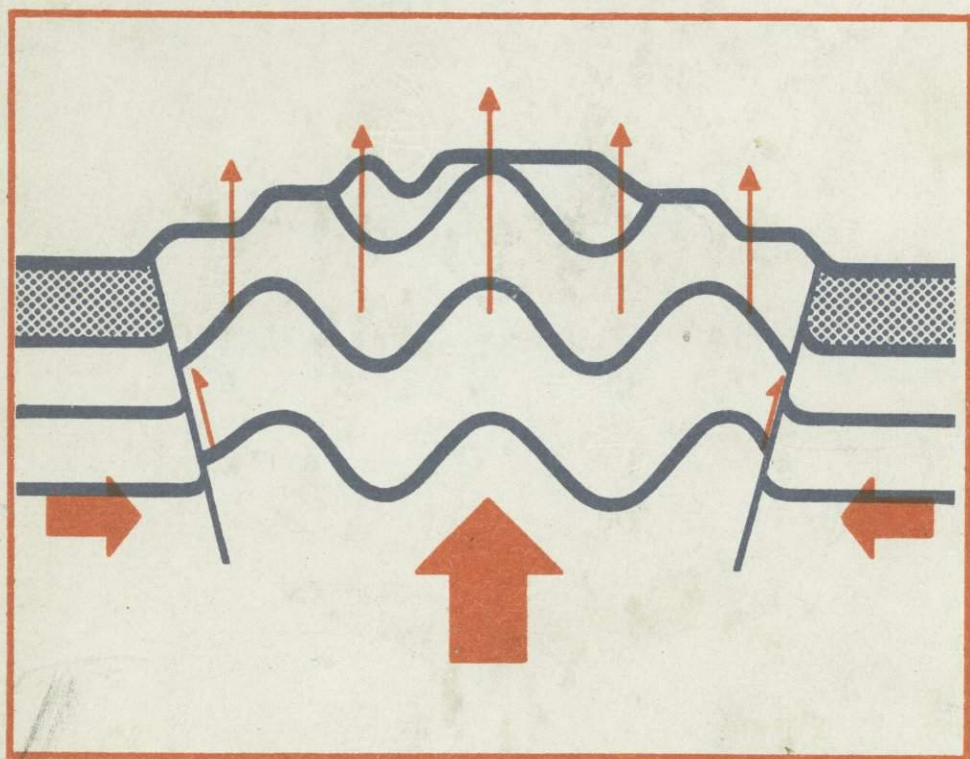


Г.П. Горшков

# РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМОТЕКТОНИКА ТЕРРИТОРИИ ЮГА СССР

*Альпийский пояс*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СЕЙСМОЛОГИИ  
И СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

Г.П. Горшков

РЕГИОНАЛЬНАЯ  
СЕЙСМОТЕКТОНИКА  
ТЕРРИТОРИИ  
ЮГА СССР

*Альпийский пояс*

Ответственный редактор член-корреспондент  
АН СССР П.Н. КРОПОТКИН



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"  
Москва 1984



Горшков Г.П. Региональная сейсмоструктура территории юга СССР: Альпийский пояс. — М.: Наука, 1984.

В книге даны описания землетрясений, указаны их частота, распространение, рассмотрены сейсмичность и сейсмоструктура зоны Альпийского пояса юга СССР. Каждая глава включает краткий исторический очерк исследований по сейсмичности с оценкой и критическим анализом основных работ. Рассмотрены геологические условия возникновения землетрясений, геофизические поля, строение земной коры, тектоническое и сейсмическое районирование.

Для специалистов в области сейсмологии, тектоники, динамической геологии.

Рецензенты:

Е.Е.МИЛАНОВСКИЙ, Ю.К.ЩУКИН, Г.Д.АЖГИРЕЙ

Георгий Петрович Горшков

РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙМОТЕКТОНИКА ТЕРРИТОРИИ ЮГА СССР  
(Альпийский пояс)

*Утверждено к печати  
Межведомственным советом по сейсмологии  
и сейсмостойкому строительству*

Редактор *Н.Л. Казюкова*

Художник *А.А. Куценко*. Художественный редактор *Н.Н. Власик*  
Технический редактор *М.К. Серегина*. Корректор *Л.А. Агеева*

Набор выполнен в издательстве на наборно-печатающих автоматах

ИБ № 27901

Подписано к печати 05.09.84. Т-18706. Формат 70 x 100 1/16  
Бумага для глубокой печати. Гарнитура Универс. Печать офсетная  
Усл.печ.л. 22,1 + 1,3 вкл. Усл.кр.-отт. 23,6. Уч.-изд.л. 31,1  
Тираж 850 экз. Тип. зак. 1752. Цена 4 р. 80 к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90  
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"  
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

Планета Земля находится под совокупным воздействием эндогенных и экзогенных (включая космические) факторов. О роли последних пока трудно судить, но в итоге они могут оказаться весьма существенными; сама форма земного шара — следствие космических воздействий (аккреция, гравитация, ротация).

Недавно было показано, что современная мощность внутриатомных процессов (для земного шара в целом) оценивается в  $(1,4 \div 3,9) \cdot 10^{28}$  эрг/год, гравитационной дифференциации —  $0,6 \cdot 10^{28}$  эрг/год, вращения Земли вокруг своей оси —  $0,16 \cdot 10^{28}$  эрг/год. Таковы "первичные источники энергии"; из них на тектонические процессы расходуется около  $1,0 \cdot 10^{27}$  эрг/год, на сейсмические —  $1,0 \cdot 10^{26}$  эрг/год [19, с. 9].

При рассмотрении некоторых проблем региональной сейсмологии в данной книге принимается как факт наличие значительных по масштабу и возможностям внутренних источников энергии, наличие реальных полей тектонических напряжений в коре и мантии. Автор видит свою, сравнительно узкую, задачу в том, чтобы уяснить конкретные условия расходования этой энергии на сейсмические процессы, т.е. попытаться выявить геологическую обстановку возникновения землетрясений.

Одним из путей исследования может служить непосредственное сопоставление сейсмических явлений со строением земной коры и, по возможности, верхней мантии с тектоникой, новейшими и современными движениями, с гравитационным и другими геофизическими полями.

Основой любого исследования из области региональной сейсмологии служат, естественно, каталоги землетрясений. Первым по времени каталогом землетрясений всей территории страны (с близлежащими смежными областями) явился "Каталог землетрясений Российской империи" И.В.Мушкетова и А.П.Орлова 1893 г. [27]. Каталог содержит сведения об ощущавшихся землетрясениях с 596 г. до н.э. до 1887 г. общим числом около 2400. Список сопровождается общим обзором землетрясений, а также картой распределения сильнейших толчков.

Следующим изданием такого рода явился "Атлас землетрясений в СССР", изданный Советом по сейсмологии Академии наук СССР под редакцией Е.Ф.Саваренского, С.Л.Соловьева и Д.А.Харина в 1962 г. [4]. Атлас охватывает период функционирования сети сейсмических станций (1911—1957 гг.) и содержит, кроме обычных данных, даты, координаты эпицентра (от греч. *επι* — на, у, при), интенсивность для многих землетрясений, сведения о магнитуде и в ряде случаев (далеко не во всех) о глубине залегания очага. Атлас сопровождается картами эпицентров для всех сейсмоактивных регионов СССР и большим списком литературы.

Последний по времени опубликования (1977 г.) "Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г." под редакцией Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина [31] стал выдающимся событием в истории нашей науки. В составлении каталога участвовали ученые Института физики Земли АН СССР, академий наук союзных республик, Сибирского и Дальневосточного отделений АН СССР. Для каждого землетрясения даются дата и время (по Гринвичу), координаты эпицентра ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), глубина очага  $h$ , магнитуда  $M$ , интенсивность в эпицентре  $I_0$ . Каталог содержит большую вступительную часть методического характера, эпицентральные карты для всех регионов и обширные библиографические списки.

При рассмотрении сейсмических материалов по регионам автор пользовался в основном именно каталогом [31].

Следует уточнить два вопроса. Во-первых, на какие землетрясения (т.е. какой магнитуды и интенсивности) целесообразнее опираться при анализе конкретных особенностей каждого региона? За время с 1800 г. достаточно представительными могут, по-видимому, считаться землетрясения с  $M \geq 5$ ,  $I_0 \geq 7$  баллов, хотя для некоторых регионов кар-

тина оказывается иной: в Крыму необходимо учитывать толчки с  $M \geq 4$ , на Дальнем Востоке достаточно в первом приближении ограничиться землетрясениями с  $M \geq 6$ . Для начала XIX в. этот критерий (значения  $M$  и  $I_0$ ), вероятно, не всегда удовлетворяется, можно пропустить важные события. Рискую несколько недооценить сейсмические возможности некоторых регионов, автор все же остановился в целях определенности именно на таком отборе статистического материала:  $M \geq 5$ ,  $I_0 \geq 7$  баллов.

Вторая проблема заключается в том, как учитывать факт заметного разброса возможных значений  $M$ ,  $h$  и других параметров для каждого землетрясения? Большой заслугой каталога [31] служит та его особенность, что для каждого случая здесь даются сведения о величине возможной ошибки в значениях  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ,  $M$ ,  $I_0$ . Но, имея в виду наши чисто геологические цели и большое число зарегистрированных сейсмических событий, я посчитал возможным остановиться на средних значениях  $M$  и  $h$  и ограничиться десятиными градуса (не сотыми!) для  $\varphi$  и  $\lambda$ . Возможно, подобный прием выглядит слишком формальным и даже не вполне правомерным, но при массовом анализе величина погрешностей будет падать, тем более, что в некоторых случаях вообще приходится пересматривать эти значения.

Для периода с 1975 по 1979 г. использовались данные ежегодных сборников Института физики Земли АН СССР [16] за 1979–1982 гг., а для периода с 1978 по 1980 г. — данные Н.В.Кондорской 1981 г. (ИФЗ АН СССР). Во многих регионах систематически публикуются ежедекадные, или ежеквартальные, или ежегодные бюллетени, а также региональные каталоги локального значения; их также необходимо иметь в виду, так как здесь часто встречаются сведения важного значения.

