

УДК 551.24: 550.348.436

© 1997 г. ЛЕОНОВ В.Л.

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ РАЗРЫВЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ
И ИЗВЕРЖЕНИЯМИ, ПРОИЗОШЕДШИМИ В КАРЫМСКОМ
ВУЛКАНИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ 1-2 ЯНВАРЯ 1996 г.**

Приведены первые результаты изучения поверхностных разрывов, сформировавшихся во время землетрясений ($M = 6,9$) и извержений, произошедших в Карымском вулканическом центре 1-2 января 1996 г. Рассмотрены распространение разрывов, особенности их строения, характер подвижек, структурная позиция.

SURFACE BREAKAGE ASSOCIATED WITH THE EARTHQUAKE AND ERUPTIONS TAKING PLACE IN THE KARYMSKY VOLCANIC CENTER DURING JANUARY 1-2, 1996, by Leonov V.L. First results are presented from a study of the surface breakage caused by the $M = 6.9$ earthquake and eruptions that took place in the Karymsky volcanic center on January 1-2, 1996. Rupture propagation and structure, the character, of displacements, and the structural setting are discussed.

(Received December 26, 1996)

Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Карымское землетрясение 1 января 1996 г. произошло на небольшой глубине и имело магнитуду 6,9. Это было самое сильное землетрясение, зарегистрированное под вулканами Камчатки за почти 50 лет сейсмологических наблюдений [5]. Эпицентр, по данным Камчатской ОМСП Геофизической службы РАН, находился в ~ 17 км к югу от Карымского вулкана (рис. 1 и 2). Вслед за землетрясением начались вулканические извержения, причем шли они сразу из нескольких мест, расположенных вдоль меридиональной линии: начал извергаться вулкан Карымский, один из наиболее активных вулканов Камчатки, а также несколько эруптивных центров в Карымском озере, где до этого исторических извержений не зафиксировано.

Исследование поверхностных проявлений Карымского землетрясения проводилось в период с 29 июля по 12 августа 1996 г. В ходе работ в первую очередь обследованы районы, расположенные к югу от Карымского озера (бассейн ручья Карымский и верховья реки Половинка), поскольку инструментально определенный эпицентр Карымского землетрясения был расположен вблизи этих мест. Тем не менее в указанных районах никаких следов крупного землетрясения обнаружить не удалось. Лишь в верховьях ручья Карымский встречено несколько небольших (длиной до 50 м) трещин, описание которых приведено далее. Обследование территории показало, что наиболее ярко сейсмодислокации, связанные с Карымским землетрясением, проявились в районе истока р. Карымская, где выявлено несколько крупных разрывов. Последние расщелили коренные отложения (туфовую толщу), и, несомненно, имеют тектоническую природу. На рис. 2 этот район отмечен большим прямоугольником, и он же более подробно показан на рис. 3. При составлении рис. 3 использована топооснова масштаба 1 : 10 000, изготовленная НИИГАиК в 1975 г. Новая территория (заштрихована) нанесена по данным дешифрирования аэрофотоснимков, сделанных 13 августа 1996 г. сотрудником лаборатории геодезии Института вулканологии ДВО РАН О.Г. Коркиным.

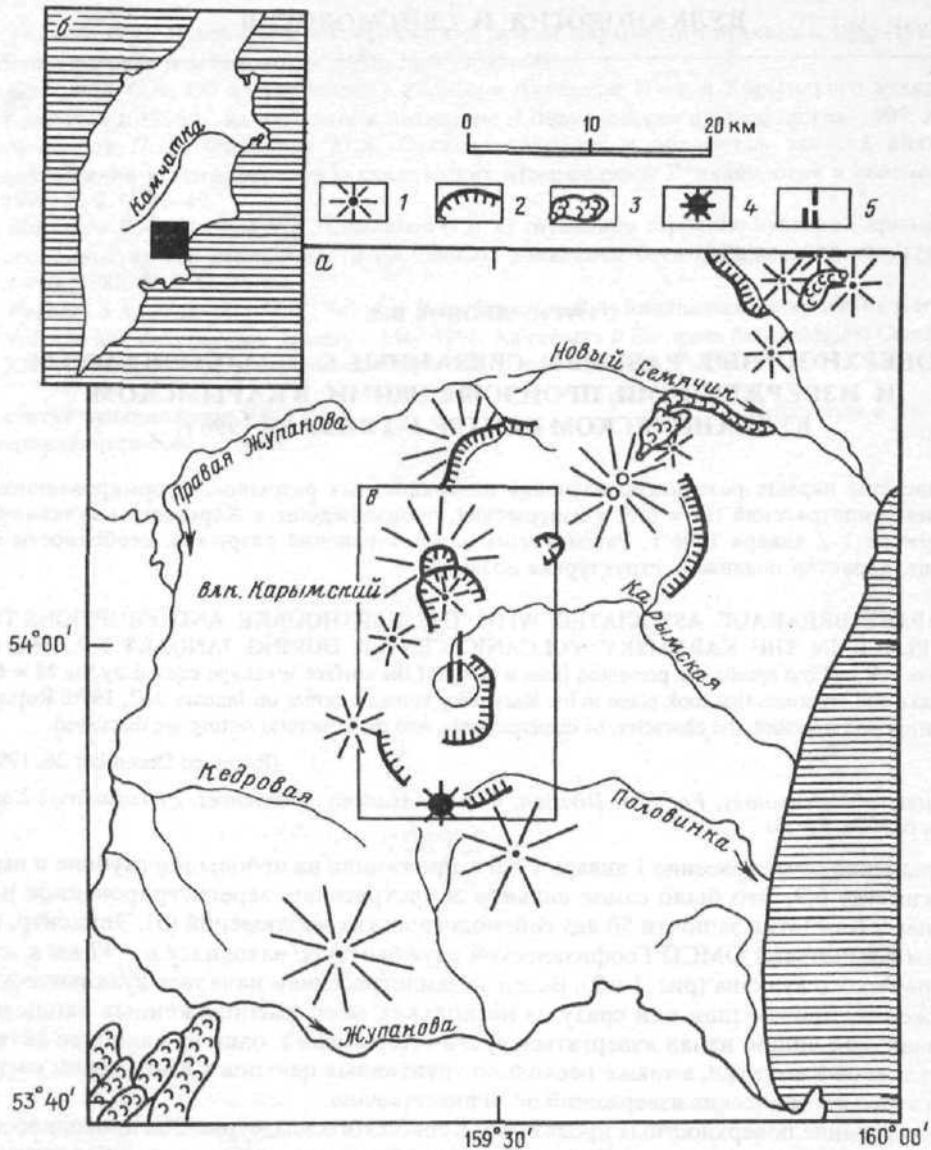


Рис. 1. Обзорная схема (а, б) района, где произошло землетрясение 1 января 1996 г.; / - вулканы; 2 - кальдеры; 3 - крупные лавовые потоки голоценового возраста; 4 - эпицентр основного толчка Карымского землетрясения 1 января 1996 г.; 5 - зона наиболее крупных разрывов, сформировавшихся при землетрясении; в - см. рис. 2

Перед описанием разрывов необходимо отметить основные морфологические типы встреченных дислокаций. Это следующие три типа (характерные и для многих других районов, где происходили сильные современные землетрясения [4]: трещины-валы (трещины сжатия), открытые трещины (трещины растяжения) и закрытые трещины (трещины скола).

