железистости (примерно 0,8 – 1) и отсутствие зависимости от этого показателя содержания титана, все эти данные свидетельствуют об отсутствии процессов фракционирования и примитивном характере расплава. В целом, учитывая очень низкие значения калия в составах расплавных включений, магмы, формировавшие габбро-долеритовые комплексы станции S2234 принадлежат к N-типа MORB.

Оценки параметров плавления мантийного субстрата с образованием первичных базальтовых магм [Schilling et al., 1995], проведенные для участка станции драгирования S2234 на основе данных по расплавным включениям, показали, что основные значения глубин соответствуют 40 – 80 км, а температур – около 1310-1470°C. Эти данные согласуются с полученными ранее оценками глубин выплавления первичных расплавов в Срединно-Атлантическом хребте [Симонов и др., 1999; Schilling et al., 1995; Shen, Forsyth, 1995]. Сравнение физико-химических условий кристаллизующихся магм с параметрами первичных расплавов показало, что нет отчетливой зависимости как составов, так и температур магматических систем, из которых образовывались рассмотренные габбро-долеритовые комплексы, от глубин генерации первичных мантийных магм. Единственное, что можно отметить, это некоторое снижение содержания магния в ликвидусных расплавах при увеличении глубины

магмогенерации.

В общем, анализ расплавных включений показал, что магматические комплексы станции S2234 формировались из низкокалиевых примитивных расплавов N-типа MORB, скорее всего не содержащих существенного количества воды. Все это свидетельствует о том, что эндогенные флюидные компоненты из этих расплавов вряд ли могли оказать значительное влияние на состав гидротермальных растворов, преобразовавших данные породы.

**Флюидные включения.** Просмотр образцов, шлифов и полированных пластинок долеритов свидетельствует о том, что значительная часть рудной минерализации в образцах из станции S2234 связана скорее всего с гидротермальными процессами. Таким образом, гидротермальные растворы, преобразовывавшие первичные породы с формированием ассоциаций вторичных минералов, были в определенной мере ответственными за образование сульфидов.

В амфиболах образца S2234/22 были найдены флюидные включения (размерами 5-15 мкм), равномерно располагающиеся в минерале - скорее всего мнимовторичные. Плоские, с некоторой огранкой, включения содержат светлую жидкость и небольшой газовый пузырек. При исследовании в микрокриокамере было установлено, что температуры эвтектики составляют -22,7 - -22,9°C, что свидетельствует о преобладании в растворе солей натрия - в основном NaCl с примесью Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и KCl. Растворение последних кристалликов наблюдалось в интервале -2,5 - -3,2°C, т.е. концентрация солей составляет 3,8 - 5 мас. %. Эксперименты в микротермокамере показали, что полностью гомогенными включения становятся при 174 - 196°C. С учетом поправки на давление (минимум 350 бар), согласно глубине отбора образцов на станции S2234, температуры гидротермальных растворов составляют 205 - 226°C.

В результате проведенных исследований флюидных включений во вторичных минералах из долеритов станции S2234 было выяснено, что в данном районе активно действуют гидротермальные системы с температурами 205 - 226°C, в растворах которых преобладает NaCl с примесью Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и KCl, с общей концентрацией солей 3,8 - 5 мас. %. Незначительные содержания солей (с преобладанием соединений натрия) говорит о том, что источником данных гидротермальных растворов была морская вода. Наличие в составе гидротерм Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> свидетельствует в пользу их активного участия при образовании сульфидной минерализации.

### Основные выводы

1. Исследования показали, что в габбро-долеритах и долеритах, среди сульфидных рудных минералов станции S2234, преобладают кубанит, халькопирит и пирротин. Анализ особенностей выделения и составов сульфидов позволяют говорить о том, что при их формировании участвовали, как гидротермальные, так и магматические процессы.

2. Анализ расплавных включений показал, что магматические комплексы станции S2234 формировались из высокотемпературных (1210 - 1255°C) низкокалиевых расплавов N-типа MORB, не содержащих существенного количества воды. Это свидетельствует о том, что эндогенные флюидные компоненты магматического происхождения вряд ли могли оказать влияние на состав растворов, преобразовавших данные породы и игравших существенную роль в гидротермальных рудообразующих процессах.

3. В результате исследования флюидных включений было выяснено, что в габбро и долериты, поднятые в районе станции S2234 находились в области влияния активно действующей гидротермальной системы с температурами 205 - 226°C, в растворах которых преобладает NaCl с общей концентрацией солей 3,8 - 5 мас. %. Незначительные содержания солей (с преобладанием соединений натрия) свидетельствует о том, что источником данных гидротермальных растворов была морская вода, а наличие в составе гидротерм Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> говорит об их активном участии при образовании сульфидов.

