

УДК 551.21 : 551.243

© 1994 г. ЛЕОНОВ В. Л., ИВАНОВ В. В.

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА
И ИХ СВЯЗЬ С ТЕКТОНИКОЙ**

Исследован вопрос происхождения землетрясений постоянно действующей Карымской сейсмоактивной области (Камчатка), расположенной в центре одноименной кольцевой структуры. Показано, что землетрясения могут быть связаны с коровыми магматическими телами в этом районе и движением магмы по относительно древним разломам северо-восточного простирания, активизированным в новейшее время.

EARTHQUAKES OF THE KARYMSKY VOLCANIC CENTER AND THEIR RELATION TO TECTONICS, by Leonov V. L. and Ivanov V. V. We studied the origin of earthquakes of the Karymsky seismically active area (Kamchatka) which is situated in the center of the Karymsky ring structure. Earthquakes are inferred to be related to the crustal magma bodies of this region and to magma movement along the relatively ancient northeast — trending faults whose remobilization occurs in modern times.

(Received June 1, 1993)

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

Вулканические землетрясения интерпретируются многими исследователями как хрупкая составляющая отклика на изменение давления в магматической питающей системе вулкана; обработка землетрясений позволяет получить информацию об этой системе и о происходящих в ней процессах [26, 29—31]. Сравнительно неглубокие ($Y \leq 2$ км) землетрясения типа «В» по Минаками (II—III типа по П. И. Токареву), а также взрывные землетрясения в данной работе не рассматриваются. Землетрясения этих типов бывают кратковременными, непосредственно перед извержениями, или связанными с вулканическими взрывами. Постоянная сейсмичность в вулканических районах связана с более глубокими (от 2 до 70 км) землетрясениями типа «А», которые по характеру записи не отличаются от тектонических землетрясений сейсмофокальной зоны Беньюфа и названы Г. С. Горшковым вулканотектоническими. П. И. Токарев обозначает такие события землетрясениями типа I и считает, что они отражают микротектонику вулкана и его ближайших окрестностей, показывают изменение напряженного состояния самой верхней части земной коры, вызванные колебаниями давления в магматическом канале и выводном очаге, однако не исключает их связи с движением по тектоническим разломам [17].

Один из интересных полигонов для изучения вулканических землетрясений на Камчатке — центральная часть Карымской кольцевой структуры. Здесь на сравнительно небольшой площади (30x30 км) расположены действующий андезитовый вулкан Карымский, постоянная область коровых землетрясений, мощная гидротермальная система, зона интенсивных современных движений земной коры. Постоянные рои землетрясений и заметные деформации земной поверхности

вообще характерны для активности андезитовых и дацитовых вулканов, магмы которых имеют высокую вязкость [4, 18, 29—31].

В мае 1970 г. на расстоянии 3,5 км от кратера Карымского вулкана в его кальдере установлена постоянная региональная сейсмическая станция. В 1989 г. станция переведена на режим передачи информации по радиоканалу. Землетрясения из района Карымского вулкана непрерывно регистрируются станциями Камчатской региональной сети, начиная с энергетического класса $K_{S_{1,2}}^{\Phi 68} = 8,5$.

Координаты их определяются с точностью ± 20 км. В 1985 г. на вулкане работала временная локальная сеть из трех сейсмостанций, которая, в частности, позволила рассчитать систематическое смещение определений эпицентров местных землетрясений по данным региональной сети [26]. Введение соответствующих эпицентральных поправок позволяет более точно интерпретировать получаемые данные.

Краткие сведения о вулкане Карымский. Вулкан Карымский имеет возраст ~6 тыс. лет, расположен в голоценовой кальдере, наложенной на средне- и верхнеплейстоценовые вулканы Двор и Пра-Карымский. С юга к Карымской кальдере примыкает кальдера Академии наук, образовавшаяся в верхнем плейстоцене (~40 тыс. лет назад), она заполнена Карымским озером. В Карымском центре имеется еще один действующий вулкан — Малый Семячик, 18 потухших вулканов, более двух десятков моногенных образований. Центр Карымской кольцевой структуры, где располагается вулкан Карымский, рассматривается как источник потока энергии, генерирующего расплавы в окружающем пространстве. К центру структуры приурочен максимум содержания окислов кремния, натрия и калия в породах. На вулкане Карымский развиты породы андезитового состава с содержанием окиси кремния 60% [13]. Основным типом извержений вулкана Карымский является вулканский, перед излиянием лавовых потоков в кратере появляется экструзивный купол. Последнее извержение закончилось в 1982 г. [17, 18, 20, 23]. К кальдере Карымского вулкана приурочены положительная магнитная и гравитационная аномалии, которые связываются с субвулканической интрузией или периферическим магматическим очагом. Глубина залегания его центра тяжести 4—5 км, глубина верхней кромки ~1,5 км. При сферической форме и допускаемых значениях избыточной плотности радиус предполагаемого очага может составлять от 2,3 до 3,5 км [5]. По геодезическим и фотограмметрическим данным, верхняя граница предполагаемого магматического очага находится на 1—5 км ниже поверхности земли. По форме он мог бы быть сферой или цилиндром радиуса 0,5—0,8 км [11].

Результаты изучения сейсмичности. Местные землетрясения, по данным локальной сети в 1985 г., располагались в сферическом полуслое толщиной —5 км, окружающем с юго-востока асейсмическую сферу радиуса ~2,5 км с центром на глубине 6,5 км под вершиной вулкана Карымский [26]. Это подтверждает наличие под вулканом периферического магматического очага. В плане землетрясения группировались большей частью внутри эллипса размерами 7x9 км, вытянутого в северо-восточном направлении. Центр этой области смещен на —3 км к югу от кратера вулкана (рис. 1).

Сейсмичность Карымского вулканического центра за весь период наблюдений с 1962 по 1992 г. исследовалась путем выборки данных из регионального Карымского каталога о землетрясениях представительного энергетического класса ($K_{S_{1,2}}^{\Phi 68} > 8,5$) в квадрате 53,65—54,35° с. ш., 159—160° в. д. Определения землетрясений затем сдвигались на 8 км к северу и 2 км к востоку с целью компенсации систематического смещения их эпицентров. Смещения взяты из работы [26]. В результате точность определения эпицентров в районе начиная с 1970 г. улучшена от $\pm(10...15)$ до ± 5 км. Точность событий до 1970 г. — ± 20 км. Точность по глубине оставалась прежней, ± 10 км.