Трещины сжатия проявлялись на поверхности в виде узких вздутых земляных валиков. Местами было видно, что земля выдавливалась из трещин, как паста из тубика - в таких случаях образовывались узкие хребтики шириной 3-5 и высотой до 20 см. На участках, где трещины были вскрыты поперечными траншеями, обнаружи-

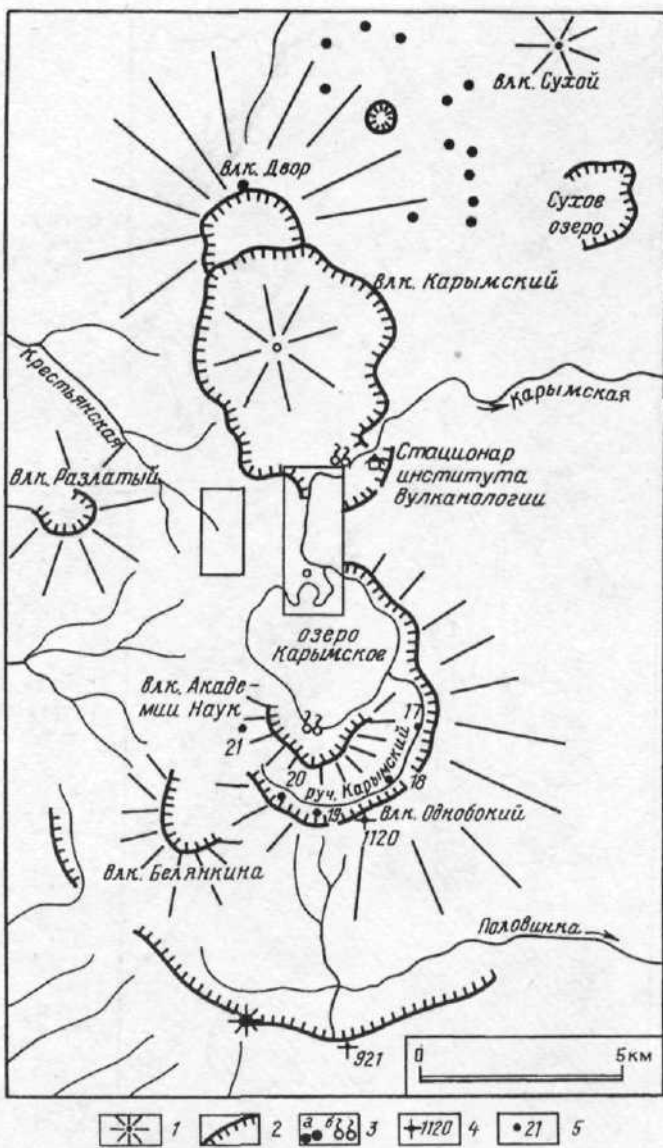


Рис. 2. Район, в котором проведено обследование поверхностных проявлений Карымского землетрясения: 1 - вулканы; 2 - кальдеры и маары; 3 - небольшие вулканические постройки монотипного типа (а), термальные источники (б); 4 - абсолютные высоты, м; 5 - точка наблюдения и ее номер. Прямоугольниками отмечены участки, на которых встречены наиболее крупные разрывы (см. рис. 3 и 14)

валось, что они плотно сжаты, местами противоположные борта даже вдавлены друг в друга.

Трещины растяжения в противоположность трещинам сжатия имели резко выраженные края, которые разошлись в разные стороны, открыв зияющую шель шириной от нескольких сантиметров до 2-2,5 м. Видимая глубина трещин в отдельных местах достигала 7-8 м. Во многих местах трещины разорвали дерн, и он вместе с обломками пород и кустами обрушился и заполнил верхнюю часть трещин.

Трещины скола не имеют ни вздутых валиков выжимания, ни зияющих провалов. Они образуют четкую трещину, по которой крылья сместились друг относительно

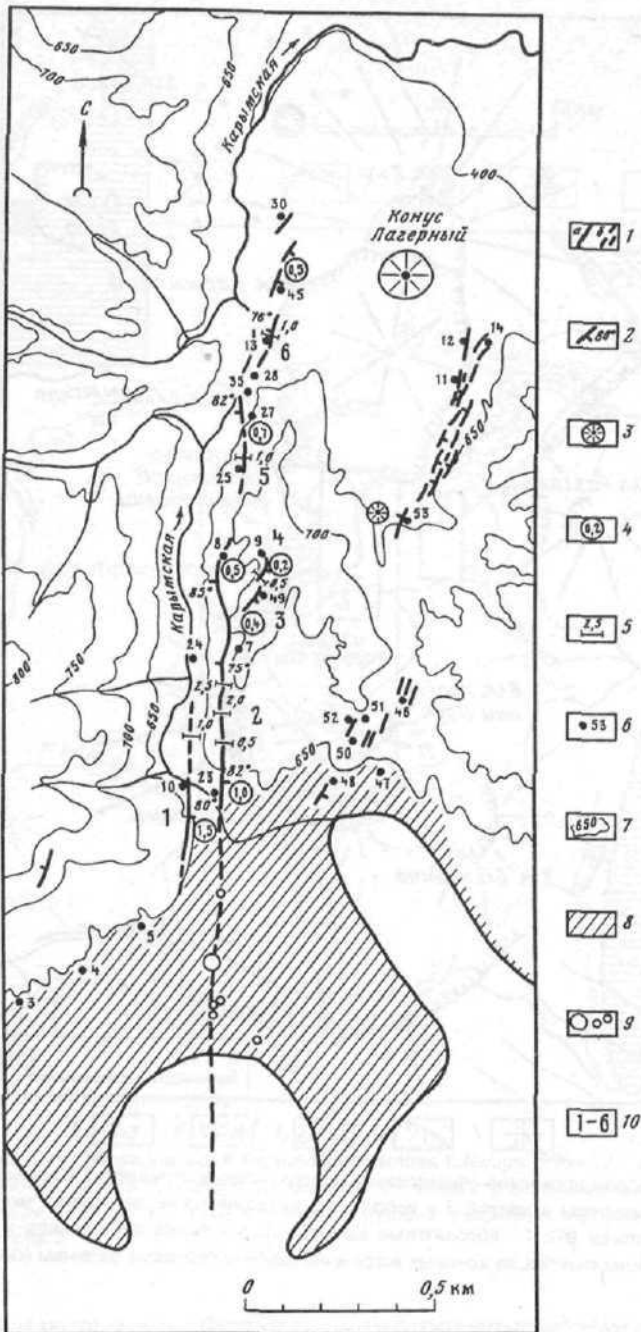


Рис. 3. Участок, где выявлены наиболее крупные поверхностные разрывы, возникшие при Карымском землетрясении 1 января 1996 г.; 1 - разрывы (о - установленные, б - предполагаемые); 2 - направление падения и угол падения плоскости сместителя, град; 3 - шлаковые, лавовые конусы, некки; 4 - амплитуда вертикальной подвижки, м; кружок указывает опущенное крыло разрыва; 5 - амплитуда раскрытия зияющих трещин, м; б - точка наблюдения и ее номер; 7 - изолинии рельефа, м; 8 - территория, покрытая пирокластическим материалом, выброшенным при извержении 2-3 января 1996 г.; 9 - взрывные воронки, возникшие во время извержения 2-3 января 1996 г.; 10 - номера наиболее крупных разрывов, возникших при Карымском землетрясении 1 января 1996 г.