Что касается зарубежных изданий, то в последнее время наибольшей популярностью пользуются следующие: каталог Б.Гутенберга и Ч.Рихтера для всего мира для периода с 1904 по 1954 г. [803]; двухтомная монография В.Карника для Европы за 1901–1955 гг. [807]; во II томе монографии имеются карты эпицентров землетрясений, изосейст, максимальной наблюдаемой интенсивности, освобожденной энергии для всей Европы, м-ба 1 : 7 500 000.

Недавно был подготовлен к печати каталог Н.В.Голубевой для землетрясений мира  $M \geq 6$  за 1953–1967 гг. [10]. Официальное значение имеют, естественно, издания Международного сейсмологического центра, они публиковались, начиная с 1900 г. и известны под разными названиями [795, 799, 813, 836].

Библиография по вопросам региональной сейсмологии, приведенная в данной книге, обширна по числу названий, но все же никак не является исчерпывающей, так как литература по региональной сейсмологии и смежным вопросам исключительно велика.

Данная книга состоит из двух частей: I. Общие вопросы сейсмоструктуры и II. Сейсмоструктура Альпийского пояса юга СССР. В главах 1–5 (общая часть) рассматриваются некоторые общие вопросы, касающиеся региональной сейсмологии всей территории Советского Союза. В главах 6–8 (региональных) изложение строится следующим образом: в каждой главе дается обзор исследований в области региональной сейсмологии и общий очерк сейсмичности данного региона, затем следуют материалы по тектонике и геофизике и, наконец, соображения по сейсмоструктуре; в некоторых случаях приходилось несколько отклоняться от этого плана. В данном выпуске содержатся материалы по Карпатам, Крыму, Кавказу, т.е. по Альпийскому подвижному поясу юга СССР. Материалы по другим территориям СССР, а также мира подготавливаются к печати.

Работа над книгой осуществлялась по тематическому плану геологического факультета Московского государственного университета (кафедра динамической геологии) по согласованию с Межведомственным Советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме Академии наук СССР (МССС).

## Глава 1

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

#### 1.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясение — это любое сотрясение поверхности Земли (или подземный удар), вызванное естественными причинами (преимущественно эндогенного происхождения).

Полностью асейсмичных (от греч. *σεισμος* — трясение, обычно землетрясение) участков на территории СССР, строго говоря, нет. Землетрясения бывают всюду: в некоторых местах — частые и сильные, в других — слабые и редкие. Пример разрушительного землетрясения приведен на рис. 1.1. Частота и интенсивность колебаний в совокупности представляют основной показатель так называемого сейсмического режима. Диапазон колебаний количественных значений основных показателей сейсмического режима очень велик.

К сейсмическим регионам на территории СССР относятся: Карпаты, Крым (Южный берег Крыма), Кавказ (Большой и Малый), Туркмения (южная часть — Копетдаг и Большой Балхан), Средняя Азия (восточная часть — Памир и Тянь-Шань), южные районы Сибири (от Тарбагатая до Восточного Саяна), Прибайкалье, Верхоянский хребет и хребет Черского; на Дальнем Востоке — Сахалин, Камчатка, Курильские острова; в меньшей степени — Приморье, побережье Охотского моря, Чукотка, устье Лены. Редкие и слабые колебания иногда ощущаются на Урале, на Балтийском щите, на территории Восточно-Европейской платформы, в Арктике.

В геологическом отношении, как показано ниже, высокой сейсмической активностью отличаются эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста, затем эпиплатформенные орогены, созданные в результате проявления процессов четвертичной активизации; современные рифты, как платформенные, так и океанические; зоны Заварицкого—Беньофа. Более слабой сейсмической деятельностью характеризуются области мезозойской складчатости, сохраняющие известную постумную активность. Совсем слабой сейсмичностью отличаются древние платформы и глубоководные участки океанического дна.

В задачу сейсмо тектоники входит установление геолого-геофизической обстановки возникновения очагов землетрясений, на основании чего решается проблема общего сейсмического районирования.

#### 1.2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ( $E, M, K, N_m$ )

*Энергия землетрясений  $E$ .* При каждом землетрясении в его очаге выделяется накопленная ранее эндогенная энергия (от греч. *ενεργεια* — деятельность, энергия), которая в форме упругих сейсмических волн распространяется во все стороны от очага по телу Земли, что нередко при сильных землетрясениях приводит к образованию разнообразных остаточных деформаций в рельефе.

Что понимать под термином "энергия"?

Наиболее ясно выразился по этому поводу Р.Фейнман: "Физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия" [62, с. 73]. Вероятно, это так. Энергия существует, она может переходить из одной формы в другую, из одного тела в другое, ее можно измерить, рассчитать, но что это такое по сути своей — неизвестно. То же самое, но в более туманных формулировках констатирует Энциклопедический словарь 1955 г., т. 6: энергия — это "мера физических видов движения материи" (с. 691).

Энергия кинетическая, т.е. энергия механического движения тела, измеряется произведением массы движущегося тела на половину квадрата скорости. Полная механическая



Ри с. 1.1. Землетрясение в Лиссабоне 1 ноября 1755 г. (по журналу "Курьер Юнеско", 1976 г.; № 7)

кая энергия  $E$ , т.е. работа  $A$ , равна силе  $F$ , действующей на тело в направлении его перемещения на некотором пути  $S$ , т.е.  $A = FS$  [63, с. 44, 17, 57].

Способы оценки полной энергии отдельного землетрясения, т.е. того блока, внезапное смещение которого и столь же внезапная остановка и приводят к подземному удару, притом оценки в абсолютных единицах, представляют весьма трудную задачу сейсмологии. В свое время Б.Б. Голицын предложил формулу

$$I = 2 \pi^2 C (a^2 / T^2), \quad (1)$$

где  $I$  — энергия;  $a$  — истинная амплитуда горизонтального смещения точки земной поверхности;  $T$  — период колебаний,  $C$  — некоторый множитель пропорциональности [9, с. 24].

Известны и другие, более поздние, предложения. В частности, Ч. Рихтер [819] ввел в обиход понятие о магнитуде  $M$  и эмпирическим путем связал его с энергией  $E$ , которую оказалось нетрудно вычислять с помощью  $M$ . Интересная статья на эту тему принадлежит С.Л. Соловьеву [50].

*Магнитуда  $M$*  (от англ. magnitude — величина) — некоторая безразмерная величина, пропорциональная энергии землетрясения и тем самым выражающая в условных цифрах величину землетрясения. Магнитуда есть логарифм отношения максимальной амплитуды  $A$  колебаний почвы, вызванных в пункте наблюдения каким-либо землетрясением, расположенным на расстоянии  $\Delta$  от пункта наблюдения, к амплитуде  $A^*$  колебаний, вызванных некоторым слабым "эталонным" землетрясением (при  $\Delta = 100$  км); при  $\Delta$ , отличным от  $\Delta^*$ , в вычисление вводятся соответствующие поправки. Другими словами, "магнитуда землетрясения есть десятичный логарифм максимальной амплитуды (измеряемой в микронах), записанной на сейсмограмме стандартным короткопериодным сейсмографом (собственный период 0,8 с, статическое увеличение 2800, коэффициент затухания 0,8) ... на расстоянии 100 км от эпицентра" [5, с. 347]:

$$M = A/A^*. \quad (2)$$

Используя это понятие, Ч. Рихтер предложил эмпирическую формулу

$$\lg E = a + bM, \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  — некоторые численные более или менее постоянные коэффициенты, приблизительно равные соответственно 4 и 1,6;  $E$  — в Дж.

К сожалению, последнее выражение далеко от совершенства. Имеется более полусотни вариантов численных значений коэффициентов  $a$  и  $b$  [20, 52, 63 и др.]; и различия в величине  $E$ , зависящей от выбора этих коэффициентов, достигают нескольких порядков.

Впрочем, и определение самой величины  $M$  тоже встречается с известными трудностями. Значения  $M$ , найденные по продольным волнам  $P$ , по поперечным  $S$ , по поверхностным  $L$  и другими способами, не совпадают между собой, не учитывают суммарной энергии землетрясения, и приходится каждый раз оговаривать, о чем идет речь в каждом конкретном случае. Совещание, проведенное по этому поводу в Москве Межведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству АН СССР (апрель 1972 г.), показало эти сложности [20].

Тем не менее магнитуда  $M$  остается до сих пор наиболее объективным показателем сравнительной величины землетрясений и используется повсеместно.

Максимального значения (около 8,7)  $M$  достигает в очень редких случаях, только при землетрясениях катастрофического характера. При "обычных" сильных землетрясениях  $M$  оценивается обычно цифрами от 6 до 7; при более "слабых" —  $M < 5$ . Приведу несколько примеров:

Год	Район	Магнитуда $M$
1755	Лиссабон (Португалия)	8,75
1960	Ассам (Индия)	8,7
1957	Монголия	8,6
1911	Кемин (Средняя Азия)	8,2
1923	Токио (Япония)	8,2
1908	Мессина (Италия)	7,5
1911	Сарез (Средняя Азия)	7,4
1948	Ашхабад (Туркмения)	7,3
1927	Крым (Украина)	6,8
1970	Дагестан (Кавказ)	6,6
1902	Шемаха (Кавказ)	6,3
1966	Ташкент (Средняя Азия)	5,3

В соответствии с выражением (3) строят расчеты значений  $E$ . При сильнейших землетрясениях энергия достигает значений порядка  $10^{2.5}$  эрг ( $10^{18}$  Дж). В более обычных случаях, при  $5 \leq M \leq 6$ ,  $E$  оценивается в  $10^{12} - 10^{13}$  Дж.

На рис. 1.2 (см. вкл.) приведена карта эпицентров землетрясений СССР (с некоторыми смежными зарубежными территориями) с подразделением их на три категории:  $M$  от 6 до 6,9 от 7 до 7,9 и от 8,0 и выше (по [31]).

**Энергетический класс землетрясений  $K$ .** В практике сейсмологических исследований часто используется и другая, также производная от  $M$ , величина, а именно энергетический класс землетрясения  $K$  [34, с. 53]:  $K = \lg E$ , т.е. энергетический класс есть показатель степени при численном значении  $E$ , Дж. Практически для сейсмотектонического анализа существенное значение имеют землетрясения с  $K = 10 \div 12$  и более сильные; конечно, слабые толчки тоже часто весьма выразительны и их надо использовать, но наибольшее значение все же имеют сильные толчки высших классов. Как справедливо указывала в своей диссертации 1965 г. Э.А. Джибладзе, "основная часть общей энергии, освобождающейся в очагах землетрясений (на Кавказе. — Г.Г.), приходится на сильнейшие землетрясения, хотя они происходят сравнительно редко".