В плане Карымская сейсмоактивная область изображена на рис. 2 послойно на глубинах 0—5, 6—15 и 16—25 км. Землетрясения сконцентрированы в

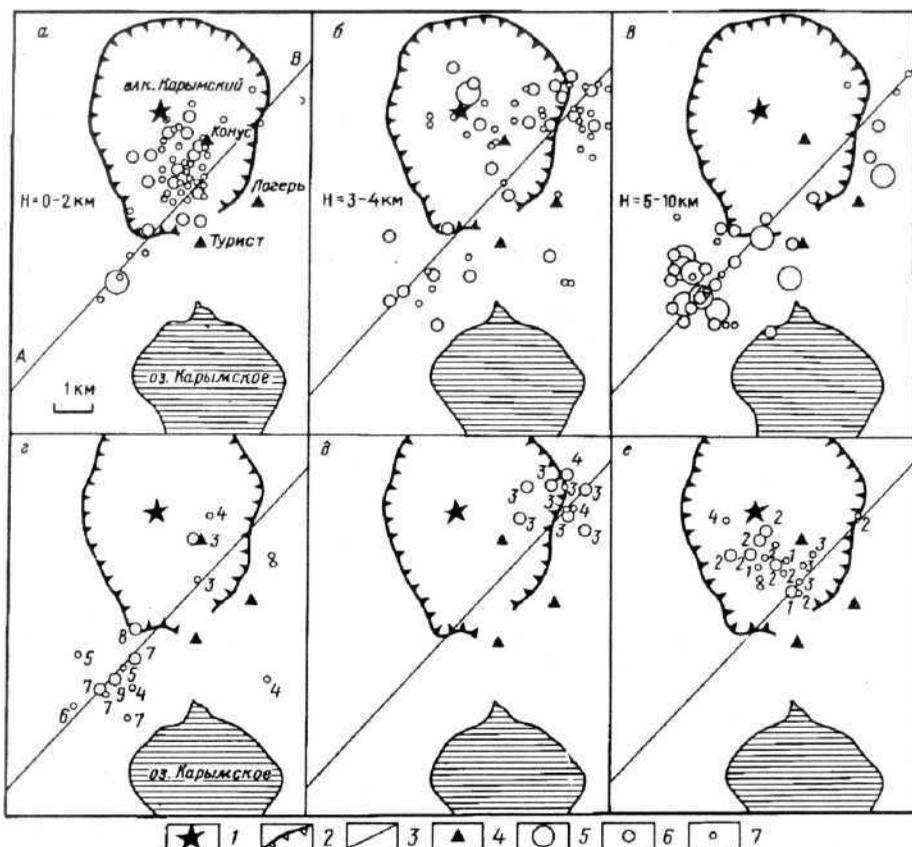


Рис. 1. Пространственно-временное распределение землетрясений Карымской сейсмоактивной области в 1985 г. по данным локальной сети [26]: а — в — карты эпицентров для глубин 0—2, 3—4 и 5—10 км соответственно; з — е — распределение эпицентров землетрясений для трех интервалов времени в период с 14.V по 8.VI 1985 г.: / — кратер вулкана Карымский; 2 — борт кальдеры вулкана; 3 — направление генерального разлома; 4 — сейсмостанция; 5—7 — эпицентры землетрясений энергетических классов 8—10, 6—7 и 4—5 соответственно. Глубины (км) указаны около кружков, обозначающих землетрясения

центральной части Карымской кольцевой структуры, где расположено большинство плейстоценовых вулканов этого вулканического центра (вулканы изображены звездочками). Можно отметить, что в южной части сейсмоактивной области землетрясения в среднем имеют большую глубину, чем в северной части этой области. Положение событий сильнейшего непродолжительного роя землетрясений в январе-феврале 1978 г. с учетом указанных поправок может быть определено более точно. Самое сильное событие роя 29.I 1978 г. в 21 ч 51 мин по Гринвичу $K_{S_{1,2}}^{Ф68} = 12,7$ произошло в районе Карымского озера. Остальные пять наиболее сильных событий, механизмы очагов которых также определены в работе [4], произошли на расстоянии ≤ 7 км от главного толчка, т. е. в области между кальдерой Половинка, вулканом Крайний и вулканом Двор.

На рис. 3 показана проекция очагов землетрясений в диапазоне $53,65—54,35^\circ$ с. ш., $159—160^\circ$ в. д., $\# = 0...200$ км на вертикальную плоскость, ориентированную поперек сейсмофокальной зоны. Сейсмофокальная зона на указанном участке вулканической дуги, относящемся к Карымскому центру, на глубинах от 80 до 200 км погружается под континент под углом $\sim 60^\circ$ к горизонту. Глубина ее под Карымским вулканом 110—180 км, под вулканом Малый Семячик 100—160 км.

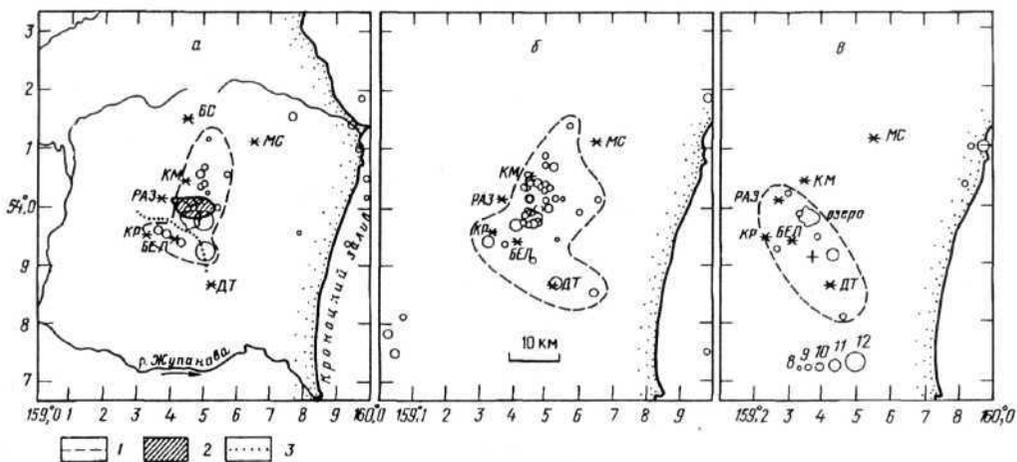


Рис. 2. Распределение землетрясений представительного энергетического класса $K_{\Phi 68} > 8,5$ в Карымском вулканическом центре по данным региональной сети за период с 1962 по 1992 г. на глубинах: а — 0–5; б — 6–15; в — 16–25 км; 1 — область растяжения на территории центра; 2 — центр области растяжения; 3 — линия смены знака горизонтальных деформаций (с растяжения на сжатие, данные М. А. Магуськина). Вулканы: КМ — Карымский, МС — Малый Семячик, РАЗ — Разлатый, КР — Крайний, БЕЛ — Белянкина, ДТ — Дитмара, БС — Большой Семячик

Под Карымской сейсмоактивной областью на глубинах от 20 до 100 км землетрясения не отмечены, следовательно, она пространственно обособлена от зоны Беньофа.

Сопоставление с геодезическими данными, приведенными в работе [12], показывает, что геометрический центр Карымской сейсмоактивной области, предполагающийся примерно в районе Карымского озера, совпадает с центром деформаций растяжения (рис. 2). Северная часть сейсмоактивной области находится в обстановке растяжения, а южная — слабого сжатия (см. линию смены знака деформаций на рис. 2).

Ориентация осей локального поля напряжений в центральной части Карымского вулканического центра изучалась В. М. Зобиным, П. П. Фирстовым и Е. И. Ивановой [4]. Изучены механизмы шести наиболее сильных событий роя землетрясений на глубинах от 0 до 10 км. Три из этих событий произошли в северной части области. Плоскости, на которых имели место минимальные сжимающие напряжения, характеризуются следующими азимутами простираения: 50° — для события в районе Карымской кальдеры, 10 – 15° — для событий в районе Карымского озера. Для других трех землетрясений, относящихся к южной части области, плоскости минимальных сжимающих напряжений имеют простираения от 310 до 350° . Таким образом, более благоприятными условиями для открытия и транспортировки магмы от глубокого источника обладают трещины в районе Карымской кальдеры и оз. Карымского, азимуты которых 10 – 50° , и трещины с азимутами от 310 до 350° в районе вулканов Крайний, Белянкина, Половинка.