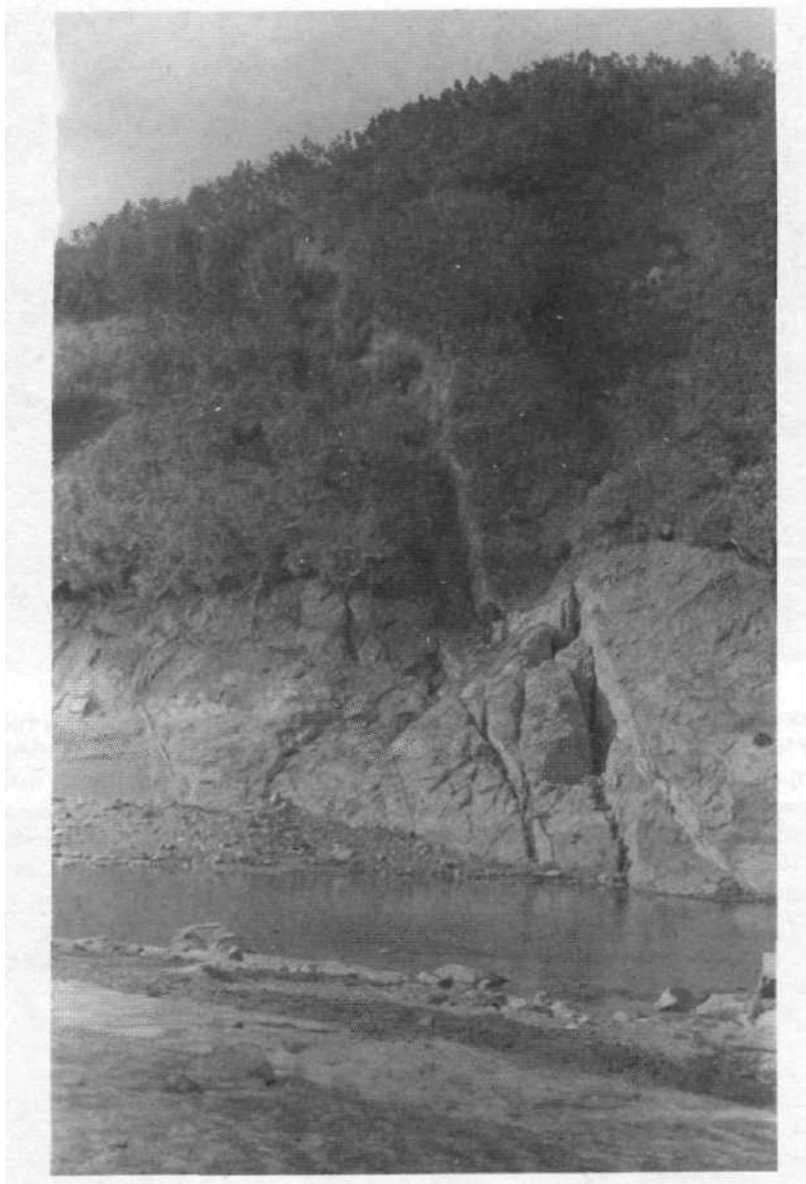


Рис. 4. Разрыв 1, вид с севера. На переднем плане р. Карымская. Здесь и далее снимки В.Л. Леонова

друга, оставшись плотно прижатыми. В рассматриваемом районе такие трещины наблюдались лишь в нескольких случаях. Они имели вид небольших уступов с ровными краями высотой от 2-3 до 20-30 см.

Описание разрывов. На рис. 3 показан участок, где были выявлены наиболее крупные разрывы, возникшие при Карымском землетрясении. Некоторые из них пронумерованы.

Разрыв 1 наиболее ярко проявлен на левом борту р. Карымская в 400 м от ее истока (рис. 4) и является сбросом с опущенным восточным крылом. Амплитуда вертикального перемещения достигает 1,5 м. Плоскость сместителя падает к востоку под углом 80° . Опущенное крыло рассечено множеством трещин, параллельных главному

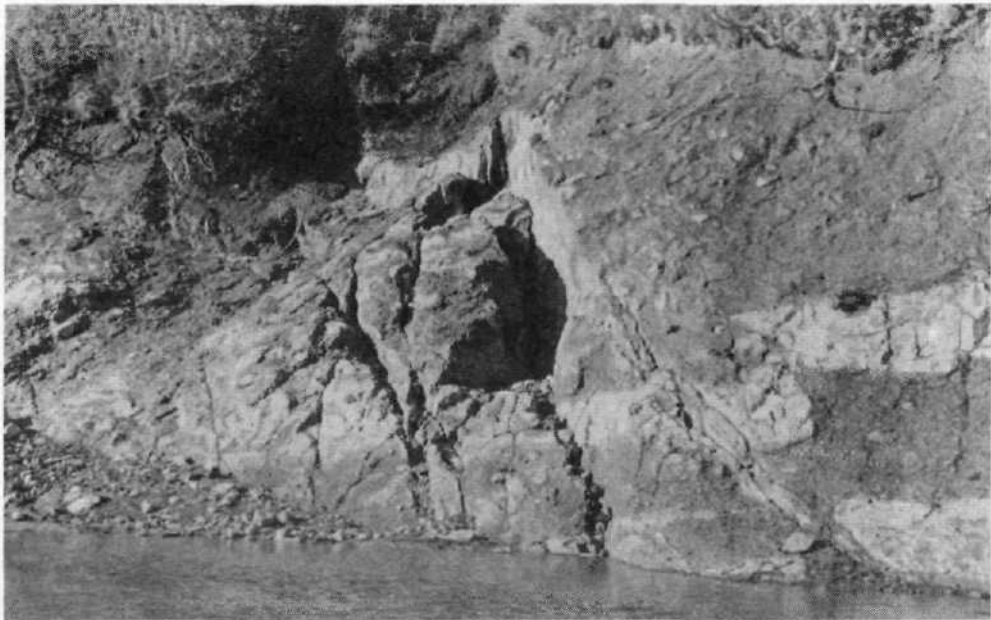


Рис. 5. Деталь разрыва 1, вблизи уреза реки. Пояснения см. в тексте

нарушению. На некоторых участках в приразломной зоне породы разбиты трещинами на блоки и часть блоков опущена, образуя небольшой приразломный грабен (рис. 5). Новый разрыв частично прошел по зоне старой, залеченной трещины, имеющей в настоящее время вид нептунической дайки мощностью 40 см и простираение 0° , но вблизи реки на последних 5 м у уреза отклонился от нее к востоку и образовал с ней угол $\sim 10^\circ$. Новая трещина, расположенная в 10 м к востоку от основного нарушения, также прошла вдоль старой, залеченной трещины. Эта трещина имеет $A_{з,пр} 10^\circ$, плоскость сместителя наклонена к западу под углом 74° , старое раскрытие, залеченное песчанистым материалом, составляло 10 см, новое зияющее раскрытие - 2 см.