4. В целом, проведенные исследования позволили выяснить, что изученные сульфиды станции S2234 имеют как гидротермальное, так и магматическое происхождение и формировались, скорее всего, не на поверхности дна океана, а на уровне субинтрузивных габбро-долеритовых комплексов. При этом в рудообразующих процессах принимали активное участие «сухие», с минимумом воды, расплавы N-типа MORB и низкосолевые гидротермальные растворы, имеющие в своей основе морскую воду.

5. Проведенное исследование показало, что теоретические предположения о связи положения

гидротермальных систем с областями пониженной сейсмичности [Мазарович, Соколов, 1998] не противоречит результатам геологического опробования в районе разлома Сьерра-Леоне и может быть принято за основу планирования морских экспедиций по обсуждаемой тематике. Анализ детальной батиметрической карты с сечением рельефа 10 м (рис. 3) показывает, что в районе станции S2234, между двумя ветвями рифта располагается поверхность дна с большим количеством холмов с высотой 20 – 30 м и гор (до 200 м) округлой формы, которые могут быть интерпретированы как вулканическое постройки центрального типа. Рельеф подобного типа весьма характерен для районов, где обнаружены черные курильщики [Богданов, 1997]. Можно предполагать, что именно этот район представляет первоочередной интерес для проведения детального поиска новых рудообразующих гидротермальных систем.

Работа выполнена в рамках подпрограммы «Исследование природы Мирового океана» ФЦП «Мировой океан», реализуемой Минпромнауки России и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 99-05-64632 и № 00-05-64235).