На рис. 4 сопоставлены величины максимальных энергетических классов землетрясений K_{\max} в зоне Беньофа в полосе $53,65$ – $54,35^\circ$ с. ш. на глубинах $H \leq 70$ и $H > 70$ км, вертикальные деформации в кальдере Карымского вулкана и максимальные энергетические классы K_{\max} землетрясений в Карымской сейсмоактивной области. Стрелками обозначены излияния лавы на вулкане Карымский. Обращает на себя внимание несинхронность сеймотектонических процессов в зоне Беньофа и деформаций и землетрясений в Карымской сейсмоактивной области, свидетельствующая об отсутствии между ними прямой связи. Наоборот,

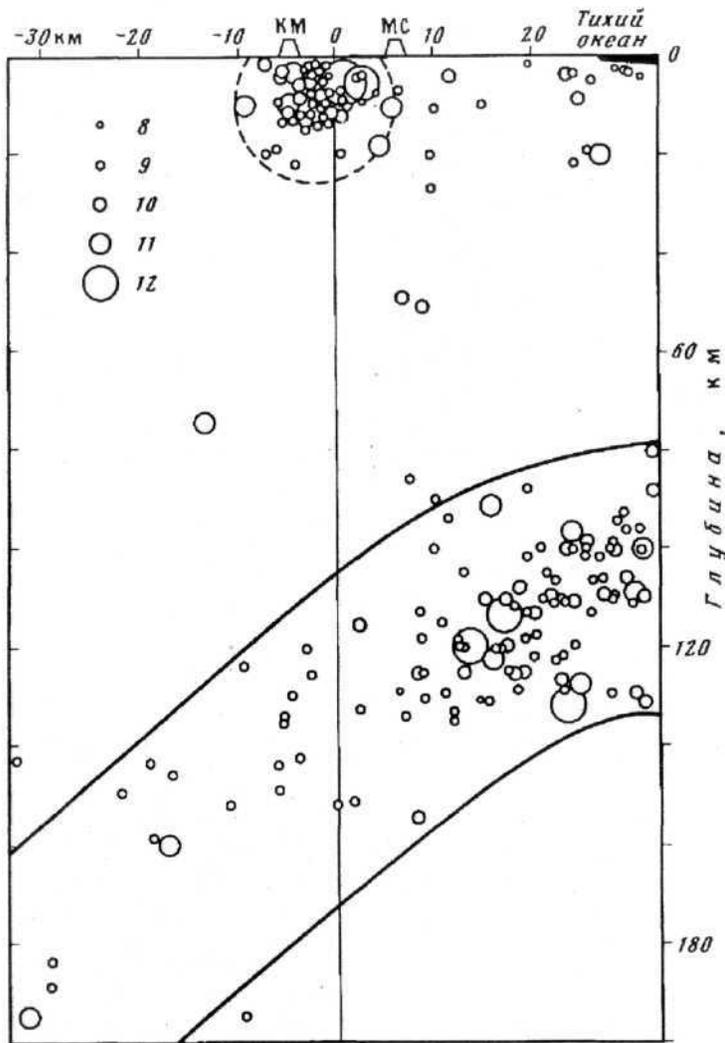


Рис. 3. Сейсмофокальная зона землетрясений Заварицкого — Бенъофа на участке вулканической дуги, относящемся к Карымскому вулканическому центру, и Карымская сейсмоактивная область в разрезе; данные за 1962—1992 гг., $K_{S_{z, \delta}}^{Ф68} > 8,5$. Карта получена проектированием землетрясений в кубе $53,65^{\circ}$ — $54,35^{\circ}$ с. ш., 159° — 160° в. д., $0 < H < 200$ км на вертикальную плоскость вкост зоны Бенъофа. Сжато в вертикальном направлении в 2 раза; КМ — Карымский, МС — Мальный Семячик

перед всеми излияниями лавы на вулкане отмечено усиление сеймотектонических процессов в его сейсмоактивной области. Однако усиления сейсмоактивности в 1985—1986, 1989 и 1992 гг. пока не наследовались никакими извержениями.

О разломах района Карымского вулканического центра. На центральном участке Восточной Камчатки, где расположен Карымский вулканический центр, наиболее ярко проявлены разломы северо-северо-восточного простирания (ССВ 20 — 30°). Это отмечали Н. А. Гусев [2], Э. Н. Эрлих [28], А. Е. Святловский [15], а наиболее подробное описание разрывных нарушений этого направления сделал В. А. Леглер [8]. Густая сеть разрывных нарушений ССВ-простирания (преимущественно сбросов) фиксирует здесь обширную зону растяжения, раздвиг, выраженный на поверхности широким (до 20 км) грабеном. Его описание при-

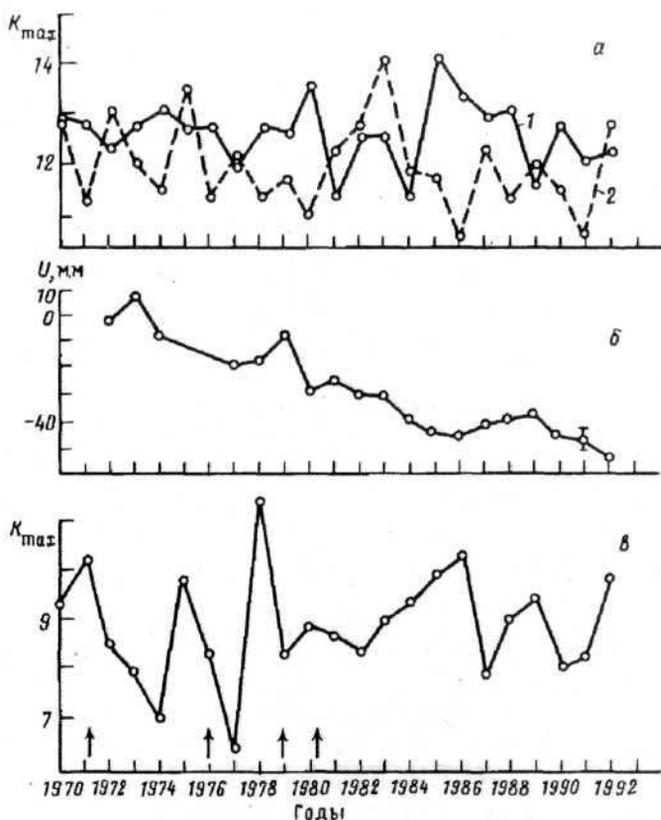


Рис. 4. Сопоставление величин максимальных энергетических классов K_{max} тектонических землетрясений фокальной зоны Беньюфа (а), вертикальных смещений U в кальдере Карымского вулкана (б) и максимальных энергетических классов K_{max} землетрясений в Карымской сейсмоактивной области (в) за период с 1970 по 1992 г. Стрелками показаны моменты излияния лавы на Карымском вулкане. Вертикальные смещения измерены М. А. Магуськиным и др. [12]; 1 — $H < 70$ км, 2 — $H > 70$ км

водилось в работах Ю. П. Масуренкова [13, 14], И. В. Флоренского, В. Г. Трифонова [22], А. И. Кожурина [7], В. Л. Леонова [9, 17]. В работах Ю. П. Масуренкова, И. Ф. Флоренского и В. Г. Трифонова отмечено, что зона разрывных нарушений как бы распадается на отдельные сегменты: Жупановско-Карымский, Мало- и Большесемячинский, Большесемячинско-Узонский, Узонско-Крашенинниковский и Крашенинниковско-Кроноцкий. Эти сегменты располагаются кулисообразно один относительно другого, образуя эшелонированную систему. Наиболее ярко смещение сегментов роя разрывных нарушений проявлено в районе Карымского вулканического центра (рис. 5).