Основной разрыв уверенно трассируется через реку, где под водой виден прямолинейный поперечный уступ с поднятым западным крылом. Далее на правом берегу реки разрыв частично перекрыт валуником, который отложила река уже после прорыва озера (в мае - июне). На двух участках разлом обнаруживается на заросшем ольховым стланником правом склоне реки в виде разорвавшего дерн рва шириной до 1 м. Далее к северу разрыв выходит к реке и в ее русле не прослеживается.

К югу от реки уступ разрыва прослежен на расстоянии - 200 м - он виден на плато, покрытом сорванным при землетрясении дерном, перемешанным с кустами стланника, но далее, за плато, его обнаружить не удалось. Таким образом, общая длина этого разрыва - 400 м.

Разрыв 2 прослежен по правому борту р. Карымская. Он начинается в 300 м от ее источника (рис. 6). Как и разрыв 1, на данном участке он является сбросом с опущенным восточным крылом. Амплитуда вертикального перемещения 1 м. Плоскость сместителя в южной части разрыва наклонена к востоку под углом 82° . Разрыв протягивается к северу на расстояние ~ 700 м. На всем протяжении он представляет собой ров, зияющую трещину, которая разорвала как дерн, так и коренные породы. В трещину сверху попадали куски дерна, почвы, кусты ольхового стланника. Раскрытие трещины меняется от 50 см до 2-2,5 м, глубина достигает 7-8 м. Установлено, что в северной части разрыва (точки наблюдения (т.н.) 7 и 8) плоскость сместителя наклонена к западу под углом $75-80^\circ$. При этом, как и в южной части, остается



Рис. 6. Разрыв 2, вид с юга. Вдали - вулкан Карымский. На переднем плане - пирокластический материал, выброшенный при извержении 2-3 января 1996 г. и перекрывающий разрыв, который далее на юг не прослеживается



Рис. 7. Разрыв 4 в точке наблюдения 9 (см. рис. 3). Вид с юга

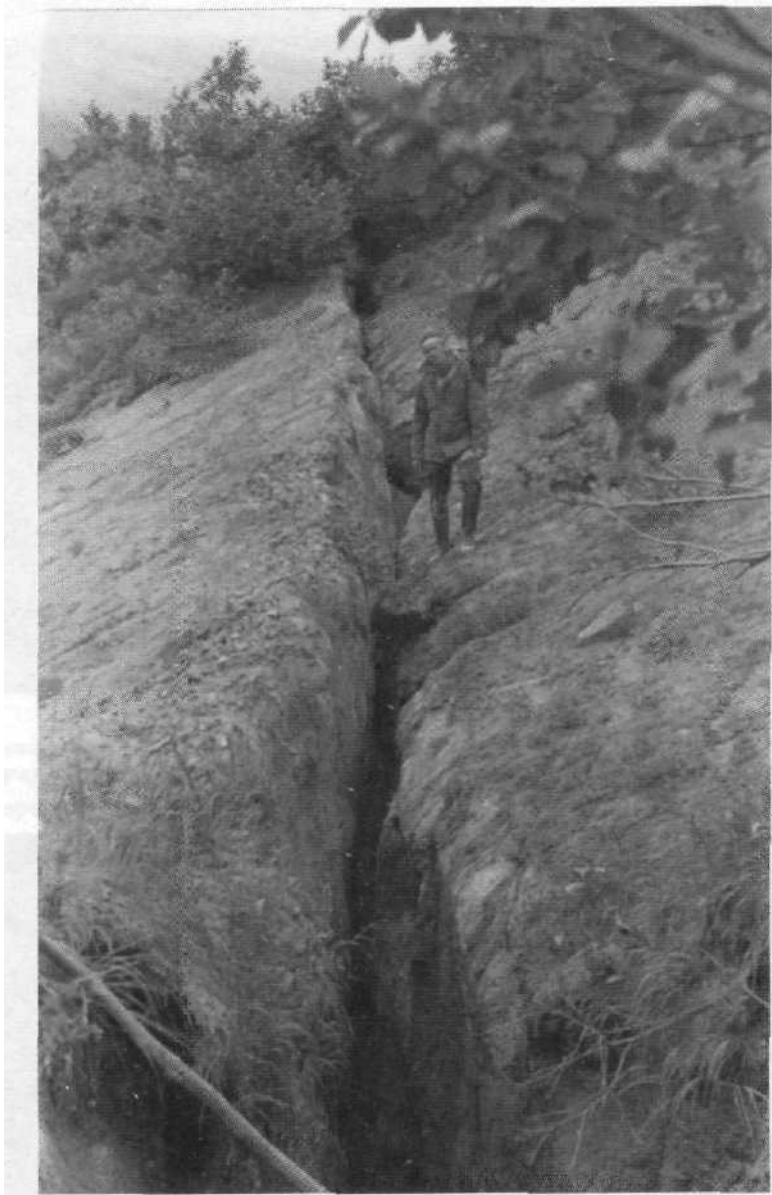


Рис. 8. Разрыв 5 в точке наблюдения 25 (см. рис. 3). Вид с юга

поднятым западное крыло разрыва. Амплитуда поднятия в т.н. 8 составляет 50 см. Севернее т.н. 8 разрыв представлен серией тонких трещин, имеющих вид изогнутых к востоку хребтиков выдавливания.

Разрывы 3 и 4 обнаружены восточнее разрыва 2, вблизи его северного окончания. Оба разрыва изогнуты дугой, выпуклой к юго-востоку. Простираение их меняется: у разрыва 3 от 70° в южной части до $50-40^\circ$ в северной; у разрыва 4 от $40-45^\circ$ в южной части до $25-30^\circ$ в северной. Протяженность разрывов несколько десятков метров. У обоих разрывов поднято северо-западное крыло. Амплитуда поднятия 30-40 см, к северо-востоку она уменьшается, и разрывы постепенно выклиниваются (рис. 7). В южной части разрывы представляют собой зияющие трещины с раскрытием 50-60 см, над ними произошли провалы дерна.