## Литература

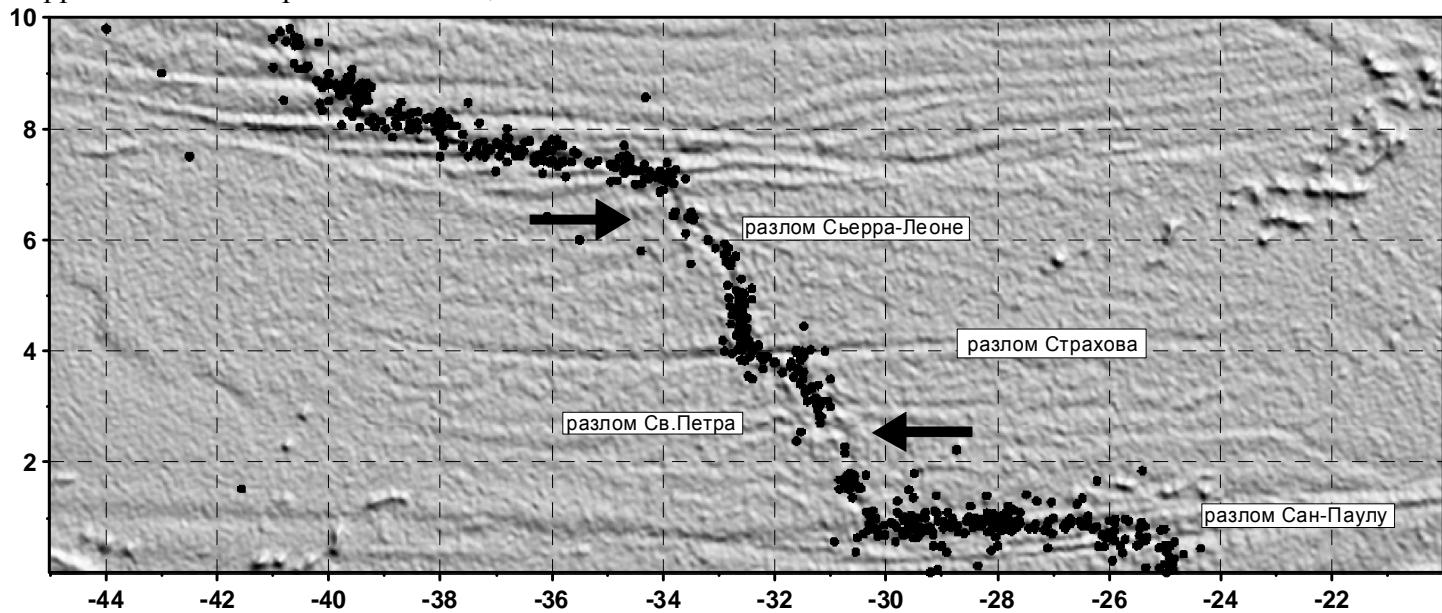
- Богданов Ю.А. Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный Мир. 1997. 167 с.
- Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. М.: Недра. 1979. 271 с.
- Магматогенная кристаллизация по данным изучения включений расплавов. / Под ред. Соболева В.С., Костюка В.П. Новосибирск: Наука. 1975. 232 с.
- Мазарович А.О., Соколов С.Ю. Тектоническое положение гидротермальных полей на Срединно-Атлантическом хребте. // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 4. С. 436–439
- Рамдор П. Рудные минералы и их срастания. М.: Иностр. лит. 1962. 1132 с.
- Симонов В.А. Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). // Новосибирск: ОИГГМ СО РАН. 1993. 247 с.
- Симонов В.А., Колобов В.Ю., Пейве А.А. Петрология и геохимия геодинамических процессов в Центральной Атлантике. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ. 1999. 224 с.
- Соболев А.В., Слуцкий А.Б. Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм. // Геология и геофизика. 1984. № 12. С. 97-110.
- Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта. Приложение к монографии "Экваториальный сегмент Срединно-Атлантического хребта". МОК ЮНЕСКО, ГЕОХИ РАН: АТКАР ПКО "Картография". 1997. 33 с.
- CNSS Earthquake Composite Catalog. June 1997 (<http://quake.geo.berkeley.edu/cnss/>)
- Danyushevsky L.V. The effect of small amount of H<sub>2</sub>O on fractionation of mid-ocean ridge magmas. // Abstr. AGU Spring Meeting. EOS 79. 1998. №. 17/suppl. P. 375.
- Peyve A., Bonatti E., Brunelli D., Chilikov A., Cipriani A., dobrolubova K., Efimov V., Erofeev S., Ferrante V., Gasperini L., Hekinian R., Ligi M., Maurizio G., Mazarovich A., Perfiliev A., Raznitsin Y., Savelieva G., Sichler B., Simonov V., Skolotnev S., Sokolov S., Turko N. New data on some major MAR structures: preliminary results of R/V Akademik Nikolaj Strakhov 22 cruise. // InterRidge News. V. 9. № 2. 2000. P. 28.
- Roedder E. Fluid inclusions. Mineral. Soc. Amer. 1984. 644 p.
- Sandwell D.T., Smith W.H.F. Marine Gravity Anomaly from Geosat and ERS-1 Satellite Altimetry. // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. № B5. P. 10039-10054. (<ftp://topex.ucsd.edu/pub/>)
- Schilling J.-G., Ruppel C., Davis A.N., McCully B., Tighe S.A., Kingsley R.H., Lin J. Thermal structure of the mantle beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge: Influences from the spatial variation of dredged basalt glass compositions. // J. Geophys. Res. 1995. V. 100, № B7. P. 10057-10076.
- Shen Y., Forsyth D.W. Geochemical constraints on initial and final depths of melting beneath mid-ocean ridges. // J. Geophys. Res., 1995. V. 100. № B2. P. 2211-2237.
- Sobolev A.V., Danyushevsky L.V. Petrology and Geochemistry of Boninites from the North Termination of the Tonga Trench: Constraints on the Generation Conditions of Primary High-Ca Boninite Magmas. // J. Petrol. 1994. V. 35. P. 1183-1211.