Кроме отмеченных разломов ССВ-простираения в рассматриваемом районе также широко проявлены разломы иных направлений: северо-западные, северо-восточные (СВ 45°), широтные, меридиональные, дуговые и кольцевые. Различные исследователи оценивают их значение по-разному. Так, Э. Н. Эрлих [28] большое внимание уделял разломам северо-западного, северо-восточного и широтного простираний. Эти же разломы в дальнейшем более подробно описал А. Е. Шанцер [24]. В частности, в описываемом районе им выделен крупный широтный Карымско-Ганальский разлом, который трассируется цепочками голоценовых и верхнеплейстоценовых базальтовых шлаковых и лавовых конусов. Этому же разлому (отмечая его запад-северо-западное направление) большое внимание

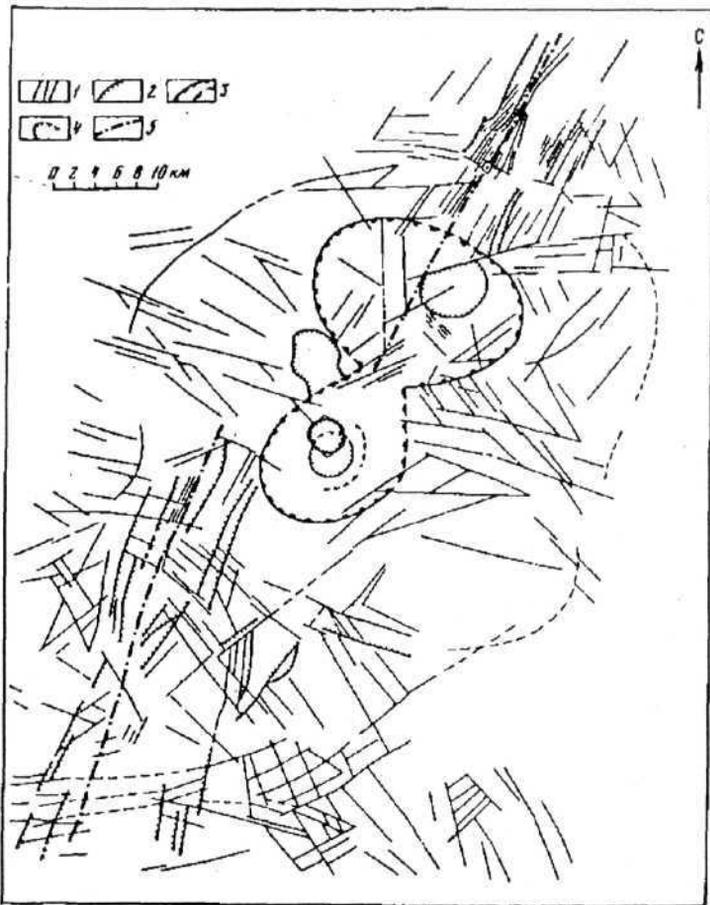


Рис. 5. Схемы разломной тектоники Карымского вулканического центра [13]. Линейные разломы: 1 — без видимого смещения; 2 — со смещением. Кольцевые кальдерные разломы: 3 — среднеплейстоценовые; 4 — верхнеплейстоценоголоценовые; 5 — оси формирующегося продольного рифта

уделял Ю. П. Масуренков [13], который считал его основным поперечным элементом структуры. Узел пересечения этого разлома с продольной зоной разрывных нарушений ССВ-простираения, по Ю. П. Масуренкову, играет «ведущую генетическую роль в структурообразовании» в районе. Следует отметить, что крупные широтные зоны нарушений в этом районе выделялись также В. А. Ермаковым и соавт. [3], Н. Л. Шилиным и соавт. [25], А. И. Кожуриным [7] и др. Многие исследователи рассматривают эти разломы как правосторонние сдвиги с амплитудой горизонтального перемещения до 10—15 км.

Роль разломов меридионального направления также трактуется по-разному. Так, Г. С. Штейнберг и соавт. [27] по результатам аэромагнитных работ выделили крупный меридиональный разлом, проходящий через вулканы Соболиный, Двор, Карымский, Академии наук. В дальнейшем Б. В. Иванов [6] установил здесь три близрасположенных крупных меридиональных разлома, играющих ведущую роль в структурном контроле вулканической деятельности. В то же время, по данным Ю. П. Масуренкова [13], разломы меридионального направления на территории Карымского центра редки и их роль в структурообразовании ничтожна.

В целом необходимо отметить, что разломы широтного и меридионального простираний наиболее отчетливо выявляются геофизическими методами [1, 3,

16, 27]. При дешифрировании аэрофотоснимков и при наземных работах легче всего прослеживаются разломы северо-северо-восточного простирания, а также дуговые и кольцевые. Эта ситуация подобна показанной для Южной Камчатки [10]. Там проведена ранжировка разломов с выделением трех групп: наиболее древние разломы (преимущественно широтные, меридиональные и северо-западные), более молодые, среднеплейстоценовые (северо-восточного простирания); наиболее молодые, позднеплейстоцен-голоценовые (северо-северо-восточного простирания). По-видимому, и в районе Карымского центра широтные и меридиональные разломы следует относить к одним из наиболее древних. Лучше всего они выявляются геофизическими методами. Для более детального изучения тектонической трещиноватости в районе проведены специальные работы, результаты которых приведены далее.

Результаты изучения тектонической трещиноватости в районе Карымской сейсмоактивной области. Работы проводились в районе кальдеры вулкана Карымский и Карымского озера. Поскольку ранее тектоническая трещиноватость здесь специально не изучалась, то были поставлены следующие задачи: выявление комплексов пород, в которых проявлена тектоническая трещиноватость; измерение элементов ориентировки трещин, раскрытости, смещений, заполнения их; анализ трещиноватости по возрастным комплексам.

Первая задача облегчалась тем, что район достаточно хорошо изучен (например, [6, 13]). На основе этих работ, а также полевых наблюдений выделены пять комплексов пород, в которых наиболее ярко проявлена тектоническая трещиноватость (от наиболее древних до современных).

1. «Дикие» туфы — толща гидротермально измененных слоистых туфов предположительно среднеплейстоценового возраста.

2. Игнимбриты, связанные с кальдерами вулканов Стена-Соболиный и Половинка; предполагаемый возраст 150—180 тыс. лет.

3. Лаво-пирокластические комплексы вулканов Однобокий, Двор и Пра-Карымский.

4. «Благородные» туфы — туфы пемзовых потоков, связанных с кальдерами вулканов Однобокий и Академии наук; предполагаемый возраст 40—100 тыс. лет.

5. Пемзовые туфы пирокластических потоков кальдеры вулкана Карымский, фреатомагматические отложения, лаво-пирокластический комплекс вулкана Карымский; возраст 0—8 тыс. лет.

Необходимо сделать два замечания, которые касаются выделенных комплексов пород. В отличие от исследователей, работавших в этом районе ранее [13], авторы настоящей работы считают, что «дикие» туфы, выходящие в истоках р. Карымской, нельзя относить к молодым озерным отложениям, вложенным в кальдеры вулканов Стена-Соболиный и Половинка. Сильные гидротермальные изменения их, степень дислоцированности заставляют предполагать, что это одни из наиболее древних отложений района, вовлеченные в тектоническое поднятие. Замерены элементы залегания этих слоистых туфов — азимут падения и угол падения соответственно 7—32, 40—20, 55—40, 60—15, 105—27, 120—35, 120—40, 170—28, 190—24, 275—24, 290—9 и т.д. Местами туфы имеют вертикальное падение. Все это свидетельствует о том, что толща передроблена и состоит из отдельных, часто круто залегающих и беспорядочно ориентированных в пространстве блоков. Это совершенно нехарактерно для отложений четвертичного возраста и заставляет рассматривать «дикие» туфы и развитую в них трещиноватость отдельно как признаки, характеризующие один из наиболее древних отрезков истории района.