Рис. 9. Район верхнего водопада на р. Карымской (т.н. 35 на рис. 3). Вид с севера. На скальных обрывах правого борта реки видны зияющие трещины, имеющие $Az_{np} = 0^\circ$, падение плоскости сместителя к западу $75-82^\circ$

Разрыв 5 находится к северу от разрыва 2, прямо на его простирании. Однако между ним и разрывом 2 на расстоянии ~ 200 м трещины не обнаружены. В южной части разрыв представлен двумя трещинами, имеющими $Az_{np} = 10$ и 14° . Обе трещины - зияющие, с раскрытием 8 и 35 см. Трещины расположены в 1,2 м друг от друга. Далее к северу прослеживается одна трещина, вертикальная с $Az_{np} = 0^\circ$ (рис. 8). Раскрытие трещины меняется от 20 до 1 м, ее глубина 8 м. Западное крыло трещины поднято, восточное - опущено. Амплитуда вертикального перемещения 70-80 см. Севернее, через ~ 150 м, разрыв представляет собой ров в дерне шириной 1-1,5 м и такой же глубиной (т.н. 27), а еще через 50 м прослеживается в виде серии открытых трещин в коренных породах (т.н. 35). В этой северной части он имеет простирание 0° , а плоскость сместителя его наклонена к западу под углом от 75 до 82° . Трещины выходят далее на север к реке и отчетливо видны в обрывах правого ее борта (рис. 9). Здесь же у северного окончания разрыва (т.н. 35 и 28) обнаружены небольшие трещины с $Az_{np} = 45^\circ$. В т.н. 35 - зияющая трещина, прослеживающаяся как в грунте, так и в коренных породах, с раскрытием 10 см. В т.н. 28 - мелкие трещины с раскрытием 1-2 см.

Разрыв 6 вскрыт далее на север от разрыва 5, на правом борту р. Карымская; пересекает долину ручья, правого притока р. Карымская, где имеет вид поперечного рва, провала шириной 1-1,2 и глубиной 2 м. Простирание разрыва в этой части 25° СВ. Поднято северо-западное крыло, амплитуда вертикального перемещения 30 см. Плоскость сместителя наклонена к западу под углом 76° . Разрыв прослеживается далее в северо-северо-восточном направлении, где на плато среди кустов обнаруживается множество (есть с поднятым западным бортом) провалов дерна (местами шириной до 50 см). В 200 м на ССВ от т.н. 13 встречена трещина с $Az_{np} = 45^\circ$; еще далее, в т.н. 30 - трещина в виде хребтика выдавливания с $Az_{np} = 40...45^\circ$.

Зона разрывов в районе т.н. 46-52. В этом районе, расположенном в 300 м к ССВ от истока реки Карымская, обнаружено около десятка трещин, имеющих преимущественно ССВ-простирание. Почти все трещины имеют вид хребтиков выдав-



Рис. 10. Хребтики выдавливания над трещинами и т.н. 50 (см. рис. 3)

ливания. Так, в т.н. 46 выявлено три трещины, расположенные в 15-20 м одна от другой. Две трещины имеют простирание 10° , а одна - 20° . Трещины совершенно прямолинейны, прослеживаются на протяжении 30-40 м и далее теряются на склонах, заросших травой и кустарником. Все трещины трассируются в виде хребтиков разрыхленных и выдавленных пород. Высота хребтиков местами достигает 10-15 см. Вдоль одной из трещин опущено на 3-4 см восточное крыло. В т.н. 47 выявлена одна трещина с простиранием 10° . Трещина открыта, с зиянием 2-3 см. В т.н. 48 встречена трещина с $Az_{np} = 45^\circ$, длиной 30 м, прямолинейная. Трещина открыта с зиянием до 5-10 см. Юго-восточное крыло опущено на 10-20 см.

В т.н. 50 выявлено четыре трещины: одна с простиранием 45° , две - 15° и две - 10° . Все трещины имеют вид хребтиков выдавливания (рис. 10). В т.н. 51,нахо-

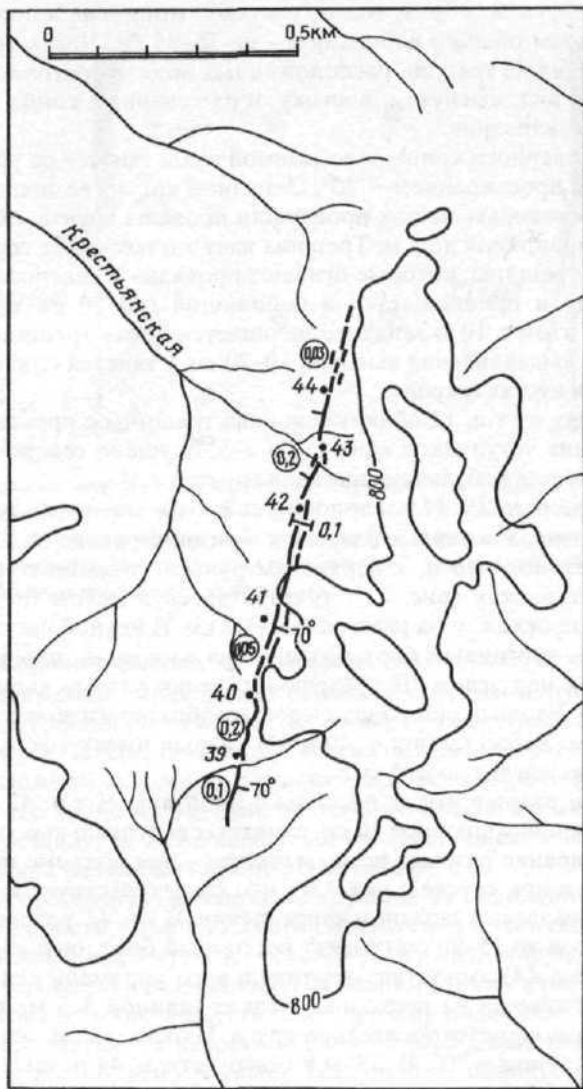


Рис. 11. Схема расположения и основные характеристики разрыва 7. Обозначения, как на рис. 3

дющейся на поляне в 100 м выше т.н. 50, также обнаружено четыре трещины, причем три прямолинейные с простиранием 10° и длиной более 20 м, а одна имела вид ломаной линии - ее образовывали соединяющиеся отрезки трещин с простиранием 0-5 и $50-60^\circ$. В целом на этой поляне (т.н. 51) было видно, что трещины с простиранием $0-10^\circ$ образуют основную систему, а трещины с простиранием $45-60^\circ$ иногда соединяют их и в результате образуются коленообразные структуры. Все трещины в районе т.н. 51 также имеют вид хребтиков выдавливания, причем высота хребтиков здесь иногда достигала 20 см (при ширине ~ 5 см).

Зона разрывов в районе т.н. 53, 11, 12 и 14. В этом районе, расположенном в 300-400 м к юго-юго-востоку от конуса Лагерный, откартирована целая система трещин и небольших сбросов, проявленных в узкой полосе длиной ~ 700 м и шириной ~ 100 м. Общее простирание полосы разрывов здесь $\sim 30^\circ$ (см. рис. 3). В южной части (т.н. 53) вскрыта трещина с простиранием 10° , опущено западное крыло. В т.н. 11 откартировано ~ 10 трещин, имеющих простирание от $15-25$ до 45° , кулисообразно

сменяющих друг друга и образующих систему микрограбен. Вертикальное смещение по трещинам обычно небольшое - до 15-25 см. Часть трещин открыта с зиянием до 10 см. Одна из трещин, расположенных вблизи восточной границы зоны, имеет дугообразный вид, выгнута к востоку, и на северном конце к востоку от нее отходит хребтик выдавливания.