**Таблица 1**

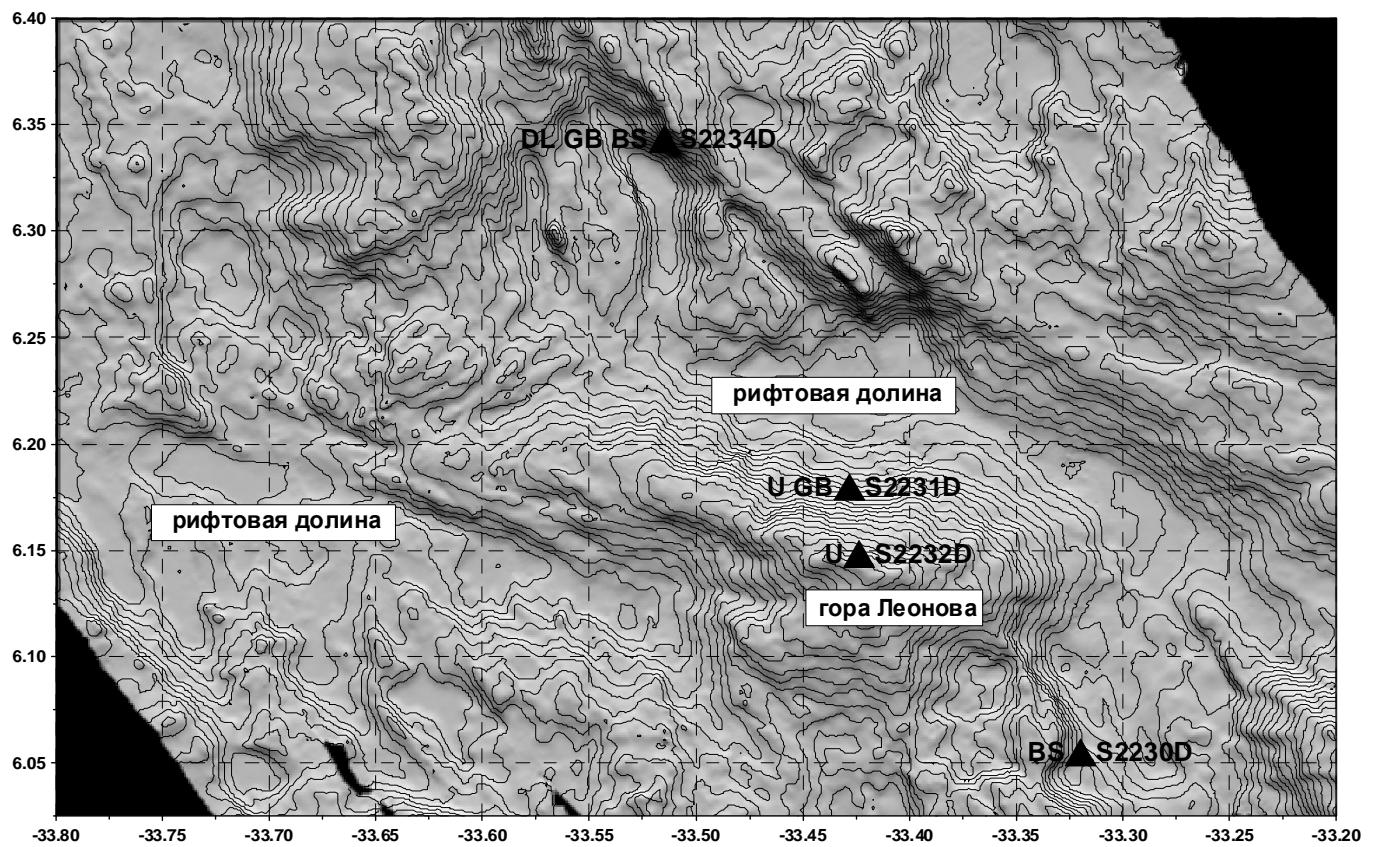
Составы сульфидов из зоны разлома Сьерра-Леоне (Центральная Атлантика) (мас. %).

№ п/п	Образец, препарат	Fe	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	S	Сумма
1	34/22-11	40,68	23,64	0,25	0,01	0,05	0,00	34,68	99,31
2	34/22-12	40,73	23,19	0,22	0,00	0,04	0,00	34,22	98,40
3	34/22-14	40,61	23,25	0,32	0,00	0,06	0,34	34,93	99,50
4	34/22-9	30,39	33,97	0,16	0,00	0,05	0,00	34,05	98,62
5	34/22-10	35,40	28,37	0,31	0,21	0,22	0,00	33,94	98,45
6	34/22-1	30,53	33,87	0,12	0,01	0,05	0,00	34,21	98,80
7	34/22-2	30,36	34,04	0,23	0,02	0,06	0,08	34,50	99,28
8	34/22-5	30,61	33,77	0,40	0,02	0,06	0,00	34,42	99,27
9	34/22-6	60,81	0,01	0,00	0,14	0,13	0,00	38,26	99,36
10	34/22-7	61,03	0,08	0,02	0,09	0,12	0,00	38,51	99,85
11	34/22-8	60,58	0,02	0,02	0,01	0,16	0,00	38,62	99,42
12	34/22-13	59,83	0,18	0,13	0,01	0,11	0,00	39,12	99,39
13	34/37-23	59,64	0,55	0,64	0,24	0,16	0,19	38,64	100,05
14	34/37-24	59,92	0,62	0,70	0,26	0,17	0,12	38,41	100,20
15	34/37-25	60,19	0,59	0,69	0,26	0,16	0,11	38,04	100,05
16	34/37-26	60,42	0,61	0,73	0,26	0,15	0,12	38,66	100,95