Другое замечание касается фреатомагматических отложений, имеющих возраст 5,5—6 тыс. лет. Эти отложения ранее не выделялись особо [13], но последние наблюдения показали, что они имеют широкое распространение по бортам Ключевой долины. Среди пород голоценового возраста это одни из отложений, где тектоническая трещиноватость проявлена наиболее отчетливо, поэтому на них

обратили особое внимание. Указанные отложения представляют собой тонкослоистое чередование зеленоватых песчаников и алевролитов, обычно небольшой мощности (20—50 см), облегающих подстилающий рельеф. Отнесение этих отложений к фреатомагматическим проведено после консультаций с О. А. Брайцевой, пришедшей в последние годы именно к такой трактовке происхождения этих пород.

Общая характеристика трещин, их ориентировка и раскрытость. При проведении полевых работ изучено 1374 тектонические трещины. Частота их встречаемости в породах района невысокая, обычно 1—2 трещины на 1 м^2 . В «благородных» туфах трещины встречаются через 1,5—2 м. Наибольшее количество трещин — в «диких» туфах (до 10—15 на 1 м^2). На рис. 6 показана диаграмма простираний трещин, на которой видно, что наибольшим распространением в районе пользуются трещины меридионального и субмеридионального (ССВ 10—20°) простираний, а также широтные. Примерно в 2 раза реже встречаются трещины северо-восточного (СВ 40—50°) и северо-западного (СЗ 310—330°) простираний. Характер ориентировки трещин на разных участках изученного района меняется значительно (рис. 7). Однако пары ортогональных (широтных и меридиональных) и диагональных (СВ 50° и СЗ 320°) трещин проявлены почти везде. Они характеризуют развитую повсеместно планетарную трещиноватость. Обычно почти для всех районов система трещин с простиранием ССВ 10—20°, характеризующая новейшую систему разломов Восточно-Камчатского вулканического пояса [10]. Изредка проявляется также перпендикулярный к ней рой трещин с простиранием ЗСЗ 280—290°. В «диких» туфах особо выделяется рой трещин с простиранием ВСВ 70°, который нехарактерен для других отложений рассматриваемого района.

Раскрытость трещин и их заполнение очень разные — от зон шириной 0,3—1 м, заполненных тонкослоистым алевро-псаммитовым материалом, до нитевидных трещин без заполнения. В «благородных» туфах обычные трещины шириной от 1 до 6 см, заполненные коричневым песчаником. Встречаются также трещины, заполненные белым пемзовым песком и гравелитом. На диаграмме раскрытости трещин (рис. 8) отчетливо видно, что максимально раскрыты все трещины северо-восточных румбов (ВСВ 85, 70°, СВ 45°, ССВ 10°), а также северо-западные (СЗ 320°). Если рассмотреть раскрытость трещин по выделенным возрастным комплексам, то видно (рис. 9), что ориентировка раскрытых трещин последовательно меняется от ВСВ 85—70° и СВ 35—45°, характерной для комплекса 1 («диких» туфов), до меридиональной и ССВ 10°, характерной для комплекса 2 (игнибритов), и далее до преимущественно северо-западной (СЗ 320°), характерной для комплекса 4 («благородных» туфов). Как показано далее, это направление трещин (СВ 320°) лучше всего проявлено и в наиболее молодых отложениях района — как связанных с кальдерой вулкана Карымский, так и в лавах самого вулкана.

Смещения вдоль трещин (вертикальные и горизонтальные) для данного района нехарактерны. Горизонтальные смещения (сдвиги) не выявлены, а вертикальные (сбросы) отмечены только в двух случаях: в точке наблюдения 69, в агломератовых пемзовых туфах вдоль зоны с простиранием 330° шириной 18 см отмечен сброс северо-восточного крыла с амплитудой 60 см; в точке наблюдения 90 вдоль тонкой широтной трещины отмечен сброс к северу с амплитудой 20 см. Малоамплитудные сбросы к северу отмечались и вдоль некоторых других трещин в этой точке наблюдения.

Анализ трещиноватости по возрастным комплексам. Рассмотрим, как изменяется простирание трещин по выделенным выше пяти возрастным комплексам (рис. 10) Начнем с наиболее молодых отложений (комплекс 5). В этих отложениях измерено 36 трещин. Наиболее распространены трещины с простиранием СЗ 330°. Отчетливо, хотя их меньше количественно, проявлены трещины с простиранием ССВ 10—20°.

В «благородных» туфах (комплекс 4) замерено 319 трещин. Доминируют

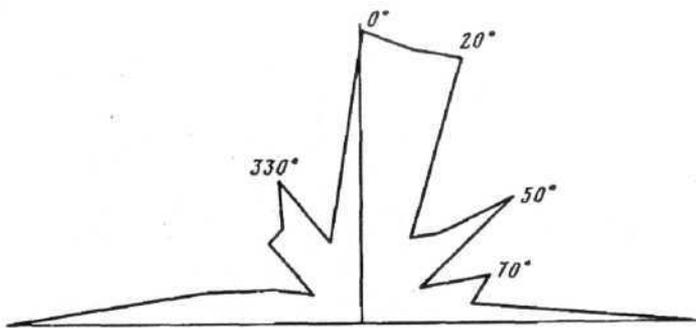


Рис. 6. Общая диаграмма простирания трещин, изученных в районе Карымской сейсмоактивной области (1374 трещины)

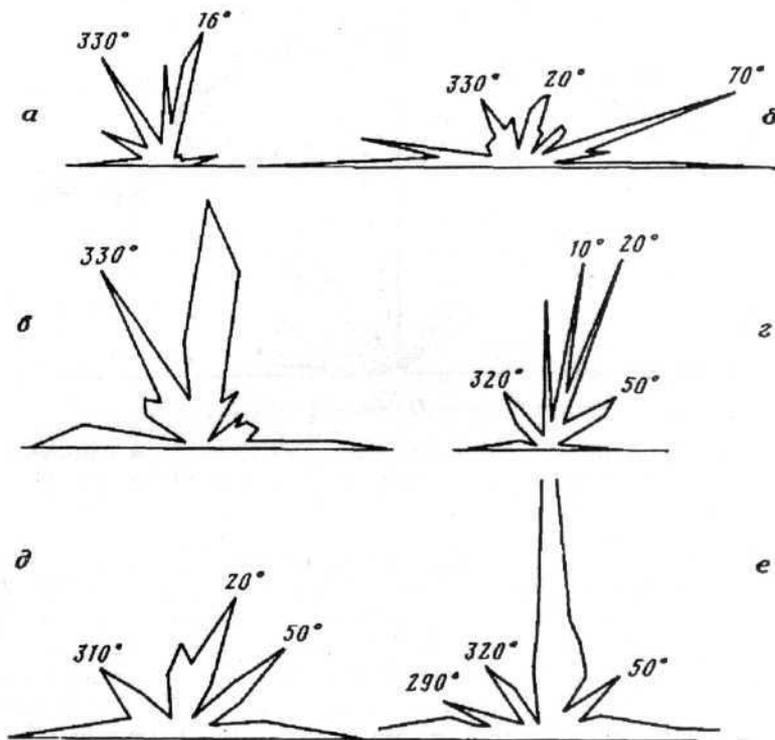


Рис. 7. Розы-диаграммы трещиноватости различных участков Карымского полигона: а — район второго и третьего водопадов (53 замера); б — западная часть Ключевой долины (244 замера); в — истоки р. Карымской (278 замеров); г — район четвертого и пятого водопадов (185 замеров); д — окрестности Карымского озера (140 замеров); е — борта Карымской кальдеры (280 замеров)

трещины с простиранием СВ 40—50°, а также широтные с простиранием 270°. Выделяются также рои трещин с простиранием ССВ 20° и СЗ 310—320°. В лавах вулканов Пра-Карымский и Двор (комплекс 3) замерено 315 трещин. Здесь явно преобладают широтные и меридиональные трещины, все остальные имеют подчиненное значение (рис. 10, III). Это связано, по-видимому, с тем, что замеры проводились по бортам кальдеры Карымского вулкана, просадка которой произошла по древним ослабленным зонам широтного и меридионального направлений.