В т.н. 12 вблизи северного конца описываемой зоны тянется на расстояние > 100 м заметная трещина с простирием $\sim 20^\circ$. Западное крыло ее поднято на 10-20 см. Вдоль трещины в некоторых местах произошли провалы грунта, образовались ямы, траншеи глубиной и шириной до 1 м. Трещина идет зигзагами, ее сопровождают мелкие сопутствующие трещины, которые огибают провалы. У северного конца трещина изгибается к западу и превращается в небольшой (до 10 см высотой) хребтик выдавливания. При этом в 10 м западнее начинается новая трещина, которая также имеет вид хребтика выдавливания высотой 10-20 см и тянется еще на 50 м. Далее на север она теряется в кустах и траве.

В т.н. 14, к востоку от т.н. 12 обнаружены две трещины с простирием 45° . Они имеют вид небольших уступчиков высотой в 3-5 см, опущено северо-западное крыло. Вдоль трещин произошли небольшие просадки грунта.

Разрыв 7 в районе т.н. 39-44 расположен в 2 км к западу от того участка реки Карымская, где выявлены основные разрывы, описанные выше (1, 2, 5 и др.). Он приурочен к водораздельной части, к верховьям ручьев, входящих уже в основном в бассейн реки Крестьянская (рис. 11), тянется здесь в целом по прямой линии с простирием 10° и прослежен на расстоянии $\sim 1,2$ км. В южной части (т.н. 39) разрыв имеет вид надвига - восточный борт надвинут на западный, плоскость сместителя наклонена на восток под углом 70° . Морфологически разрыв выражен небольшим уступом ($\sim 10-20$ см). Вдоль простириания он зигзагообразно изгибается, образуя как бы волны длиной 7-8 м. К северу (в т.н. 40 и 41) разрыв имеет тот же вид, но высота уступа в т.н. 41 уменьшается до 3-5 см.

В северной части разрыв имеет несколько иной вид. В т.н. 42 он представляет собой раскрытую трещину шириной 10 см, заметных вертикальных смещений здесь не обнаружено. Простириание разрыва резко меняется - при подъеме на возвышенности оно составляет 30° , а при спуске с них - 0° , что свидетельствует в целом о наклоне плоскости сместителя здесь в западном направлении. В т.н. 43 разрыв вновь выглядит в виде уступа высотой до 15-20 см (поднят восточный борт, опущен западный). Еще далее на север (в т.н. 44) амплитуда вертикального перемещения уменьшается до 3-4 см, разрыв разбивается на несколько мелких (длиной 3-5 м) трещин, расположенных кулисообразно друг относительно друга. Плоскость сместителя здесь также падает к западу под углом $\sim 70^\circ$. В 100 м к северу от т.н. 44 разрыв исчез и далее не прослежен.

Разрывы на ручье Карымский (т.н. 17-21, см. рис. 2). Обследование бассейна ручья Карымский показало, что в этой части отсутствуют крупные разрывы. В то же время выявлено несколько небольших трещин, описание которых приведено далее. В т.н. 17 на правом склоне долины ручья обнаружена серия мелких открытых трещин с простирием $45-50^\circ$. Трещины разорвали дерн.

В т.н. 18 на левом борту долины ручья, вблизи высоты 1120 м, выявлено три трещины ~ 50 м длиной каждая. Одна трещина с простирием 70° , открытая, с зиянием 2 см; две - с простирием 60 и 50° , вдоль них выдавлены небольшие хребтики разрыхленного грунта. Трещины в целом образуют дугу, выгнутую к северу.

В т.н. 19, в 1 км к западу от высоты 1120 м, также выявлено две дугообразных трещины длиной по 40-50 м с простирием 70° . В т.н. 20, еще в 500 м к западу - две трещины с простирием $115-120^\circ$, выглядят в виде валиков выжатых пород, идут дугой, выгнутой к северу. Такая же трещина обнаружена в т.н. 21, к западу от вулкана Академии Наук. Она также представляла собой хребтик выжатого грунта и простиралась дугой, выгнутой в сторону озера.

Вертикальных смещений по всем указанным трещинам не отмечено.

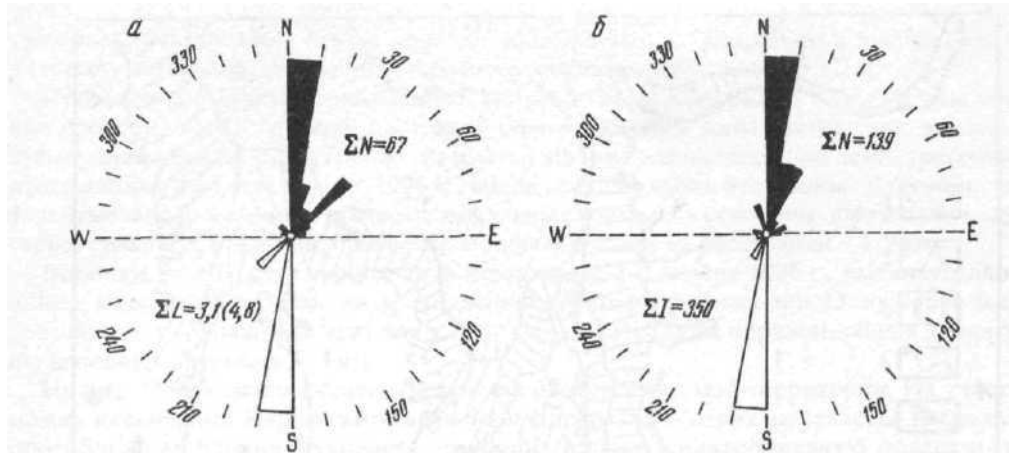


Рис. 12. Розы-диаграммы частоты встречаемости (N), суммарной длины (L) и раскрытости (I) разрывов: a - сформировавшихся при землетрясении 1 января 1996 г., b - старых, наблюдавшихся в т.н. 2-5, 10, 23 и 24 (см. рис. 3); $\{N$ - количество измеренных разрывов; $\{L$ - суммарная длина измеренных разрывов (в скобках - с учетом предполагаемого продолжения разрыва 2 на юг, через район развития эксплозивных воронок), км; $\{I$ - суммарная раскрытость разрывов, см

Общие особенности строения зон разрывов. Необходимо отметить, что на всем или почти всем протяжении морфологию наиболее крупных нарушений характеризуют четкие признаки трещин растяжения: неровные края уступов, зияющие провалы, а в зоне южнее конуса Лагерный - многочисленные мелкие грабены. Признаки сжатия обнаружены на южном окончании разрыва 7, в верховьях реки Крестьянская (т.н. 39 и 40), где отчетливо видно надвигание восточного крыла на западное, а также вдоль части мелких трещин, где были выявлены хребтики сжатия. Явных признаков сдвиговых перемещений на поверхности не обнаружено.

Характерной особенностью наиболее крупных из выделенных разрывов является то, что вдоль их простириания плоскость сместителя меняет свой наклон; на юге она обычно наклонена к востоку, а на севере - к западу. Нарушение, таким образом, приобретает пропеллерообразный вид. Необходимо также отметить, что, несмотря на изменение наклона плоскости сместителя, характер подвижки по разлому на всем его протяжении сохраняется: по разрывам 2 и 5 по всей длине поднято западное и опущено восточное крыло, а по разрыву 7, наоборот, поднято восточное и опущено западное крыло. Таким образом, морфологическая характеристика разрывов вдоль их простириания меняется. Разрыв 2 на юге представляет собой нормальный сброс с элементами раздвига, а на севере - обращенный сброс (или взброс) также с элементами раздвига. Разрыв 7 на юге представляет собой надвиг, а на севере - нормальный сброс.