**Удельная сейсмическая мощность  $N_m$ .** Сейсмический режим может характеризоваться площадным распределением эпицентров землетрясений, частотой подземных толчков, магнитудой  $M$  или энергией  $E$  в очагах, интенсивностью колебаний на поверхности Земли  $I$  и т.п. Можно подойти к оценке сейсмической деятельности также с помощью представлений о потоке сейсмической энергии (или, вернее, удельной сейсмической мощности  $N_m$ ).

В одной из своих работ П. Аманд предложил использовать понятие "удельная сейсмичность", понимая ее как "функцию выделившейся энергии в единицу времени и на единицу площади" [3, с. 519]. Мне представляется более целесообразным относить вычисления не к единице площади, а к единице объема той среды, в которой возникают землетрясения, т.е. к единице объема фокальной зоны. Тогда удельная сейсмическая мощность может быть представлена в форме

$$N_m = \sum E_i / Vt, \quad (4)$$

где  $E_i$  — энергия каждого отдельного землетрясения (в Дж или эрг),  $V$  — объем очаговой зоны,  $t$  — отрезок времени, за который имеются наблюдения. Размерность  $N_m$  — эрг/(см<sup>3</sup>·с) или Дж/м<sup>3</sup>·год. Объем  $V$  исчисляется, например, как объем цилиндра радиусом  $r$  (например,  $r = 50$  км) с основаниями у подошвы очагового слоя и у дневной поверхности. Центры основания расчетных цилиндров располагаются по ортогональной системе с расстоянием между осями цилиндров 50 км, так что цилиндры перекрывают друг друга и полученные значения относятся к пересечениям ортогональной системы линий, соединяющих центры цилиндров. Именно так в 1962 г. была составлена Г.А. Шенкаревой (в институте ВНИИГеофизика) карта  $N_m$  для всей территории СССР.

Понятие об удельной сейсмической мощности в некоторых отношениях близко к предложенному Ю.В. Ризниченко и И.Л. Нерсесовым [295] понятию о потоке сейсмической энергии ("средняя плотность потока мощности очагов землетрясений"  $W$ , в формулировке Ю.В. Ризниченко), но  $W$ , как и у П.С. Аманды, исчисляется по отношению к единице площади сейсмоопасного региона, а не к единице объема.

Аналогичное в принципе понятие "плотность энергии" (в эрг/100 км<sup>2</sup> · 50 лет) было с успехом использовано С.Л. Соловьевым, который показал, что по этому параметру можно сравнивать между собою различные сейсмоопасные регионы [50, 51]. С.Л. Соловьев пришел к таким цифрам (по [51, с. 169]) :

Зона	Плотность энергии, эрг/(100 км <sup>2</sup> · 50 лет)
Камчатка и Курильские острова	$6 \cdot 10^{20}$
Средняя Азия	$4 \cdot 10^{20}$
Карпаты	$3 \cdot 10^{20}$
Прибайкалье	$1 \cdot 10^{20}$
Копетдаг	$4 \cdot 10^{19}$
Крым	$2 \cdot 10^{19}$
Кавказ	$2,5 \cdot 10^{18}$

Следовательно, среди регионов, рассматриваемых в нашей книге, сейсмоопасные регионы по показателю  $N_m$  располагаются, по данным [51], в следующем порядке: Восточные Карпаты, Копетдаг, Крым, Кавказ. По моим расчетам, основанным на материалах [31], получаются такие цифры:

1. Восточные Карпаты (очаговая зона Вранча площадью около 3 тыс. км<sup>2</sup>):  $N_m = 250 \times 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год).
2. Больше-Балханско-Кубадагский подрегион (Туркменского сейсмотектонического региона):  $N_m = 125 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год).
3. Копетдаг-Хорасанский подрегион (Туркменского сейсмотектонического региона):  $N_m = 22 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год).
4. Крымский регион:  $N_m = 6 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год)
5. Кавказский регион:  $N_m = 2-3 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год).

Иными словами, выводы, к которым пришел С.Л. Соловьев [51], подтверждаются.

Интересно провести корреляцию между  $N_m$  (в  $10^{-12}$  эрг/см<sup>3</sup>с) и  $I_0$  (в баллах). Имеется ли какое-либо соответствие между этими параметрами? Да, фактический материал подтверждает это соответствие (во всяком случае для землетрясений с неглубокими очагами). Так, наши материалы [171], правда, относящиеся главным образом к Туркмении, позволяют в качестве самого первого приближения показать прямую зависимость  $I_0$  от  $N_m$ :

$N_m, 10^{-12}$ эрг/см <sup>3</sup> с	$I_0$ , балл
$10^1 - 10^2$	7
$10^3 - 10^4$	8
$10^5 - 10^7$	9 и более

Карта удельной сейсмической мощности представляет одну из разновидностей сейсмостатических карт (подобно картам эпицентров землетрясений или картам сейсмической активности). Она не содержит элементов прогноза или экстраполяции. Но по сравнению с картами эпицентрными она обладает тем преимуществом, что, во-первых, суммирует сейсмический эффект за весь период наблюдений и, во-вторых, позволяет перейти от точечного изображения землетрясений к площадному. Чтобы подойти к решению вопроса о теоретическом распределении  $N_m$  независимо от пробелов, обусловленных кратковременностью периода наблюдений, нужно обращаться к материалам по тектонике и геофизике, т.е. учесть условия возникновения землетрясений.

### 1.3. ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (I)

**Интенсивность колебаний** (от англ. intensity — напряженность, интенсивность, плотность, яркость) — внешние проявления колебаний Земли. Измеряется в баллах: 1 балл — слабые колебания, отмечаются лишь приборами, людьми не ощущаются; 12 баллов — сильные катастрофы, "ни одно сооружение рук человеческих не выдерживает" [71, с. 2], огромные изменения в рельефе, многочисленные жертвы; от 2 до 11 баллов — промежуточные эффекты.

Балл в физическом смысле — это комбинация ряда элементов колебательного процесса: амплитуды смещения частиц грунта  $x$ , скорости смещения  $\dot{x}$ , ускорения  $\ddot{x}$ , периода колебаний  $\tau$ , длительности процесса  $l$ . В естественных условиях встречаются различные комбинации указанных параметров, что приводит к затруднениям при оценке  $I$ .

Хаотическое движение частиц почвы при землетрясении можно лишь в первом, самом грубом приближении, считать установившимся гармоническим колебанием синусоидального типа. Если считать его таковым, тогда  $\ddot{x}$ , ускорение частицы, определяется следующим образом:

$$\ddot{x} = (4 \pi^2 / \tau^2) A \sin 2 \pi (t/\tau). \quad (5)$$

Здесь  $A$  — амплитуда смещения частиц почвы,  $\tau$  — период колебаний,  $t$  — время. Наибольшего значения (по абсолютной величине) ускорение  $\ddot{x}$  достигает при  $\sin 2 \pi (t/\tau) = 1$ , т.е.

$$\ddot{x}_{\max} = 4 \pi^2 A / \tau^2. \quad (6)$$

В реальной действительности ни  $\tau$ , ни  $A$  не сохраняются постоянными; сейсмические волны, особенно вблизи очага, не являются примером гармонического колебания. Поэтому формула (6) "почти не имеет физического смысла" [58, с. 68]. Следовало бы избрать такой метод физической интерпретации явления, при котором можно учесть все комбинации  $\dot{x}$ ,  $\tau$  и  $A$ , тем более, что динамическая характеристика поведения сооружений при землетрясении определяется в основном именно этими параметрами. В последние годы исследования на эту тему ведутся в широких масштабах [48].

При всем том, однако, в условиях ограниченного района при данном, определенном сейсмическом режиме, без особо резких вариаций в значении элементов колебательного движения, ускорение все же может служить некоторым критерием при сравнении землетрясений. Например, большинство местных землетрясений Средней Азии доносит до региональных сейсмических станций колебания с амплитудой порядка нескольких десятков микрон, при периоде около 2 с ускорения получаются порядка десятых долей миллиметра в  $s^2$ , и такие землетрясения обычно считаются (3–4)-балльными; в эпицентре же ускорения значительно больше. Таким образом, при некоторых средних значениях  $\tau$  величина ускорения  $\dot{x}$  может приниматься за единицу "силы", т.е. интенсивности землетрясения  $I$ .

**Шкала для определения интенсивности колебаний.** В ожидании разработки более тонких и строгих методов мы до настоящего времени оперируем, и без особых затруднений, понятием "балл" и шкалой сейсмической интенсивности MSK-64 [24], основанной на анализе визуальных наблюдений и статистических расчетов.

Здесь есть одна трудность, проистекающая из существования множества сейсмических шкал для определения силы землетрясения  $I$ , которые использовались в разных странах, в разные времена, разными авторами, и провести унификацию результатов не всегда просто.

По-видимому, первая по времени шкала была предложена в 1564 г. итальянцем Я. Гастальди (1500–1568), изучавшим последствия землетрясения того же года в Ницце [828]. Позже была популярна 10-балльная шкала М. Росси (1834–1898) и Ф. Фореля (1841–1912); эта шкала вошла в употребление с 1883 г. [802, 823]. С 1912 г. во многих странах использовалась 12-балльная шкала Д. Меркалли (1850–1914) — А. Канкани (1856–1904) — А. Зиберга (1894–1945) [827]. Последняя была принята в Советском Союзе, но в 1931 г. Госплан СССР утвердил иной, несколько усовершенствованный вариант этой шкалы под индексом ОСТ-ВКС-4537 [70].

В 1952 г. в ИФЗ АН СССР была подготовлена новая редакция шкалы [22], которая в своей наиболее существенной части (т.е. для 6–9 баллов) была утверждена в качестве Государственного стандарта ГОСТ-6249–52 [71] взамен предыдущего ОСТ-ВКС-4537. Материалы к корреляции сейсмических шкал (числом до 50) можно найти в [12].