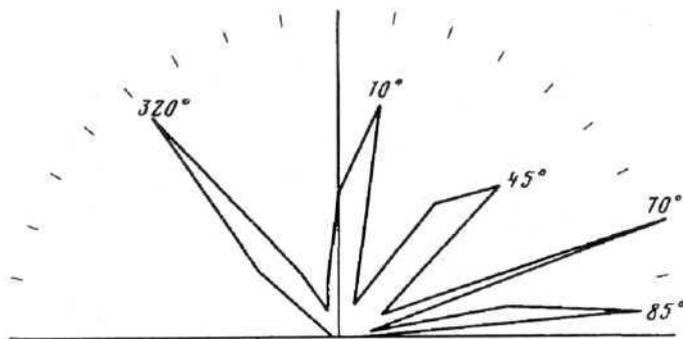


Рис. 8. Общая диаграмма раскрытости трещин (75 замеров)

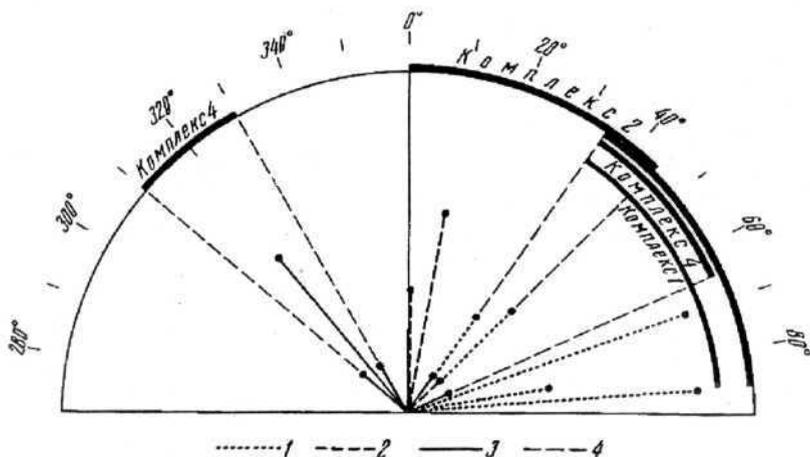


Рис. 9. Диаграмма раскрытости трещин по возрастным комплексам: 1 — комплекс 1; 2 — комплекс 2; 3 — комплекс 4; 4 — границы комплексов

В игнимбритах, связанных с кальдерами Стена-Соболиного и Половинки (комплекс 2), явно преобладают трещины с простиранием ССВ 10—20° и меридиональные. Отчетливо выделяются также рои трещин с простиранием СВ 40—50° и СЗ 310—320°. Остальные направления выражены слабее.

В «диких» туфах (комплекс 1) наиболее широко распространены широтные (270—280°), меридиональные и субмеридиональные (ССВ 10—20°) трещины, а также трещины с простиранием ВСВ 70° и СЗ 330°. Здесь измерено 443 трещины.

В целом, анализируя распространение трещин по комплексам, можно отметить, что наиболее распространены трещины с простиранием ССВ 10—20°. Это связано с очень большой ролью разломов северо-северо-восточного простирания на Восточной Камчатке. В разных местах вулканического пояса они изучены достаточно хорошо. Формирование этого роя трещин и разломов произошло в верхнем плейстоцене и совпало по времени с формированием крупнейших кальдер Восточной Камчатки. На рис. 10, V видно, что активность трещин этого направления сохраняется и в голоцене.

Трещины северо-восточного (СВ 50°) и северо-западного (СЗ 310—330°) простираний также встречаются во всех комплексах. Можно отметить несколько неожиданное большое распространение трещин с простиранием 330° в наиболее молодых отложениях района. Если сопоставить эти данные с диаграммой раскрытости трещин, где отмечено, что трещины с простиранием СЗ 330° являются наиболее молодыми, а также с общей вытянутостью в этом же направлении

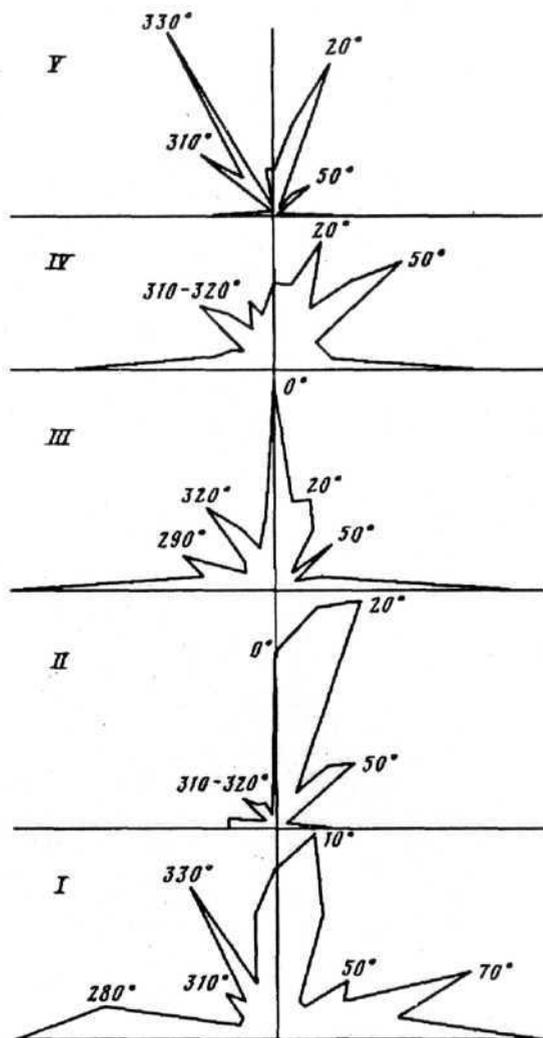


Рис. 10. Диаграмма простираний трещин по возрастным комплексам I—V (см. текст): I — 443; II — 248; III — 315; IV — 319; V — 36 замеров

кальдеры Карымского вулкана, то можно сделать вывод, что это направление играет важную, если не основную роль на новейшем этапе развития поверхностной структуры района.

Роль трещин широтного и меридионального простираний наибольшая в древних комплексах и ослабевает в более молодых. Как уже отмечено, они играют важную роль в формировании границ кальдер, т. е. движения по ним были активизированы на отдельных участках, хотя в целом эти разломы, по-видимому, представляют собой одни из наиболее древних. То же относится к трещинам с простиранием ВСВ 70°. Они проявлены только в «диких» туфах, которые, как можно считать, являются наиболее древними отложениями в районе. Во всех других комплексах трещины этого направления почти отсутствуют. Этот факт очень важен, так как позволяет однозначно говорить о наиболее древнем возрасте «диких» туфов и об особой роли трещин с простиранием ВСВ 70°, которые в более позднее время уже не формировались.