На рис. 12, a показана изменчивость простириания сформировавшихся разрывных нарушений. Следует отметить, что наиболее распространены разрывы с простирианием $0-10^\circ$. Значительным распространением пользуются также разрывы с простирианием $30-45^\circ$. Нарушения других направлений распространены незначительно. Распределение разрывов разного простириания по площади показывает, что та особенность, которую наблюдали в т.н. 51, имеет общее значение: разрывы с простирианием $0-10^\circ$ образуют основную систему, а трещины северо-восточного направления - второстепенную, они как бы соединяют разрывы субмеридиональных направлений, образуя коленообразные структуры.

Структурная позиция зоны главных разрывов. Распределение деформаций по площади показывает, что наиболее крупные подвижки (как вертикальные (сбросы), так и горизонтальные (раздвиги)) приурочены к верхнему течению реки Карымская.

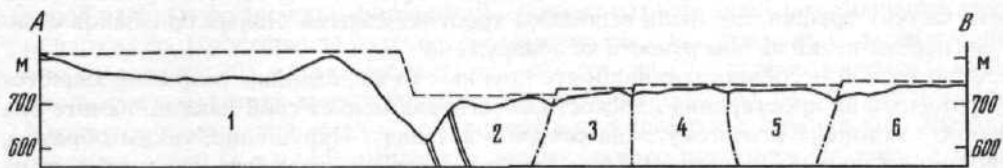
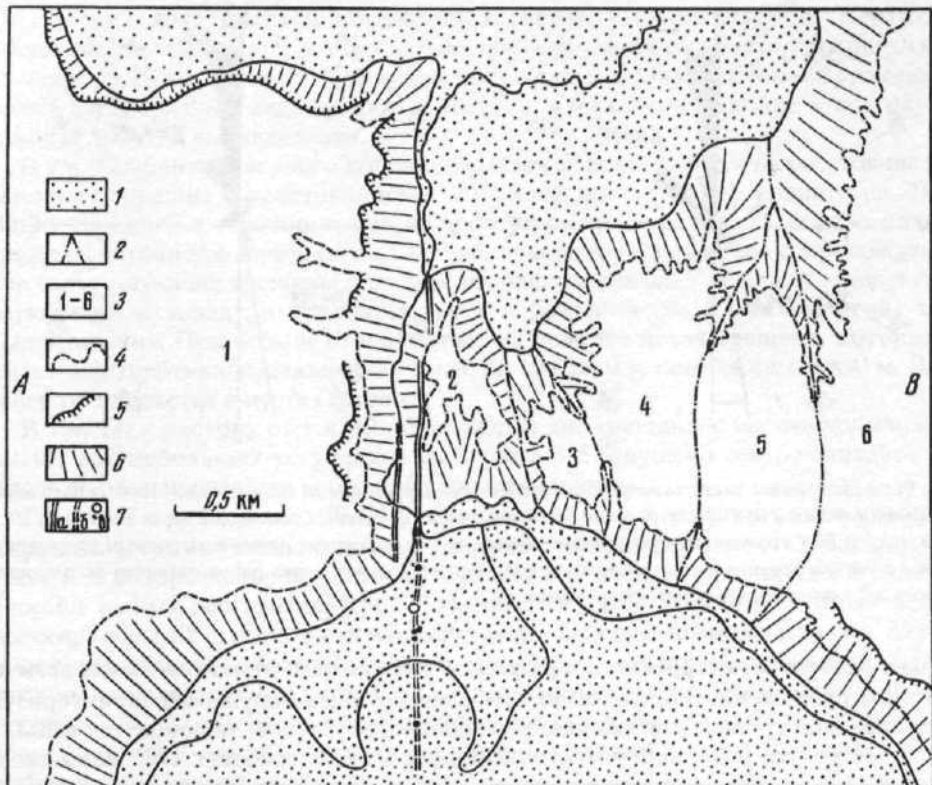


Рис. 13. Обобщенная морфоструктурная схема района верхнего течения р. Карымская: 1 - относительно погруженные участки (вверху - кальдера Карымского вулкана, внизу - кальдера Карымского озера); 2 - границы морфоструктурных блоков; 3 - номера блоков; 4 - изолинии 700 м (по топографической карте, масштаб 1:10 000, составленной В.Н. Двигало); 5 - морфологически выраженные уступы; 6 - участки крутых склонов, ограничивающих платообразные возвышенности; 7 - основные разрывы, сформировавшиеся при землетрясении 1 января 1996 г.: а - установленные, б- предполагаемые; в - взрывные воронки

Разрывы, вдоль которых произошли эти подвижки, образуют узкую зону, вытянутую в меридиональном направлении. Она проходит примерно вдоль предполагавшегося ранее крупного разлома, трассирующегося вулканами Двор, Карымский и Академии Наук [1, 2]. На береговых обрывах Карымского озера в районе истока реки Карымская после извержения 2-3 января 1996 г. и последующего падения уровня воды вскрылись протяженные сплошные обнажения туфов, которых не было в 1992 г., когда здесь изучали тектоническую трещиноватость [3]. Вновь проведенное обследование береговых обрывов показано, что в районе истока реки Карымская (т.н. 2-5, 10, 23 и 24) абсолютно преобладают трещины с простиранием СВ 0-10° (рис. 12, б), причем с этими же трещинами связано наибольшее растяжение - суммарная мощность связанных с ними нептунических даек > 4,4 м. Наиболее раскрытые трещины сосредоточены на участке реки Карымская в районе т.н. 10, 23 и 24. Здесь отдельные

трещины, заполненные вертикально стоящими слоями глинистого и песчано-гравелистого материала, имеют вид непунических даек мощностью до 1,2 м.

Приведенные данные показывают, что русло реки Карымская в ее верхнем течении проходит вдоль крупной, постоянно обновляющейся зоны растяжения, имеющей субмеридиональное простирание. Разрывы, сформировавшиеся при землетрясении и извержениях в начале января 1996 г., вновь прошли вдоль этой зоны. Частично, как уже отмечено, они обновили старые разрывные зоны, но в основном образовали новую серию раскрытых трещин, прослеживающихся в длину на расстоянии $\sim 1,5$ км.

Воронки, из которых происходило извержение 2-3 января 1996 г., вытянуты вдоль линии, находящейся прямо на продолжении новых разрывных зон. Они скорее всего траассируют продолжение этих зон к югу (см. рис. 3). Таким образом, общая длина зон основных разрывов ≥ 3 км.