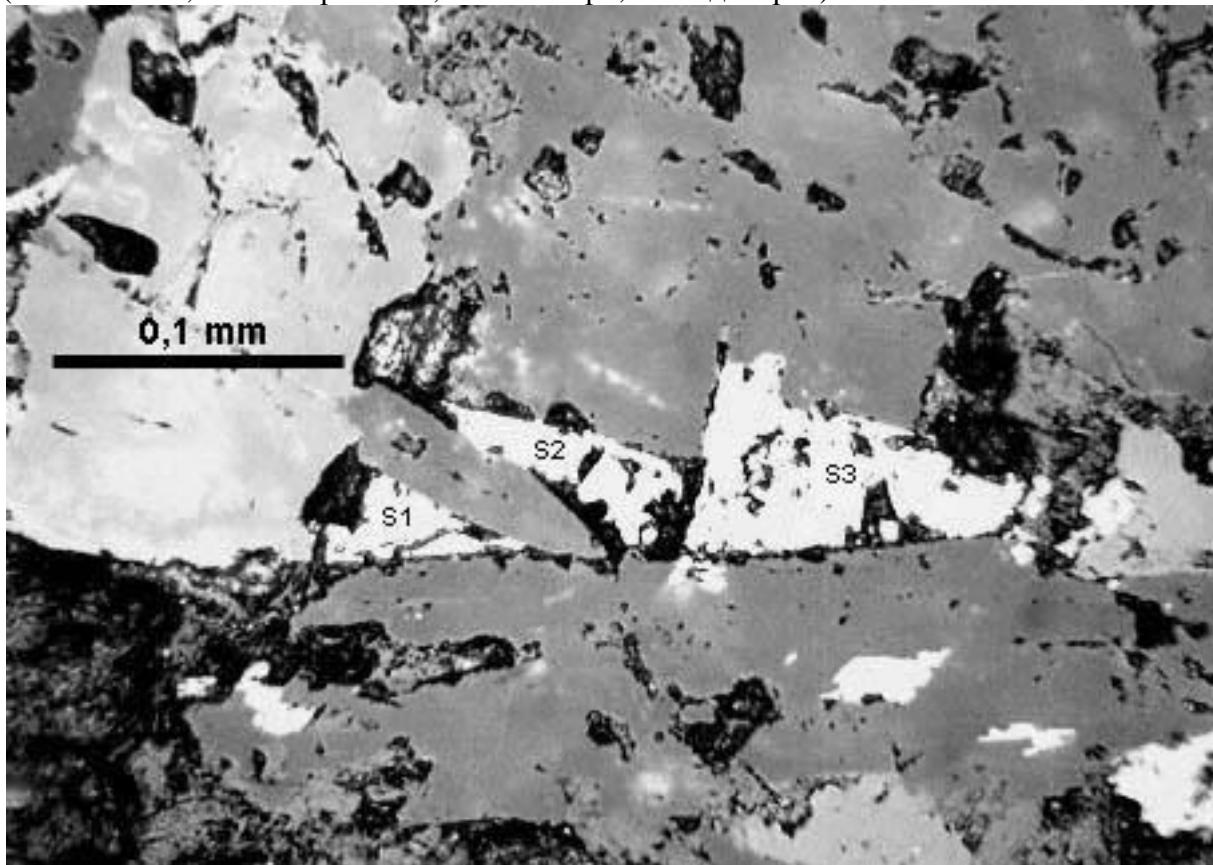
Примечание: 1-3 – кубанит; 4-8 – халькопирит (5 – смесь: кубанит + халькопирит); 9-16 – пирротин. 1-12 – образец S2234/22, 13-16 – S2234/37.