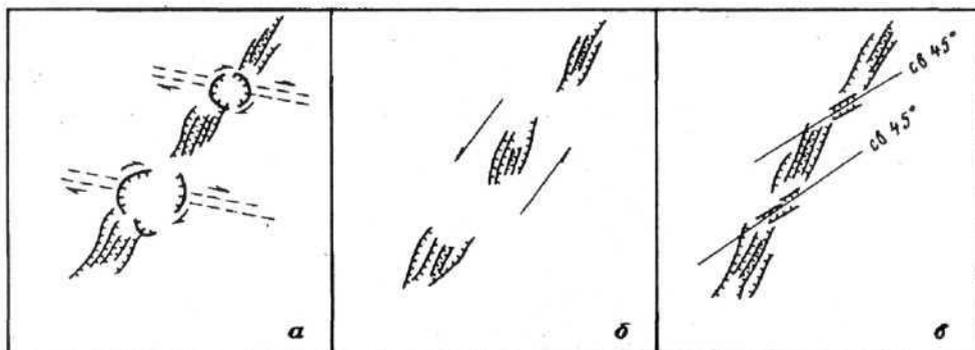


Рис. 11. Динамическая интерпретация разломов Карымского вулканического центра в представлении разных авторов (см. текст): а — [13]; б — [22]; в — [10]

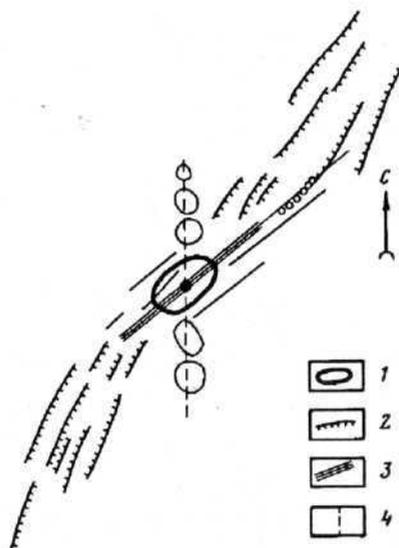


Рис. 12. Схема структурной локализации Карымской сейсмоактивной области: 1 — Карымская сейсмоактивная область; 2 — сеть новейших разрывных нарушений; 3 — активизированный участок древнего разлома; 4 — глубинный меридиональный разлом, контролирующий расположение в районе верхнеплейстоценовых вулканов

Обсуждение результатов

Проведенное изучение тектонической трещиноватости позволяет существенно уточнить некоторые имеющиеся представления о разломах района и об их значимости и динамической интерпретации. В настоящее время можно выделить три основные точки зрения.

Первая точка зрения наиболее ясно сформулирована Ю. П. Масуренковым [13], который особую роль отвел пересечению продольной сети разломов северо-северо-восточного простирания и поперечных запад-северо-западных разломов (рис. 11, а). Последние имеют характер правосторонних горизонтальных сдвигов. Подобных представлений придерживается также А. И. Кожурин [7], который допускает, что вдоль широтных разломов здесь происходит не только правосторонний сдвиг, но и некоторый разворот продольной зоны растяжений (по часовой

стрелке). Центры вращения при этом приурочены к позднплейстоценовым кальдерам.

Другой точки зрения придерживаются И. В. Флоренский и В. Г. Трифонов [22]. Выделяя ту же продольную зону растяжения северо-северо-восточного простирания и отмечая, что зоны разломов в ней расположены кулисообразными сегментами, они предположили наличие левосдвиговой компоненты движения вдоль оси зоны. Поперечные разломы и правосторонние горизонтальные сдвиги по ним эти исследователи в отличие от названных выше не отмечали (рис. 11, б).

Третья точка зрения высказана В. Л. Леоновым [10], который особую роль отвел относительно древним разломам северо-восточного простирания (СВ 40—50°). На определенных отрезках Восточно-Камчатского вулканического пояса новейшие разрывные нарушения северо-северо-восточного простирания (ССВ 20—30°) как бы приспосабливаются к более древним разломам северо-восточного простирания и активизируют их. Это создает кулисообразность в расположении новейших разрывных нарушений (рис. 11, б).

Результаты изучения тектонической трещиноватости, изложенные выше, показывают, что горизонтальные подвижки ни по трещинам субширотного простирания, ни по трещинам северо-восточного или северо-северо-восточного простирания не наблюдаются. Большинство трещин раскрыто, заполнено песчано-глинистым или туфовым материалом, по некоторым из них установлены смещения сбросового типа. Все это свидетельствует об обстановке растяжения, в которой находятся верхние этажи земной коры в рассматриваемом районе. Соответственно это не позволяет согласиться ни с первой, ни со второй точками зрения, изложенными выше. Нельзя также согласиться с точкой зрения Ю. П. Масуренкова [13], что разломы меридионального направления на территории Карымского центра редки и их роль в структурообразовании ничтожна. На общей диаграмме простираний трещин (рис. 6) ясно видно, что рой меридиональных и субмеридиональных трещин выражен наиболее отчетливо и они не то что «редки», а преобладают по количеству над трещинами иных направлений.

Проанализируем третью из изложенных выше точек зрения. На диаграмме раскрытости трещин по возрастным комплексам (рис. 9) видно, что единственное направление, в котором трещины были открыты на всех этапах развития района, — северо-восточное (СВ 35—45°). Открытость трещин свидетельствует об их активности и о том, что они находились в геодинамических условиях, благоприятных для внедрения магмы. Это полностью согласуется с третьей приведенной выше точкой зрения и указывает на постоянную активизацию трещин и разломов северо-восточного простирания в данном районе.

На основе изложенного выше можно предположить, что структурные условия, определяющие позицию Карымской сейсмоактивной области, таковы, как показано на рис. 12. Эта часть сейсмоактивной области локализуется в узле пересечения относительно древнего разлома северо-восточного простирания, активизировавшегося в позднем плейстоцене при заложении новейшей сети разрывных нарушений северо-северо-восточного простирания, и древнего меридионального разлома, контролирующего расположение вулканов Однобокий, Академия наук, Карымский, Соболиный (условно показанных кружками).

На рис. 2 видно, что с глубиной сейсмоактивная область расширяется и смещается к югу. Геологические данные свидетельствуют, что в этом же направлении (с севера на юг) более молодые вулканы сменяются более древними: современный Карымский вулкан — вулканом Академии наук, далее — Однобоким, еще далее — древней кальдерой Половинка. Глубокие корневые части этих вулканов, приуроченных к единому крупному меридиональному разлому, по-видимому, связаны между собой. Каждый новый вулкан, возникая на периферии и обычно севернее предыдущего, частично наследовал его магмоподводящую систему. Рассмотренные выше особенности строения и напряженного состояния Карымской сейсмоактивной области хорошо согласуются с геологическими данными и свидетельствуют о достаточно сложной питающей магматической системе

Карымского вулкана. С глубиной она, по-видимому, постепенно смещается к югу и разворачивается, приобретая в районе вулканов Крайний, Белянкина, Половинка северо-западное направление.

Выводы. 1. Коровая сейсмичность в пределах Карымской кольцевой структуры, по данным за 1962—1992 гг., сосредоточена в ее центре на глубинах от 0 до 20 км и пространственно обособлена от зоны Беньюфа. Геометрический центр области расположен примерно в районе оз. Карымского. Размеры области в плане не более 20x30 км. В южной части области события имеют в среднем большую глубину, чем в северной части. Следует отметить, что размеры области несколько преувеличены вследствие рассеяния определений очагов из-за случайных ошибок.