На рис. 13 показан обобщенный рельеф рассматриваемой территории. На участке между кальдерами Карымского вулкана и Карымского озера выделяется несколько обособленных блоков (ступеней), имеющих плоскую платообразную поверхность. Видно, что блок 1, расположенный к западу от р. Карымской, относительно приподнят, а наиболее погруженным является блок 2, расположенный непосредственно к востоку от реки. Амплитуда погружения блока 2 относительно блока 1 составляет ~ 100 м, что отчетливо видно на прилагаемом разрезе (см. рис. 13). Восточная граница блока 1 почти прямолинейная и вытянута в меридиональном направлении. Как показано выше, именно вдоль этой границы происходило неоднократное формирование трещин растяжения, многие из которых вскрываются в виде непунических даек в районе т.н. 10, 23 и 24. Новые разрывы сформировавшиеся в результате землетрясения 1 января 1996 г., обновили восточную границу блока 1, причем основной разрыв пересек западные склоны блока 2, как бы спрямляя границу и делая очертания блока 1 почти прямолинейными (см. рис. 13).

Таким образом, структурная позиция зоны основных разрывов, сформировавшихся в начале января в Карымском вулканическом центре, очевидна: они заложилась вдоль старой границы двух блоков, движения по которой происходили неоднократно, причем характер движения по ним в основном наследовал характер межблочных движений - погружение блока 2 относительно блока 1. Необходимо отметить, что во время образования Карымской кальдеры ~ 8 тыс. лет назад блок 1 не был вовлечен в обрушение. Он образовал у южного края кальдеры заметный выступ, сильно искаживший правильные ее очертания (см. рис. 2 и 13). Это, вероятно, свидетельствует о жесткости и монолитности блока 1, который играл и играет заметную роль в структуре рассматриваемого района. В целом можно, по-видимому, утверждать, что меридиональный разлом, проходящий вдоль восточной границы блока 1 и активизировавшийся при землетрясении 1 января 1996 г., имеет длительную историю. Он был активен в течение всего голоцена, и современная активизация - один из эпизодов его продолжающегося развития.

Обсуждение результатов

Нарушения, возникшие при Карымском землетрясении, во многом напоминают разрывы, сформировавшиеся на востоке Калифорнии и в Неваде - в регионе, известном под названием провинции Бассейнов и Хребтов [4], где преобладают сбросовые или раздвиговые движения. Активизируются разломы, разделяющие погружающиеся долины и воздымающиеся хребты. Трещины, формировавшиеся при исторических землетрясениях в провинции Бассейнов и Хребтов, имели неровные края, сопровождалась зияющими провалами, многочисленными мелкими грабенами. Будучи в общем прямолинейными, в деталях они имели зигзагообразный вид, постоянно отклонялись то в одну, то в другую сторону. Отдельные трещины обычно не продолжались на большие расстояния - они быстро затухали, но рядом с ними возникали новые трещины, которые быстро наращивали амплитуду по мере того, как затухающие теряли ее [4].

Все эти особенности характерны и для основной системы трещин, возникших при Карымском землетрясении. Они показывают, что как в том, так и в другом случае основными движениями были растягивающие, ориентированные перпендикулярно к простиранию трещин. В то же время имеется ряд особенностей, характерных для описанных выше трещин, которые свидетельствуют о достаточно сложной картине их образования. Они не укладываются в простую модель растяжения. Это прежде всего пропеллерообразность плоскостей основных разрывов, изогнутость части их (например, разрывов 3 и 4) к юго-востоку, опускание восточного блока разрывов при погружении их плоскости к западу, наличие взбросовых подвижек и т.д. Для объяснения данных особенностей и восстановления условий образования описанных разрывных нарушений необходимы дальнейшие, более детальные исследования.

Выводы. 1. Проведенное обследование районов, расположенных севернее эпицентра Карымского землетрясения 1 января 1996 г., позволило выявить сеть вновь образовавшихся разрывных нарушений, которые предположительно можно рассматривать как выход очага землетрясения на поверхность.

Расположение на продолжении разрывов эруптивных центров, извергавшихся 2-3 января 1996 г., свидетельствует о тесной связи сформировавшихся разрывов с магматической деятельностью и подъемом магмы к поверхности земли.

2. Основная зона разрывных нарушений расположена в верховьях реки Карымская и состоит из нескольких разрывов протяженностью 0,5-1 км каждый. Разрывы имеют меридиональное простирание и на всем протяжении характеризуются поднятым западным крылом и опущенным восточным крылом. Амплитуда вертикального перемещения по ним от 0,5 до 1,5 м, при этом максимальная амплитуда отмечена вблизи южного конца зоны разрывов, к северу вдоль разрывов она постепенно уменьшается.

3. Все наиболее крупные нарушения основной зоны имеют четкие признаки растяжения, направленного вкост их простирания - на поверхности они обычно представлены открытыми трещинами, рвами, провалами грунта. Раскрытие трещин местами достигает 2-2,5 м. Разрывы и зоны мелких трещин, расположенные к западу и востоку от основной зоны, наоборот, в основном несут признаки сжатия. Они представлены либо небольшими надвигами, либо вздутыми валиками разрыхленной и выжатой земли.

4. Анализ структурной позиции зоны основных разрывов показал, что она приурочена к старой, неоднократно активизировавшейся (в течение голоцена) зоне разрывов, являющейся восточной границей относительно устойчивого поднятого блока. Районы, расположенные к востоку от этого блока, опущены с амплитудой ~ 100 м. Новые разрывы обновили восточную границу блока и как бы спрямили ее, сделав почти прямолинейной. По-видимому, при землетрясении и последовавших за ним извержениях произошла активизация старого меридионального разлома, вдоль которого на протяжении 2,5-3 км произошло заложение новых трещин.

Работа выполнена по программе Карымской экспедиции Института вулканологии ДВО РАН (начальник экспедиции М.А. Магуськин). Заброска к месту полевых работ осуществлена при содействии Г.А. Карпова и С.Д. Чернышева. В поиске разрывных нарушений помогли наблюдения В.Е. Левина, М.А. Магуськина, Я.Д. Муравьева. Незаменимым помощником в проведении полевых работ был сын автора Андрей Леонов. Полезные замечания, способствующие улучшению статьи, высказаны О.Н. Егоровым, С.Н. Рычаговым, А.В. Викулиным и С.А. Федотовым. Всем перечисленным лицам автор выражает свою искреннюю благодарность.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГКНТ России по проекту "Исследование извержений вулканов Академии Наук и Карымского, связанных с ними геологических, геофизических, геохимических процессов и их влияния на окружающую среду", инициативным проектам РФФИ 96-05-66243 и 95-05-79003, а также по проекту 1.2.1 ГНТП № 16 "Глобальные изменения природной среды и климата".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Влодавец В.И.* Вулканы Карымской группы //Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1947. Вып. 3. С. 3-48.
2. *Иванов Б.В.* Извержение Карымского вулкана в 1962-1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 134 с.
3. *Леонов ИЛ., Иванов В.В.* Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 24-40.
4. *Лукьянов А.В.* Горизонтальные движения по разломам, происходящие при современных катастрофических землетрясениях // Разломы и горизонтальные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 34-112.
5. *Федотов С.А.* Пробуждение // Поиск. 20-26 января 1996 г. № 3-4 (349-350). С. 15.

Институт вулканологии ДВО РАН.
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
26.12.1996