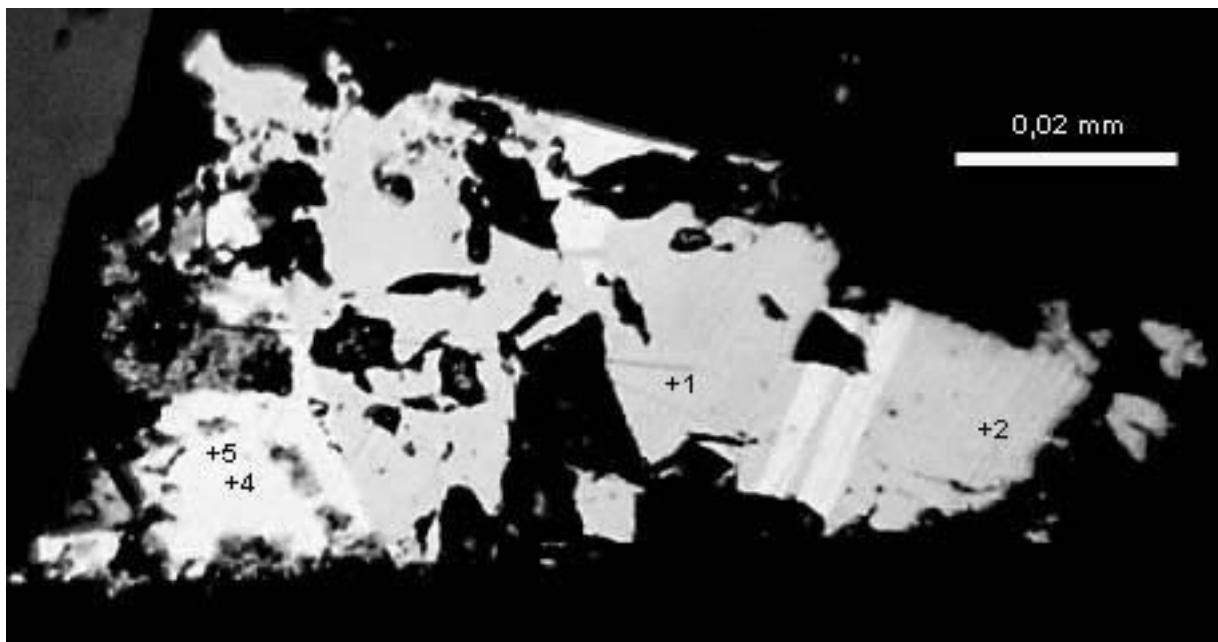
**Рис. 1.** Распределение эпицентров землетрясений [CNSS..., 1997] в приэкваториальной части Атлантического океана. Картографическая основа – спутниковая альтиметрия [Sandwell, Smith, 1997]. Стрелками показаны районы с пониженным фоном сейсмичности. Здесь и далее широта и долгота показаны в градусах и десятичных долях.



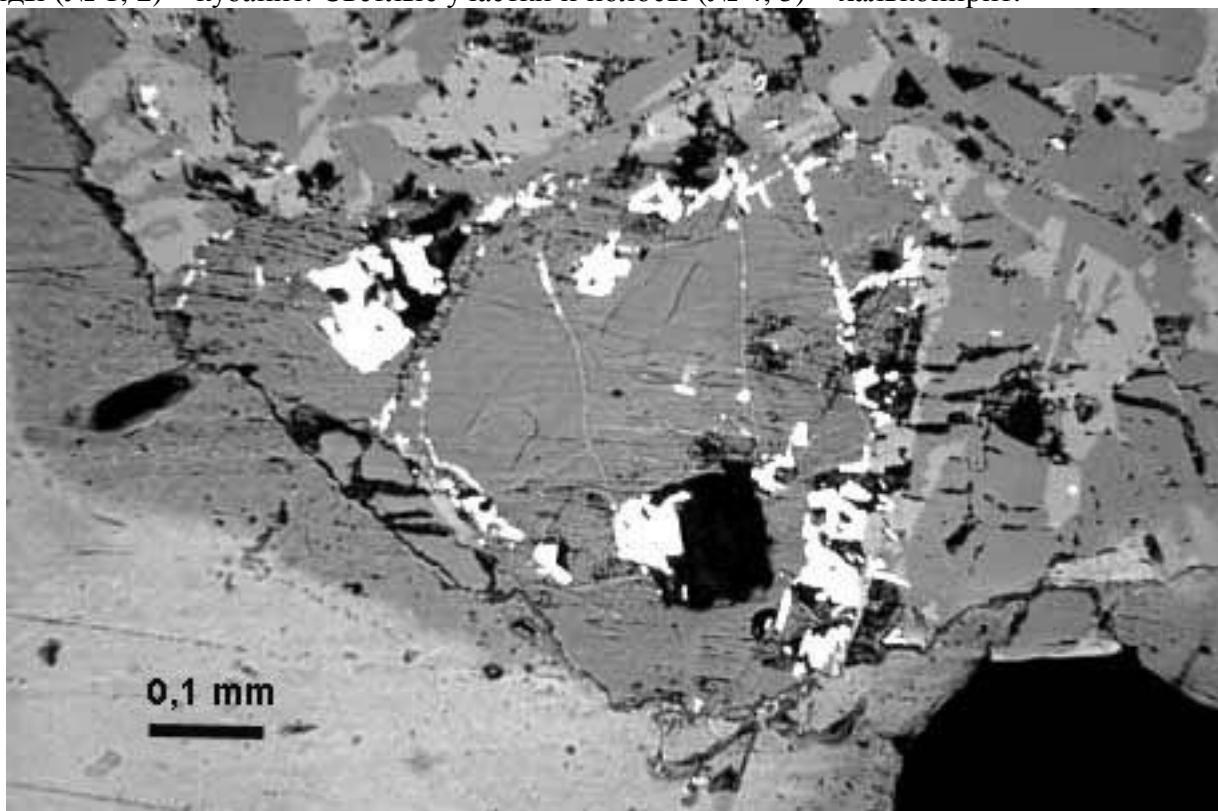
**Рис. 2.** Рельеф района пересечения рифтовой долины и разлома Сьерра-Леоне (сечение рельефа – 100 м). Треугольники – положение станций драгирования: Слева – номера станций, справа – типы пород (BS – базальт, U – гипербазиты, GB – габбро, DL – долерит)