В 60-х годах вновь был поднят вопрос о шкале. С.В. Медведев (1910–1977) в ИФЗ АН СССР, В. Шпонхойер (ГДР) и В. Карник (ЧССР) подготовили "международную" шкалу, обозначенную (по заглавным буквам фамилий авторов) MSK-64 [24]. Авторам этого варианта шкалы удалось привести в логическую систему все признаки, по которым определяется интенсивность землетрясений (степень повреждения зданий различных типов, характер остаточных деформаций грунта и др.). Шкалой пользоваться удобно, она обеспечивает значительную объективность оценок, и ею охотно пользуются сейсмологи; в частности, она была положена в основу ряда новейших изданий [31, 47, 304].

В 1971 г. МСССР АН СССР и ИГИС АН АрмССР провели в Ленинкане (АрмССР) всесоюзное совещание по разработке системы измерения сейсмической балльности и "научно обоснованной шкалы" для оценки интенсивности сейсмических колебаний. Разработанный совещанием уточненный вариант шкалы для 6–9 баллов 17.11.73 был одобрен Бюро МСССР и 29.01.74 — секцией сейсмостойкого строительства Научно-технического совета Госстроя СССР. Но стандарт ГОСТ 6249–52 сохранял свою силу.

В последние годы вопрос о шкале постоянно находился в поле внимания специалистов. В результате исследований, выполненных в ИФЗ АН СССР, ИГИС АН АрмССР, ЦНИИСК Госстроя СССР, опубликованы новые варианты сейсмических шкал, отражающих попытки найти оптимальные, подтвержденные теоретическими и полевыми работами и приемлемые для практического использования соотношения между услов-

ным понятием "балл" и реальными физическими параметрами: амплитудой смещения частиц, скоростью частиц, ускорением и др. [14, 28, 29, 30, 48, 55].

Особый интерес представляет вопрос о величине сейсмического ускорения  $\ddot{x}$ , поскольку именно эта величина в значительной мере определяет собой масштаб повреждений, а следовательно, и характер антисейсмических мероприятий при сооружении зданий. Попыток корреляции  $I$  и  $\ddot{x}$  известно немало. В качестве примера приведу небольшую таблицу (табл. 1.1):

Таблица 1.1  
Величина  $\ddot{x}$  (в  $\text{см}/\text{с}^2$ ) при различных значениях  $I$  (в баллах)

Источ- ник	$I$			Источ- ник	$I$		
	7	8	9		7	8	9
[33]	10–25	25–50	50–100	[14]	60–120	120–240	240–480
[24, 272]	100	200	400	[48]	61–120	121–240	241–480

Имеются и другие предложения. Окончательного решения вопрос об ускорениях пока не имеет.

В данной книге во всех случаях используется шкала MSK-64. Краткий вариант сейсмической шкалы приведен ниже (по [72, с. 130]).

Официальный текст шкалы, принятой в СССР под индексом ГОСТ 6249–52, приведен в [71]. Текст шкалы MSK-64 можно найти в [24].

Балл	Краткая характеристика землетрясений
1	Колебания почвы отмечаются приборами
2	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	Колебания отмечаются немногими людьми
4	Землетрясение отмечается многими людьми; возможны колебания окон, дверей
5	Качание висячих предметов, скрип полов, дребезжание стекол, осыпание побелки
6	Легкие повреждения в некоторых зданиях: тонкие трещины в штукатурке, трещины в печах и др.
7	Значительные повреждения в некоторых зданиях: трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах, повреждение дымовых труб
8	Разрушение в некоторых зданиях: большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб.
9	Обвалы в некоторых зданиях, обрушение стен, перекрытий, кровли
10	Обвалы во многих зданиях; трещины в грунтах шириной около метра
11	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах
12	Изменение рельефа в больших размерах

**Изосейсты** (от греч. *ισος* — равный, одинаковый, подобный) — линии, соединяющие пункты на карте с одинаковой интенсивностью колебаний, наблюдавшихся при землетрясении. Эпицентр землетрясения окружен изосейстой наивысшей для данного случая балльности; эта изосейста окаймляет плейстосейстовую область (от греч. *πλειστος* — весьма многий, наибольший, величайший), которая с некоторым приближением отвечает форме очага, т.е. является как бы проекцией последнего на поверхность Земли.

Распределение последующих изосейст зависит от скорости затухания колебаний по мере увеличения эпицентрального расстояния. Формы изосейст иногда близки к концентрическим окружностям, но чаще — к более или менее удлинненным овалам; порою они весьма сложны, отражая как форму очага, так и реальную геологическую обстановку на пути следования сейсмических волн, а также глубину очага. Карта изосейст, в сущности, есть графическое изображение макросейсмического поля данного землетрясения.

Н.В. Шебалин в своей диссертации 1969 г. [68] предлагает для объективного построения изосейст по картам типа "пункты—баллы" использовать "методы современной вычислительной техники с применением программы сглаживания, аналогичной применяемой в метеорологии для построения сглаженного барического поля по ряду точечных значений. Внедрение такой программы в практику макросейсмических исследований будет способствовать представлению макросейсмических данных по всей

территории в однородном виде" (с. 8). И далее: "... для описания неискаженной картины макросейсмического поля" (там же), автор предлагает использовать "макросейсмическую формулу"  $I_0 - I_1 = \nu \lg \sqrt{1 + \delta^2/h^2}$ , где  $\nu$  — коэффициент затухания балльности с расстоянием,  $\Delta$  — эпицентральное расстояние,  $h$  — глубина очага землетрясения.

Вероятно, это хорошее предложение, и в ряде случаев оно действительно будет полезным, но, вообще говоря, именно сглаживание таит в себе опасность искажения фактически наблюдаемых данных, поэтому лучше иметь дело с оригинальными, "несглаженными" картами изосейст в том виде, в каком они получаются непосредственно из наблюдений. Именно по таким данным составлена сводная схема фиксированных изосейст (рис. 1.3, вкл.) для всей территории СССР.

Здесь главная трудность состояла в том, чтобы унифицировать оценку балльности, т.е. карты, составленные разными авторами, в разное время, в разных шкалах, свести к единой шкале MSK-64. Другая трудность заключается в том, как нанести на карту мелкого масштаба многие землетрясения сугубо локального значения. Я остановился на землетрясениях с  $I_0 \geq 7$  баллов, но и для них в ряде случаев пришлось ограничиться пунсоном-эпицентром, т.е. кружком маленького диаметра. О неравномерности распределения интенсивности землетрясений на поверхности Земли писал В.П. Солоненко [54].

Тем не менее общая карта изосейст, и особенно такие карты по отдельным сейсмоопасным регионам, могут служить полезным дополнением к картам магнитуд.

**Затухание колебаний.** Распределение изосейст, т.е. изменение интенсивности колебаний с увеличением расстояния от эпицентра, зависит от ряда обстоятельств: от состава и физических свойств среды, через которую проходят сейсмические волны, от наличия (или отсутствия) разнообразных границ в слоистых и сильно дислоцированных толщах осадочных пород, от характера дизъюнктивных нарушений (способных отражать приходящие к ним волны) и др. Излучаемая из очага энергия частично рассеивается, частично отражается от каких-либо экранов. Вопрос сводится к определению темпа затухания колебаний с увеличением расстояния от эпицентра.

В идеале сейсмические волны, как и всякое излучение, затухают обратно пропорционально квадрату расстояния от источника колебаний. На самом деле известно, что изменение интенсивности волн в процессе их распространения в реальных средах определяется, кроме расхождения фронта волны, поглощением, рассеянием и интерференционными явлениями; коэффициент затухания изменяется от места к месту, и отсюда сложная форма наблюдаемых изосейст.

Во многих работах изучался темп уменьшения интенсивности сотрясений с расстоянием. Одна из последних работ на эту тему принадлежит Л.С. Шумилиной, изучившей ряд сильных землетрясений Камчатки и построившей графики спада интенсивности колебаний, вызванных этими землетрясениями. Ранее этим вопросом занимался Н.В. Шибалин, поскольку понятие о затухании колебаний естественно входит в уравнение макросейсмического поля. Полевые наблюдения, а также расчет позволяют построить для различных комбинаций  $M$  и  $h$  теоретические модели изосейст, использование которых реально содействует уточнению карт общего сейсмического районирования. Образцы подобных карт для  $6,0 \leq M \leq 8,25$  и глубины очага корового землетрясения даны на рис. 1.3; изосейсты изображаются в форме более или менее правильных овалов, поскольку они в условиях складчатых зон отражают господствующее простирание складчатых комплексов.

В последние годы понятие о затухании колебаний удачно использовал И.В. Ананьин. Полагая, что конкретные особенности поля изосейст отражают какие-то особенности в строении коры, а может быть, и мантии, И.В. Ананьин составил схему расположения определенных неоднородностей в литосфере (наличие хорошо или плохо проводящих волны пород, отражающих волны экранов типа глубинных разломов, и т.п. [493]. Так, для Русской платформы этот метод показывает, что в пределах территории Европейской части СССР вывеляются три зоны неоднородностей в коре и верхней мантии, характеризующиеся повышенным поглощением сейсмической энергии: от Крыма на СВ, затем от Бреста до Ленинграда и от Горького до Рыбинска и Петрозаводска.

Вопрос о затухании колебаний исследовала Э.А. Джибладзе, которая в 1957 г. писала о неравномерности излучения энергии из очага и о коэффициенте поглощения объемных волн  $k$  (на Кавказе он оказался равным приблизительно  $0,016 \pm 0,003$ ).

Вопрос о затухании сейсмических волн рассматривается во многих работах [34, 585 и др.]. Ю.К. Щукин с соавторами, привлекая к исследованию сведения о затухании колебаний, говорит о неоднородностях в верхней мантии и связи с ними очагов землетрясений.

#### 1.4. ГЛУБИНА ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ( $h$ )

С тех пор как были предложены методы определения глубины гипоцентра (от греч.  $\nu\pi\omicron$  — под, пребывание под чем-нибудь) землетрясений, результаты этих определений стали неотъемлемой частью каталогов землетрясений.

Есть несколько способов определения глубины гипоцентра.