2. Северная часть сейсмоактивной области расположена в обстановке деформаций растяжения и в ней находится центр растяжения, а южная, наоборот,— в обстановке слабого сжатия.

3. Локальная система напряжений на глубинах до 10 км такова, что наиболее благоприятными условиями для открытия и транспортировки магмы обладают трещины азимутов 10—50° в районе Карымской кальдеры и оз. Карымского и трещины с азимутами от 310 до 350° в районе вулканов Крайний, Белянкина, Половинка.

4. Изучение тектонических трещин в районе Карымской кальдеры и оз. Карымского показало, что район находится со времени среднего плейстоцена (?) в обстановке растяжения. Горизонтальные подвижки на изученной территории не выявлены. Отмечена особая роль трещин северо-восточного простирания (СВ 40—50°), которые активизируются на всех этапах развития района.

5. Структурные условия позиции сейсмоактивной области определяются узлом пересечения разломов меридиональных и северо-восточного простираний. Последние определяют общую вытянутость области в северо-восточном направлении.

6. Особенности строения Карымской сейсмоактивной области хорошо согласуются с геологическими данными и позволяют предполагать, что с глубиной питающая магматическая система вулкана Карымский смещается к югу и разворачивается, вытягиваясь вдоль северо-западного направления.

Авторы выражают благодарность С. А. Федотову, М. А. Магуськину и В. А. Широкову за полезные обсуждения, С. М. Фазлуллину за помощь в проведении полевых работ, Н. И. Реутовой за подготовку рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андиева Т. А, Супруненко О. И. Разломная тектоника Камчатки и сопредельных территорий//Тр. ВНИГРИ. Вып. 367. Строение, история развития и проблемы нефтегазоносности акваторий. Л., 1975. С. 100—114.
2. Гусев Н. А Тектоническое строение центральной части Восточного вулканического пояса Камчатки по данным дешифрирования радиолокационных аэроснимков//Общая и региональная геология, геологическое картирование: Экспресс-информ. ВИЭМС, 1973. С. 23—27.
3. Ермаков В. А, Малиновский Е. Е., Таракановский А А Значение рифтогенеза в формировании четвертичных вулканических зон Камчатки//Вестн. МГУ. Сер. геол. 1974. № 3. С. 3—20.
4. Зобин В. М., Фирстов Л. П., Иванова Е. И. Рой землетрясений в районе вулкана Карымский в январе-феврале 1978 г. //Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С. 64—73.
5. Зубин М. И., Иванов Б. В., Штейнберг Г. С. и др. Глубинное строение Карымского вулкана на Камчатке и некоторые вопросы кальдерообразования//Геология и геофизика. 1971. № 1. С. 73—81.

6. *Иванов Б. В.* Извержение Карымского вулкана в 1962—1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 135 с.
7. *Кожурин А. И.* Позднечетвертичная тектоника Центральной Камчатки: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1988. 20 с.
8. *Леглер В. А.* Новейшие разломы и горизонтальные тектонические движения Восточной Камчатки: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Хабаровск, 1978. 24 с.
9. *Леонов В. Л.* Разрывные нарушения района Узонско-Гейзерной депрессии//Вулкано-логия и сейсмология. 1982. № 4. С. 78—83.
10. *Леонов В. Л.* Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
11. *Магуськин М. А., Энман В. Б., Селезнев Б. В. и др.* Особенности смещения земной поверхности на вулкане Карымском по геодезическим и фотограмметрическим данным за период 1970—1981 гг.//Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 49—64.
12. *Магуськин М. А., Шароглазова Г. А.* Деформации земной поверхности Карымского вулканического центра//Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С. 90—110.
13. *Масуренков Ю. П.* Динамика структурообразования//Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука, 1980. С. 254—275.
14. *Масуренков Ю. П., Комкова Л. А.* Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре. М.: Наука, 1978. 288 с.
15. *Святловский А. Е.* Региональная вулканология. М.: Недра, 1975. 224 с.
16. *Супруненко О. И., Декин Г. П.* Об особенностях гравитационного поля Южной Камчатки//Докл. АН СССР. 1968. Т. 181. № 4. С. 956—959.
17. *Токарев П. И.* Извержения и сейсмический режим Карымского вулкана в 1965—1986 гг.//Вулканология и сейсмология. 1989. №2. С. 3—13.
18. *Токарев П. И., Фирстов П. П.* Сейсмологические исследования вулкана Карымско-го//Бюл. вулканол. станций. 1967. № 43. С. 9—22.
19. *Фарберов А. И., Сторчеус А. В., Прибылое Е. С.* Исследования слабой сейсмичности вулкана Карымский в августе 1978 г.//Вулканология и сейсмология. 1983. № 3. С. 78—89.
20. *Фирстов П. П., Лемзиков В. К., Руленко О. Л.* Сейсмический режим вулкана Карымского (1970—1973 гг.)//Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 161—179.
21. *Фирстов П. П., Лемзиков В. К., Феофилактов В. Д.* Сейсмический режим вулкана Карымского в 1975 г. и некоторые вопросы прогноза времени терминальных извержений//Бюл. вулканол. станций. 1978. № 54. С. 27—34.
22. *Флоренский И. В., Трифонов В. Г.* Новейшая тектоника и вулканизм Восточной вулканической зоны Камчатки//Геотектоника. 1985. № 4. С. 78—87.
23. *Хренов А. П., Дубик Ю. М., Иванов Б. В. и др.* Эруптивная деятельность вулкана Карымский за 10 лет (1970—1980 гг.)//Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 29—48.
24. *Шанцер А. Е.* Некоторые особенности эволюции тектономагматических структур Камчатки в зависимости от ее блокового строения и движения блоков в позднем кайнозое//Бюл. вулканол. станций. М.: Наука, 1979. № 57. С. 53—65.
25. *Шилин Н. Л., Сапожникова Е. Н., Оточкин В. В. и др.* Широтные сквозные зоны нарушений Центральной и Южной Камчатки//Изв. АН СССР. Сер. геол. 1979. № 5. С. 109—120.
26. *Широков В. А., Иванов В. В., Степанов В. В.* О глубинном строении вулкана Карымский и особенностях его сейсмичности по данным локальной сети//Вулкано-логия и сейсмология. 1988. № 3. С. 71—80.

27. Штейнберг Г. С., Ривош Л. А., Чирков А. Л. Магнитная съемка в районе Авачинской группы вулканов на Камчатке//Геология и геофизика. 1962. № 2. С. 101—109.
28. Эрлих Э. Н. Структурная приуроченность Узонско-Гейзерного геотермального района//Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 5—10.
29. Barker S. E., Malone S. D. Magmatic system geometry at Mount St. Helens modeled from the stress field associated with post-eruptive earthquakes//J. Geophys. Res. 1991. V. 96. № B7. P. 11883—11894.
30. Okada Hm., Watanabe H., Yamashita H., Yokoyama I. Seismological significance of the 1977—1978 eruptions and the magma intrusion process of Usu volcano, Hokkaido//J. Volcanol. Geotherm. Res. 1981. № 9. P. 311—344.
31. Yokoyama I., Yamashita H., Watanabe H., Okada Hm. Geophysical characteristics of dacite volcanism — the 1977—1978 eruption of Usu volcano//J. Volcanol. Geotherm. Res. 1981. № 9. P. 335—358.

Институт вулканологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
1.06.1993