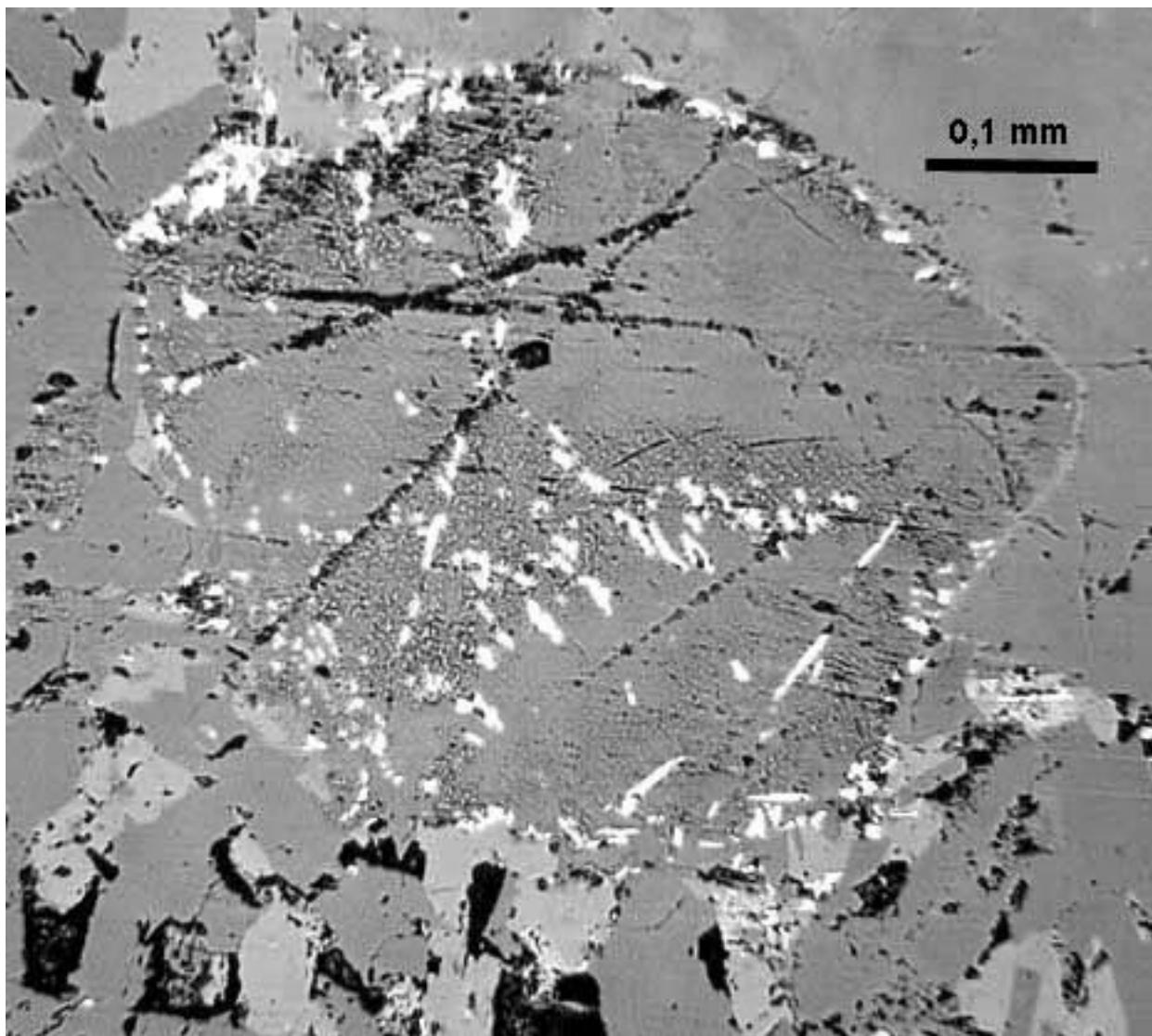


**Фото 1.** Расположение сульфидов в интерстициях между кристаллами силикатов. S1-S3 – различные зерна сульфидов. Образец S2234/22.