Один из способов вычисления основан на простых геометрических соображениях и выражается формулой, предложенной С.В. Медведевым [23]:

$$h = 7\sqrt{S_n + S_{n+1}},$$

где  $S_n$  — площадь, ограниченная  $n$ -й изосейстой,  $S_{n+1}$  — площадь, ограниченная следующей изосейстой  $S$ , тыс. км<sup>2</sup>).

Более надежные результаты получаются при использовании зависимости

$$h = \sqrt{(tv_p)^2 - \Delta^2},$$

где  $v_p$  — средняя скорость волн  $P$ ,  $t$  — время их прибытия на станцию (т.е. время прохождения волн от гипоцентра до станции),  $\Delta$  — эпицентральное расстояние.

Можно воспользоваться "уравнением нормальной балльности" (по диссертации Н.В. Шибалина [68])

$$I_0 = bM - \nu \lg h + C,$$

и если  $I_0$ ,  $b$ ,  $M$ ,  $\nu$  и  $C$  известны, то легко найти и  $h$  ( $b$ ,  $\nu$ ,  $C$  — некоторые более или менее постоянные коэффициенты):

$$\lg h = (bM - I_0 + C) / \nu.$$

Имеются, естественно, и другие способы определения  $h$ ; их предложили Е.А. Розова, А.А. Тресков, А. Blake, F. Gassman, B. Gutenberg.

Вопрос о том, можно ли считать синонимами понятия "очаг" и "гипоцентр", остается спорным. Чаще всего их употребляют как синонимы. По-видимому, лучше разграничить смысл этих понятий: под очагом понимать весь тот объем земных масс, иногда весьма значительный, который вовлекается в деформацию и излучает энергию, а под гипоцентром понимать условный "центр тяжести" очага, точку, координаты которой даются удаленными сейсмическими станциями.

Есть много частных вопросов, касающихся механизма источника сейсмических волн, происхождения и классификации этих волн, путей их следования внутри земного шара, способов отражения и преломления, различий в затухании, причин многообразия форм сейсмограмм, включая и коду, т.е. заключительную часть сейсмограммы, и т.д. Мы не рассматриваем все эти, в основном физические, вопросы. Они освещены в известных трудах [5, 7, 9, 41, 43, 44, 45, 49, 65, 304, 803, 837].

Сведения о глубине очагов землетрясений стали важнейшим элементом современной сейсмологии, в особенности региональной, и сейсмотектоники, и эти сведения нужно рассценивать как свидетельство значительных успехов сейсмологической науки.

К. Буллен [5, с. 357] со ссылкой на Б. Гутенберга и Ч. Рихтера приводит таблицу распределения очагов сильных землетрясений по глубине для всей Земли (за тридцатилетний период), начиная со 100 км и глубже (табл. 1.2).

В. Карник [807, т. 1, с. 32–33] полагает, что типичными значениями  $h$  для Европы являются 8, 100, 150 км.

Для Тихоокеанского побережья показательные цифры приводит С. Дуда [800]: за время 1877–1964 гг. здесь отмечено 1263 сильных землетрясения, из них с  $h$  от 0 до 29 км — более 700, от 30 до 50 км — еще около 250 и далее все меньше и меньше, до единиц на глубине 650–700 км.

В табл. 1.3 приведены данные каталога [31] по землетрясениям с  $M \geq 5$  для СССР.

Преобладающее число очагов землетрясений относится к глубинам до 20–30 км, т.е. к верхней половине земной коры; с глубиной число очагов уменьшается.

Таблица 1.2  
Распределение очагов землетрясений по глубине [5]

Глубина очагов $h$ , км												
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
178	109	82	46	23	32	36	13	23	25	34	19	7

Таблица 1.3  
Распределение очагов землетрясений сейсмоопасных регионов Альпийского пояса СССР по глубине за 1800–1980 гг. (по [31])

$h$ , км	Карпаты	Крым	Кавказ	$h$ , км	Карпаты	Крым	Кавказ
0–9	1	1	22	90–99	1	—	1
10–19	2	5	38	100–109	25	—	—
20–29	2	8	28	110–119	1	—	—
30–39	2	3	23	120–129	2	—	—
40–49	5	1	6	130–139	1	—	—
50–59	1	2	5	140–149	3	—	—
60–69	2	—	2	150–159	26	—	—
70–79	—	—	4	160–169	—	—	—
80–89	1	—	—	170–179	1	—	—

В Карпатах очаги землетрясений распространяются до глубины 200 км. В Крыму они лежат на глубинах от 5 до 40 км, чаще всего — от 15 до 30 км. На Кавказе землетрясения связаны в основном с неглубоко расположенными очагами, но в единичных случаях отмечается глубина до 100 км (в Каспийском море). В Средней Азии, именно в ее северных частях, т.е. в пределах Тянь-Шаня, очаги редко опускаются ниже 60 км. В южных частях, в пределах Таджикистанской депрессии, известны многочисленные поверхностные очаги с  $h$  от 0 до 10 км, но на Памире, и в особенности в северо-восточных районах Афганистана, смежных с ТаджССР, отмечается большое число более глубоких очагов, до 300 км. На Дальнем Востоке известно множество глубоких очагов ( $h$  до 600–700 км), причем в зоне Курильских островов отчетливо выражено углубление очаговой зоны в западном направлении, от цепи островов и глубоководного желоба дна Тихого океана к Азиатскому материку.

Почему количество очагов уменьшается с глубиной? Вероятно, причиной этого является рост пластических способностей вещества по мере углубления в недра Земли: до 20 км преобладают хрупкие деформации, ниже — пластические [170]. Впрочем, это предположение нуждается в расчетах.

Точность определения глубины гипоцентра пока невелика. Имеются различные гипотезы по вопросу о механизме очага, но нет теории очага, достаточно обоснованной физически и геологически.

Неясно, почему нет очагов землетрясений глубже 700 км. Может быть, они и существуют, но слабые, и вызванные ими колебания не в состоянии достичь дневной поверхности? Может быть, они бывали в прошлом, в других геодинамических условиях сложной и длительной истории Земли? Может быть, в глубоких недрах Земли, в нижней мантии, вещество настолько твердое или, наоборот, пластичное и даже жидкое, что напряжения, необходимые для возникновения землетрясений, накопиться не могут?

Почему глубина очагов в разных геологических районах различна? Видимо, какие-то не только вертикальные, но и латеральные неоднородности в мантии настолько значительны, что в некоторых местах появляется возможность возникновения очагов землетрясений, в других — нет, и именно эти глубинные неоднородности обуславливают различия в строении земной коры и ее осадочного чехла.

Одна из сводок материалов по глубине очагов землетрясений (в том числе глубо-

ких) по всему миру, принадлежит Л. Эдье [72]. Он полагал, что причиной появления очагов на разных глубинах с падением фокальных поверхностей под континенты служат напряжения, возникающие в Земле в связи с ее медленным расширением. Однако темп этого расширения, если оно существует, по данным самого автора, так невелик (0,5 мм в год), что делает эту идею весьма сомнительной.

### 1.5. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Совершенно очевидно, что такие параметры землетрясения, как  $M$  (или  $E$ ),  $l$  (в том числе  $l_0$ ) и  $h$ , связаны между собой: чем меньше  $h$  при одном и том же значении  $E$  (и следовательно,  $M$ ), тем больше  $l_0$ , и наоборот. Другими словами,  $l_0$  должно быть функцией  $M$  и  $h$ , т.е.  $l_0 = f(M, h)$ .

Магнитуда  $M$  и глубина очага  $h$  могут быть определены инструментальным путем, т.е. "классическим" способом при анализе сейсмограмм, уверенно записанных и хорошо изученных землетрясений. Интенсивность в эпицентре  $l_0$ , а также изосейст, следующих за первой, определяется неинструментальным путем с помощью сейсмической шкалы интенсивностей. Отсюда появляется возможность, опираясь на результаты изучения эталонных ("опорных") землетрясений, найти определенную количественную связь между параметрами  $M, l, k$ .

В Советском Союзе работа эта была выполнена Н.В. Шебалиным, и основы метода изложены в [64, 67 и др.]. В основе метода лежит представление о так называемом "макросейсмическом поле" (от греч. *μακρο* ζ — большой, долгий).

Макросейсмическое поле — это "часть поверхности Земли, в каждой точке которой определена количественная характеристика макросейсмического эффекта данного землетрясения — интенсивность (балльность)" [68, с. 5]. Фактический материал по "опорным" землетрясениям был использован, чтобы эмпирическим путем найти значения постоянных коэффициентов в основных уравнениях, которые были предложены в форме  $l_1 = bM - v \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + C$ ,  $l_0 = bM - v \lg h + C$ ,  $l_0 - l_1 = v \lg \sqrt{1 + \Delta^2/h^2}$ .

Значения коэффициентов  $b, v, C$  обычно близки к 1,5; 3,5 и 3,0 (в среднем), т.е. вышеприведенные выражения приобретают вид [67, с. 105]:  $l_0 = 1,5 M - 3,5 \lg h + 3,0$  или  $M = 0,67 (l_0 + 3,5 \lg h - 3,0)$ .

Для различных реальных случаев, когда значения "постоянных" коэффициентов несколько меняются, составлены номограммы, использование которых значительно упрощает процедуру соответствующих вычислений. Номограммы и таблицы могут быть найдены в [31, с. 20–30].

В самом грубом приближении связь между  $l, M$  и  $h$  выражает нижеследующая таблица (табл. 1.4):

Таблица 1.4  
Зависимость  $l_0$  от  $M$  и  $h$  (приближенные значения) [13, с. 469]

$h$ , км	Магнитуда $M$			
	5	6	7	8
10	7	8–9	10	—
20	6	7–8	9	10–12
40	5	6–7	8	9–10
60	4–5	6	7–8	9
150	3–4	5	6–7	8
300	—	4	5–6	6–7
600	—	—	4–5	4

Понятие о макросейсмическом поле и взаимосвязи между  $M, l$  и  $h$  стало полезным методом исследования и повысило значение, смысл и возможности использования макросейсмических материалов. Мы стали более внимательно относиться к изосейстам. Их форма и площади изосейсмальных фигур предстали не случайными показателями внешних проявлений землетрясений, а закономерно вытекающими из основных характеристик последних.

В качестве примера приведу Ашхабадское землетрясение 5.10.48:  $M = 7,3$ ,  $I_0 = 9$  — 10 баллов. Подставляя эти значения в вышеприведенные формулы, получим, что  $\lg h = 10^{1,1}$ ,  $h = 12,6$  км. При Ташкентском землетрясении 25.04 66 ( $M = 5,1$ ,  $I_0 = 7$ –8 баллов)  $\lg h = 10^{0,7}$ ,  $h = 5,0$  км.

### 1.6. СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ (A)

Частота землетрясений — один из существенных элементов сейсмического режима. Возможная периодичность или хотя бы средняя повторяемость толчков той или иной силы интересовала многих исследователей. Примерные количества землетрясений разной силы за год [49, с. 41] приведены ниже (для всего земного шара).

Катастрофические землетрясения	1
Землетрясения с обширными разрушениями	10
Разрушительные толчки	100
Толчки с отдельными повреждениями	1000
Сильные толчки, но без разрушений	10 000
Землетрясения, регистрируемые современными приборами	100 000

По данным [801, с. 154] составлена табл. 1.5, в которой приведены сведения о землетрясениях различных типов и их количестве за год (для всего земного шара).

В таблице 1.6 приведены данные о числе землетрясений различной магнитуды, происшедших в некоторых регионах СССР за период с 1800 по 1975 г.

Известно, что количество землетрясений растет с падением  $M$ , т.е. чем слабее толчки, тем их больше, но в наших списках эта зависимость выдерживается только для землетрясений с  $M \geq 5,0$ . По мере уменьшения  $M$  от 5,0 количество землетрясений растет все медленнее или даже уменьшается. Дело в том, что сведения о слабых землетрясениях непредставительны (даже для нашего столетия).

По поводу таблицы 1.6 следует также заметить, что приведенные в ней цифры можно сопоставить друг с другом только при учете площадей регионов, т.е. в расчетах удельной сейсмической мощности  $N_m$  (см. раздел 1.2).

В последние годы вопрос о частоте землетрясений перерос в понятие о "сейсмической активности" (от лат. actio — действие; activus — деятельность) и "графиках повторяемости".

Сейсмическая активность (A) в данной точке есть "среднее число землетрясений в определенном диапазоне энергетической величины, которые возникают в окрестности этой точки, и в единице пространства — объема или площади... и единицу времени". Так определяется это понятие в монографии [304, с. 52]. При этом "вес одного большого землетрясения, его эпицентра, на карте A такой же, как одного из малых землетрясений, которых множество" [Там же, с. 54]. Или, в другой формулировке: сейсмическая активность — это "отнесенная к единице площади осредненная в пространстве и времени частота повторения землетрясений определенного класса величины в очаге (сейсмической энергии или магнитуды) или, иными словами, — пространственная плотность частоты повторения землетрясений определенной величины. Исходным материалом во всех случаях служат карты эпицентров землетрясений, с указанием их величины в очаге" [303, с. 71].

Инициатором и организатором исследований по сейсмической активности был Ю.В. Ризниченко, которому принадлежит много работ на эту тему [35, 37, 39, 40 и др.].

Иногда высказывается мнение, что площадное (того или иного типа) изображение сейсмических явлений нагляднее точечного, т.е. эпицентральных карт. К таким, как бы усовершенствованным, картам и относятся карты сейсмической активности, получившие в последнее время большую популярность. Расчеты сейсмической активности и составление соответствующих карт стало неотъемлемой задачей исследований по региональной сейсмотектонике [303, с. 84; 304, с. 47].

Возникает вопрос: как все же быть с "весом", если одни из землетрясений сильные, другие — слабые? "Точкам, представляющим сильные землетрясения, казалось бы, следовало придавать больший вес, поскольку сильные землетрясения — события во многих отношениях более важные, чем слабые. С другой стороны, точки графика, соответствующие слабым землетрясениям, основаны на большем числе событий, и в условиях статистического расстояния, свойственного сейсмическому процессу, «их поло-

Таблица 1.5  
Характеристика типов землетрясения

Тип землетрясения	Магнитуда	Интенсивность, баллы	Среднее число в год
Сильнейшие	$\geq 8$	11–12	1,1
Сильные	7–7,9	9–10	18
Разрушительные	6–6,9	7–8	120
Умеренные (причиняющие повреждения)	5–5,9	6–7	1 000
Слабые (причиняющие слабые повреждения)	4–4,9	6–5	6 000
Ощутимые	3–3,9	2–3	49 000
Замечаемые	2–2,9	—	300 000
Микроземлетрясения (неощутимые)	$< 2$	—	600 000

Таблица 1.6  
Число землетрясений различной магнитуды в некоторых регионах СССР

Регион	Магнитуда $M$				Регион	Магнитуда $M$			
	5,0–5,9	6,0–6,9	7,0–7,9	8		5,0–5,9	6,0–6,9	7,0–7,9	8
Карпаты	39	13	1	—	Кавказ	92	19	2	—
Крым	12	3	—	—	Туркмения	24	9	4	1

жение на графике оказывается более устойчивым, чем для сильных; поэтому, казалось бы, именно их вес следует считать большим. Нередко выбирали "золотую середину": веса всех точек на графике, по одной для каждого класса  $K$ , принимали одинаковыми» [303, с. 80].

Нетрудно видеть в подобных построениях некоторое нарушение здравого смысла: сильные землетрясения действительно на несколько порядков сильнее слабых и считать их "одинаковыми" вряд ли правильно.

Карты "сейсмической активности", конечно, наглядны, они систематизируют и унифицируют статистический материал, они позволяют сопоставлять между собой различные в сейсмологическом отношении районы. Но статистика есть статистика, она не в состоянии выразить больше, чем в нее было заложено изначально. Совершенно справедливо заметили по этому поводу Г.Я. Мурусидзе и его соавторы: "...период накопления наблюдаемого материала, необходимого для составления стабильных карт сейсмической активности, должен быть довольно большим. В настоящее время нет возможности хотя бы приблизительно установить промежуток времени, достаточный для составления стабильных карт сейсмической активности. Нам думается, что для разных регионов этот период будет различным и что он должен быть значительно больше периода повторяемости сильных землетрясений на изучаемой территории. Если же построить карты, выбирая для этого отдельные непродолжительные интервалы времени наблюдения... то можно получить самые различные представления об относительной сейсмической активности отдельных участков. Поэтому использование подобных карт для сейсмического районирования весьма ограничено" [684, с. 159]. Авторы подтверждают это обстоятельство сопоставлением карт сейсмической активности (для Западной Грузии) последовательно, за 1955–1962, 1962–1972 гг. и др. Карты сильно отличаются одна от другой, от периода к периоду.

Таким образом, карты сейсмической активности дают общее представление о сейсмической деятельности в регионе, но лишь за определенный, ограниченный период — они слишком формализованы и не учитывают геологических особенностей каждого региона, что может привести к ошибочным заключениям. К сожалению, нередко встречается иное понимание карт  $A$ , когда им придают некоторый абсолютный, вневременной смысл, которым они по сути своей не обладают. Приходится констатиро-

вать, например, что «для больших землетрясений... мы пока не находим ярко выраженных тенденций к периодичности. Их последовательности скорее близились к "пуассоновским"» [304, с. 55].

Вспоминаются слова Г.Н. Поварова, относящиеся к кибернетике: "Винер много занимался теорией статистического предсказания... Но чисто статистическая трактовка оказывается во многих случаях ненадежной и неправильной. Короткие временные ряды действительно недостаточно устойчивы" [32, с. 80].

Да, в сложном конгломерате структур, различных по геологической истории, строению и современному состоянию, трудно ожидать правильной повторяемости больших землетрясений, но для отдельных регионов эту задачу можно пытаться ставить.

Точно так же "приходится отказаться от самоуспокоенности после большого землетрясения в надежде, что следующее большое землетрясение произойдет здесь, вероятнее всего, лишь через многие десятки и сотни лет... Вероятность повторения такого события в скором времени такая же, как и любое время спустя" [304, с. 56]. Да, это справедливо для комплекса различных по смыслу структур, но требуется иная интерпретация сейсмического режима при анализе каждого квазигомогенного региона в отдельности.

В прежние годы, до появления термина "сейсмическая активность", под временной последовательностью сейсмических событий понимали "повторяемость" последних или "периодичность". О "повторяемости", например, писал Е.И. Бюс [6], о "периодичности" — Г.П. Тамразян и др. [21, 753а]. У Г.П. Тамразяна, писавшего об Азербайджане, Армении и Грузии, получился "полупериод" сейсмической активности в 45—70 лет (по данным за 2000 лет). Это уже, конечно, результат, хотя нет уверенности в добротности исходных данных: результат сильно отличается от более поздних вычислений Ю.П. Ризниченко [47]. Вспоминается и старая работа Г. Пилара [815], который полагал, что земная кора под влиянием притяжения Луны и Солнца периодически поднимается и опускается, в результате чего якобы и появляются землетрясения.

С представлением о сейсмической активности связано и понятие о "графиках повторяемости". Строго говоря, обратно пропорциональная зависимость между числом подземных толчков и их интенсивностью — факт, отмеченный еще философами Древней Греции. Говорил об этом М.В. Ломоносов и многие естествоиспытатели XVIII и XIX вв.: А.П. Орлов, А.Н. Гришов и др. В наше время этот факт получил оформление в виде "графиков повторяемости". По оси абсцисс откладывается величина землетрясений ( $K, M, E$  и  $I_0$ ), а по оси ординат — число землетрясений  $N$ .

В случае использования для  $N$  логарифмического масштаба график, выражающий зависимость  $N$  от величины землетрясения, становится близким к прямой линии, и его наклон  $\gamma$  колеблется где-то в пределах 0,40—0,50. Различия в наклоне связаны, может быть, с особенностями геологического строения среды, в условиях которой высвобождается энергия (при землетрясениях), но задачей физического содержания служит скорее не столько выяснение условий возникновения не слишком существенных вариаций в значении  $\gamma$ , сколько физических причин именно такого, почти всегда близкого к 0,45, наклона графика. Вопросу о графиках повторяемости и его вариациях нередко придается большее значение, чем он того заслуживает.