**Фото 2.** Структуры распада в сульфидах. Изображение зерна S3 в образце S2234/22 (см. фото 1) при большем увеличении. Указаны точки и порядковые номера анализов (см. табл. 1). Более темные сульфиды (№ 1, 2) – кубанит. Светлые участки и полосы (№ 4, 5) – халькопирит.





**Фото 3, 4.** Расположение сульфидов (светлое) по трещинкам и по краям мелких измененных вкрапленников клинопироксенов.

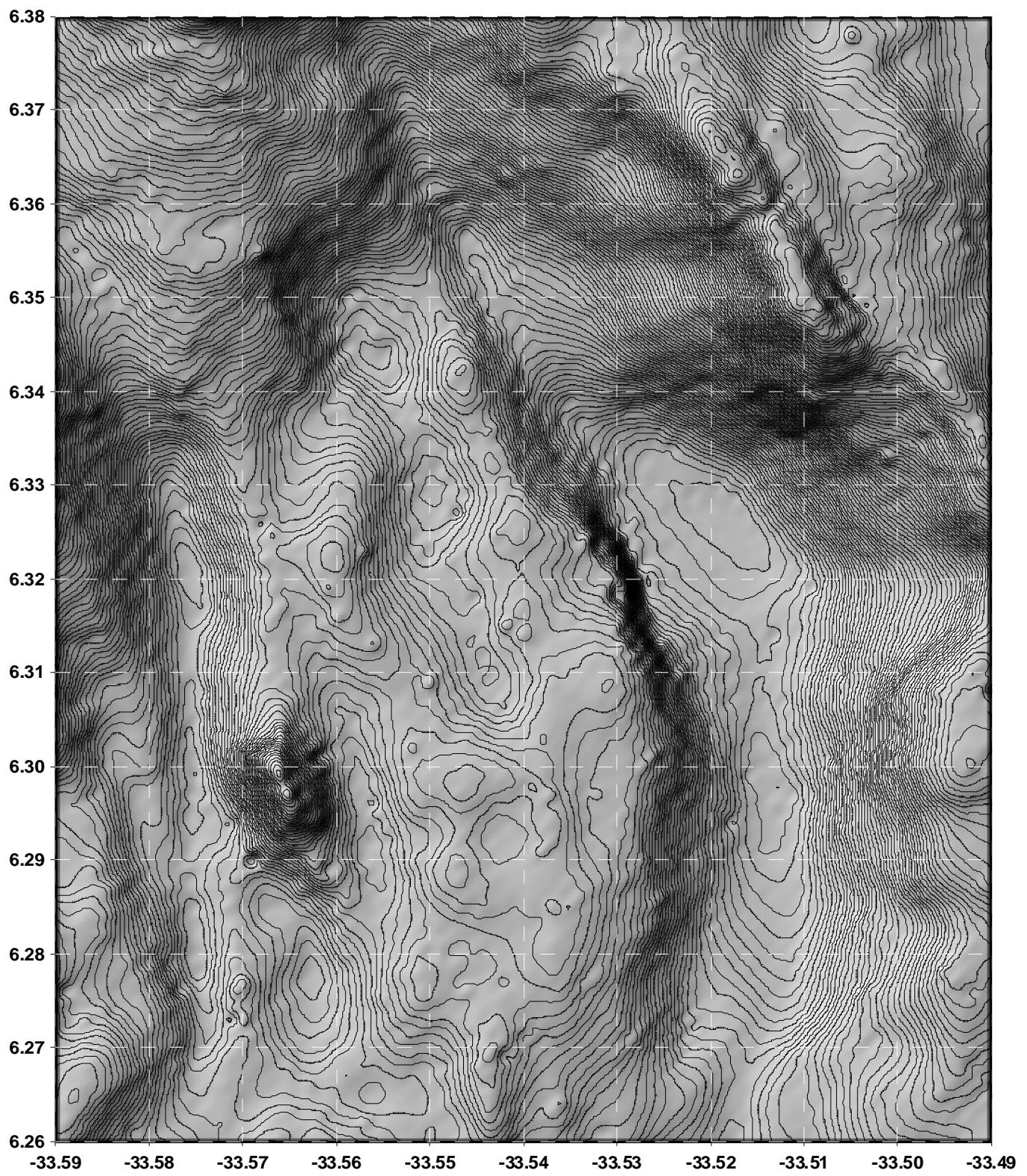


Рис. 3. Рельеф района пересечения рифтовой долины и разлома Сьерра-Леоне (сечение рельефа – 10 м).