### 1.7. СЕЙСМИЧЕСКАЯ СОТРЯСАЕМОСТЬ ( $B$ )

Сейсмическая активность  $A$  и графики повторяемости тесно связаны с представлением о так называемой "сейсмической сотрясаемости"  $B$ , понятие о которой и сам термин были предложены Ю.В. Ризниченко в 1959 г. [35, 36, 38] и в последующие годы получили известную популярность.

Речь идет о средней частоте появления в данном пункте землетрясений той или иной интенсивности (независимо от местоположения очага, т.е. источника колебаний). Иными словами, "сейсмическая сотрясаемость — это вероятностная мера долговременной средней сейсмической опасности. Это средняя частота  $B = B(I) = B$  повторения в данном пункте сейсмических сотрясений любой данной интенсивности  $I$  (или более). Обратная величина  $T = 1/B = T_I$  — средний период повторения сотрясений такой интенсивности" [47, с. 9].

Можно выразить ту же мысль иными словами: сейсмическая сотрясаемость  $B$  для той или иной интенсивности  $I$  — "долговременная средняя частота сейсмических сотря-

сений любой данной интенсивности / (или выше), ожидаемой в том или ином пункте земной поверхности (город, строительная площадка и т.п.) от всех очагов землетрясений, возникающих в окружающей области. Величина  $T = 1/B$  — средний период повторения соответствующих сотрясений" [304, с. 65].

Чем продолжительнее период надежных наблюдений, тем точнее расчеты. Особый интерес представляют собой сведения по сотрясаемости для высоких интенсивностей — от 7 и более баллов. Но такие землетрясения происходят в каждом данном пункте нечасто. И если средний период появления сильных землетрясений оказывается близким к периоду наблюдений, то расчет сотрясаемости становится ненадежным. Кроме того, следует иметь в виду, что средний период повторения землетрясений приобретает реальный смысл и приближается к действительности лишь в тех случаях, если относится к какому-то определенному региону квазиоднородного строения; тогда действительно можно надеяться уловить некоторую правильность в появлении землетрясений (правильную повторяемость, т.е. собственно периодичность). В иных случаях, т.е. без учета геологической обстановки, неизбежны ошибки в конечных выводах, приобретающих слишком формальный вид.

Тем не менее расчеты сейсмической сотрясаемости даже при очевидной неполноте и неравноценности исходных материалов представляют собой известную ценность и могут быть использованы, хотя и со всяческими оговорками, в практических целях, особенно в исследованиях по сейсмическому районированию.

Недавно была закончена большая работа по вычислению сейсмической сотрясаемости для всей территории СССР. Работа выполнялась большим коллективом специалистов при общей редакции и методическом руководстве Ю.В. Ризниченко (ИФЗ и МСССР АН СССР). Результаты изложены в монографии [47]; книга иллюстрирована картами, охватывающими всю территорию страны. Примеры таких карт по всем сейсмоопасным регионам приведены и в данной монографии, и ее региональной части. Все карты вычерчены в изолиниях среднего периода  $T_i$  повторения сотрясений различной интенсивности (6, 7, 8 и 9 баллов) — от 25 лет до 10 000 лет.

На карте сейсмического районирования 1978 г., т.е. на карте "СР-78"<sup>1</sup> [304], принята несколько иная система обозначения сотрясаемости: цифры, соответствующие баллам сейсмической шкалы, снабжены, по предложению В.И. Бунэ, индексами, например  $7_1, 7_2, 7_3$ , которым отвечают средние периоды повторения сотрясений раз в 100, 1000 и 10 000 лет (рис. 5.1).

В заключение следует сказать о том, что в последнее время вышло в свет много различных по содержанию, по литературному оформлению, по целевой задаче монографических изданий — описаний отдельных сильных землетрясений или землетрясений вообще [25, 42, 56, 59, 61 и др.].

## Глава 2

### ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ (в связи с сейсмичностью)

#### 2.1. ГЕОТЕКТОНИКА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Связь землетрясений со строением земной коры, с процессами, протекающими внутри Земли и выраженными наиболее ярко в деформациях земной коры, в складчатости, т.е. в тектонических (от греч. *τεκτονική* — строительное искусство) процессах и орогенезе (от греч. *ὄρος* — гора, *γενεσις* — происхождение), — эта идея давно стала аксиомой естествознания; чей-либо приоритет в установлении таких связей обнаружить нелегко.

В первую очередь вспоминается работа М.В. Ломоносова "Слово о рождении металлов от трясения Земли" (1757 г.) [109]. Затем следует указать на почти забытые труды А.Н. Гришова (1794 г.) [97], П.В. Васильева (1903 г.) [84], многочисленные публикации А.П. Орлова 70–80-х годов XIX в. [94, 120, 121] и, конечно, на монографию Б.Б. Голицына [9].

<sup>1</sup> Карта СР-78 приведена на рис. 5.1.

К началу нового столетия относятся ставшие уже классическими произведения К.И. Богдановича, В.Н. Вебера, И.В. Мушкетова по Кавказу и Средней Азии. Позже появились известные работы Д.И. Мушкетова по сейсмостектонике вообще, П.М. Никифорова — по геофизике, М.В. Гзовского — по тектонофизике, Ю.В. Ризниченко — по сейсмостатистике, Г.А. Гамбурцева — по глубинному сейсмическому зондированию, Е.Ф. Саваренского — по сейсмическим волнам. Получили развитие исследования по сейсмодислокациям, по прогнозу землетрясений, по геодинамике; работы по региональной сейсмологии — по Карпатам и Юго-Западной Украине, Крыму; Е.И. Бюса, Л.А. Варданянца, М.М. Рубинштейна, А.Д. Цахая — по Кавказу; Е.М. Бутовской, П.М. Вильгельмзона, Е.А. Розовой, П.Г. Семенова — по Средней Азии, А.В. Вознесенского, А.А. Трескова — по Сибири. Нельзя не отметить широкое развитие сейсмогеологических исследований в республиках Кавказа и Средней Азии, где молодое поколение ученых успешно ведет работу по всему комплексу сейсмологических программ.

Стоит отметить фундаментальные издания последних лет: монографии по Гоби-Алтайскому [8], Ташкентскому [60], Дагестанскому [578], Карпатскому [337] землетрясениям, а также по общим вопросам сейсмостектоники [132].

Конечно, основная идея — о зависимости землетрясений от тектоники — со временем обогащалась различными дополнительными соображениями, иногда, пожалуй, даже слишком смелыми. Космические влияния, атмосферные воздействия, экзогенные факторы, даже антропогенные — существует множество предложений на этот счет, причем с попытками найти соответствующие статистические подтверждения. Автор не касается здесь этой стороны дела.

Видное место в решении многих задач современной сейсмологии, в том числе сейсмического районирования и прогноза землетрясений, по справедливости заняла геотектоника.

Количество изданий по геологии и тектонике территории СССР очень велико. Например, книги А.П. Карпинского [100], М.А. Тетяева [140, 141], А.Д. Архангельского [76], А.Н. Мазаровича [111] и многих других, более поздних авторов [78, 79, 81, 82, 107, 122–124, 128, 130, 133, 166, 808, 829, 831]. Имеется большое количество тектонических карт разного содержания и масштабов. На рис. 2.1 (см. вкл.) предложена схема тектонического расчленения территории СССР, основанная на выделении складчатых зон и платформ по их возрасту в соответствии с принципами, положенными в основу Тектонической карты СССР А.А. Богданова [139].

Сопоставление тектонических и сейсмических материалов позволяет, казалось бы, сделать такой предварительный вывод: сейсмичность приурочена в основном к зонам кайнозойской и альпийской складчатости. Соответствующие чисто статистические расчеты дают тому подтверждение. Об этом говорили в свое время Ф. Монтеcssю де Баллор [811] и Э. Ог [805]. Заключение Ф. Монтеcssю де Баллора звучало так: "Геосинклинали, или пояса максимальной подвижности земной поверхности, или области, в пределах которых в третичное время накопились огромной мощности осадки, энергично измятые и поднятые с образованием главнейших современных горных цепей, т.е. геантиклиналей, содержат, за двумя или тремя сомнительными исключениями, т.е. геосинклинальные районы, которые, следовательно, их характеризуют" [811, с. 246].

П.В. Васильев [84], касаясь материалов по югу Европейской России и используя сведения о 236 землетрясениях, констатировал, что в пределах альпийской складчатой области располагается 86,4% эпицентров землетрясений, герцинской — 4,4%, каледонской — 0,4% и вне складчатых областей — 8,6% (со ссылкой на материалы Ф. Монтеcssю де Баллора и А.Тилло).

Складчатые зоны альпийского (K—Q) и кайнозойского (P, N, Q) возраста возникают и развиваются на фоне мезозойских (MZ) или третичных (P + N) геосинклиналей и характеризуются утолщением земной коры в целом, большой мощностью осадков (геосинклинальных фаций), интенсивными складкообразовательными и разрывообразовательными движениями, столь же интенсивными вертикальными колебательными движениями, вулканизмом, метаморфизмом и соответственно высокой сейсмичностью; таковы Карпаты, Горный Крым, Кавказ, Южная Туркмения, Памир. В пределах подвижных массивов складчатых зон накапливаются и время от времени разряжаются тектонические напряжения, что и выражается в деформации пород и в землетрясениях.

Однако восточнее 80-го меридиана на юге Сибири высокая сейсмичность несомнен-

на, а молодых складчатых зон альпийского или кайнозойского возраста нет (не считая восточных окраин Азиатского материка, где обстановка иная). Да и в Средней Азии Тянь-Шань при своей высокой сейсмичности по тектоническим признакам относится не к альпийской складчатости, а к герцинской, даже каледонской (с очевидными признаками четвертичной активизации).

Следовательно, закономерность о приуроченности сейсмичности к альпийским зонам, которая сформулирована выше и вытекает из сопоставления тектонической и эпикентральной карт, оказывается хотя и существенной, но неполной, недостаточной. Другое обстоятельство обуславливает высокую сейсмическую активность во внеальпийской зоне. Для уяснения этого обстоятельства нужно перейти к рассмотрению процессов неотектоники.

## 2.2. НЕОТЕКТОНИКА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Ясно выразился по этому вопросу еще в 1908 г. П.В. Васильев: "Чем моложе страна в тектоническом строении — тем выше ее сейсмичность" [84, с.133]. Достаточно ясно говорил об этом в 1933 г. Д.И. Мушкетов: "Главной нашей геотектонической предпосылкой является основной процесс, лежащий в формировании вообще Евразии, а именно активность мощной так называемой альпийской зоны орогенических движений, которая протягивается поперек всего материка Европы и Азии и известна в геологической литературе под именем Тетиса или средиземноморской полосы орогена" [275, с. 11]. В эту полосу входят как собственно альпийские, так и более древние складчатые зоны, но испытывавшие омоложение, и поэтому "в рамках старых конструкций под ее (альпийской зоны, — Г.Г.) влиянием будут оживляться старые линии" [Там же].

В работе [113] говорится — несколько менее ясно — о том же: "Словом, повсюду в областях нарушения земной коры проявляются землетрясения, направляются по линиям этих нарушений и достигают наибольшего развития на рубеже самых крупных и самых новых нарушений, т.е. рубеже новых мощных складчатостей и поднятий и прилегающих к ним низменностей или морей, а также в местах виргаций, скупчивания и резких изгибов складчатых систем и по большим разломам и грабенам" (с. 67).

В 1948 г. В.А. Обручев подчеркнул значение новейших тектонических движений, в частности формирующих рельеф земной поверхности, и ввел в обиход термин "неотектоника": "Неотектоникой я предлагаю называть структуры земной коры, созданные при самых молодых ее движениях, происходивших в конце третичного и в первой половине четвертичного периода" [119, с. 13]. С тех пор изучение новейших движений или неотектоники стало существенной частью геологических исследований. Литература по неотектонике, особенно в СССР, стала обширной и разветвленной [99, 104, 114, 116, 117 и др.]. Опубликованы общие карты по неотектонике масштаба 1:5 000 000 для всей территории СССР в 1959, 1964 [146], 1971, 1979 гг. [103] и множество более локальных. Большую роль в развитии этой ветви геологии сыграли работы Н.И. Николаева, С.С. Шульца и их последователей.

На рис. 2.2 (см. вкл.) приведена в схематизированном варианте карта неотектоники (по материалам [146]), показывающая суммарный итог вертикальных движений, как положительных, так и отрицательных, за 25 млн. лет, т.е. с начала неогена. Напомню, что альпийские движения охватывают промежуток времени с мела доныне (около 70 млн. лет), новейшие — с неогена доныне (25 млн. лет), современные — с голоцена доныне (10 000 лет).

Даже простое визуальное сопоставление карты новейших движений со схемой распространения эпицентров землетрясений с очевидностью указывает на самую тесную, по-видимому, не только региональную, но и генетическую связь между ними.

Более того, можно предполагать, что наиболее активными в сейсмическом отношении окажутся участки, отличающиеся наличием резко выраженных контрастных движений. В целях выяснения вопроса имеет смысл построить на основе уже имеющейся карты новейших движений карту горизонтальных градиентов скорости вертикальных движений. Подобная карта была подготовлена в 1965 г. коллективом авторов под редакцией Н.И. Николаева [101]. Подробное описание методики вычисления градиентов можно найти в работах [57, 118]. Значения градиента местами превышают  $8 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>.

Напомню в связи с этим, что "наиболее постоянными признаками, относящимися ко всем высокосейсмичным зонам, являются глубинные гравитационные аномалии. . .

и пояса больших градиентов неотектонических движений, линейно вытянутые на большом протяжении' [80, с. 13]. К аналогичным выводам приходят многие авторы. Под большим градиентом следует понимать те значения, которые равны (или превышают)  $8 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>.

На рис. 2.3 (см. вкл.) показана в схематическом виде величина горизонтальных градиентов скорости вертикальных движений (по данным [101]).

В принципиальном отношении вывод о зависимости между величиной grad  $v$  и сейсмичностью не нов. В различных формулировках его можно найти в работах [83, 91, 92, 118 и др.]. Так, в коллективной работе [137] содержится богатый фактический материал по тектонике, новейшим движениям и сейсмичности окрестностей Гарма (ТаджССР). В итоге исследований выяснено, что в Гармском районе участки с повышенной сейсмической активностью совпадают с полосами, для которых средняя величина градиента скорости тектонических движений для четвертичного периода также оказывается повышенной — местами до  $13 \cdot 10^{-7}$  год<sup>-1</sup> [137, с. 1441]. Обилие исходных сведений и тщательность их обработки делают подобный вывод вполне обоснованным.

В работе М.В. Гзовского [91] можно найти следующие цифры (для всей территории СССР): для платформенных областей, где градиент не превосходит  $0,3 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>, интенсивность землетрясений не превышает 4 баллов. В областях с большей подвижностью (Урал, Восточное Забайкалье, Колыма, горы Бырранга) градиент достигает  $1 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup> и интенсивность землетрясений соответственно возрастает до 5–6 баллов. В еще более подвижных областях, таких, как Восточные Карпаты, Алтай, Саяны, Прибайкалье, Верхоянский хребет, с градиентом до  $3 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup> / = 7–8 баллов. Наконец, в наиболее подвижных областях (Кавказ, Тянь-Шань, Памир, Восточная Камчатка), где градиент поднимается до значений  $10 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>, / = 8–9 баллов и более. "Таким образом, — пишет М.В. Гзовский, — возрастание средней величины градиента скорости новейших движений на один порядок сопровождается повышением наибольшей интенсивности землетрясений на 1–2 балла" [91, с. 161, 162].

В работе М.В. Гзовского [92], к сожалению, излишне лаконичной, приводится сопоставление величины градиента скорости с распределением очагов землетрясений, и автор констатирует: "Области, где сконцентрировано наибольшее число сильных землетрясений, совпадают с областями наибольших значений градиента скорости новейших движений" (с. 63). Автор иллюстрирует свои положения картой верхнего предела градиента скорости новейших вертикальных тектонических движений на территории СССР (рис. 2.4, вкл.) и ссылается на аналогичные выводы, к которым пришли Г.А. Гамбурцев, В.Н. Крестников, И.Л. Нерсесов и др. [88, 106, 118, 137]. М.В. Гзовский рассматривает также вопрос о связи градиента скорости новейших движений с напряженным состоянием коры и верхней мантии, с магматизмом, с механизмом очага отдельного землетрясения.

Далее можно искать корреляцию между значениями grad  $v$ ,  $N_m$  и  $I_0$  (по крайней мере для землетрясений с неглубокими очагами). В работе [171] была предпринята попытка сопоставить между собой сейсмические материалы (в форме карты удельной сейсмической энергии  $E_m$  (в эрг/см<sup>3</sup>), которая была составлена для всей территории СССР в масштабе 1 : 5 000 000) и геологические (в форме карты градиентов скорости новейших вертикальных движений; составлена П.А. Беспрозванным, Я.Я. Грасис, А.А. Рыжовой, В.П. Феликсом, Г.А. Шенкаревой под редакцией Н.И. Николаева в 1962 г., также в масштабе 1 : 5 000 000 [101]). Сопоставление показало, что максимальные значения  $E_m$  (в пределах от  $10^{-11}$  до  $10^{-5}$  эрг/см<sup>3</sup>) сопровождаются максимальными значениями grad  $v$  ( $> 0,4 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>) на 72% площади; сочетание  $E_{m \max}$  и grad  $v_{\min}$  встречается только в 28% случаев. Минимальным значениям  $E_{m \min}$  в 94,4% случаев отвечает grad  $v_{\min}$ , и лишь в 5,6% случаев на площади, занятой  $E_{m \min}$ , градиент новейших движений достигает больших величин. Думаю, что такие цифры, отнесенные ко всей территории СССР, достаточно убедительны: да, новейшие вертикальные движения и сейсмичность тесно связаны друг с другом [99, 104, 114, 117 и др.].

Сопоставление значений grad  $v$  и  $E_m$  показано ниже.

grad $v$ , $10^{-9}$ год <sup>-1</sup>	1–4	5	6	7	8	9
$E_m$ , $10^{-12}$ эрг · см <sup>-3</sup>	0–10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>1</sup> –10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup> –10 <sup>7</sup>

Заметим, что было бы неправильным полагать будто уровень сейсмической активности обуславливается только величиной горизонтального градиента скорости новейших вертикальных движений. Отнюдь нет. Можно указать на ряд других факторов (например, горизонтальные движения), которые оказывают воздействие на сейсмический режим. Но существенная роль новейших, особенно дифференцированных, вертикальных движений в общем ансамбле факторов сейсмогенетического характера остается несомненной; притом не следует забывать, что новейшие движения, фиксируемые в приповерхностной зоне земной коры, отражают в основном процессы, которые протекают в глубоких недрах Земли и вызывают землетрясения.

### 2.3. СОВРЕМЕННАЯ ТЕКТОНИКА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

При обсуждении связи тектонических движений с землетрясениями следует обратиться не только к альпийским и новейшим, но и к современным движениям. Казалось бы, именно они в первую очередь должны контролировать режим сейсмических явлений.

Литература по современным движениям обильна [115, 125, 134–136 и др.], но, к сожалению, в указанных сборниках мало материала по вопросу о современных движениях в связи с сейсмичностью.

В статье Е.Я. Ранцман по Средней Азии [127] ясно просматривается стремление найти взаимозависимость между землетрясениями и тектоническими разрывами, хотя объективный взгляд на карты, использованные автором, отнюдь не выявляет этой связи. Таким образом, в основе выводов, хоть и построенных логично, лежит порочная теоретическая установка.

В сборнике [134] помещено несколько работ, в которых в том или ином аспекте затронуты вопросы зависимости сейсмического режима от характера и интенсивности современных движений: статьи В.Ф. Бончковского, М.В. Гзовского, Л.А. Латыниной, Ю.А. Мещерякова, А.А. Никонова, А.Е. Островского, Г.Д. Панасенко и др. Отмечается установленная различными методами связь землетрясений с современными тектоническими движениями. М.В. Гзовский показал, что средняя величина градиента скорости новейших движений в наименее подвижных древних платформенных практически асейсмичных областях оценивается в  $3 \cdot 10^{-10}$  год<sup>-1</sup>, в то время как в наиболее подвижных, т.е. высокосейсмичных, областях достигает  $1 \cdot 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>. Современные же движения преимущественно следуют плану новейших движений.

В статье И.В. Ананьина о Русской платформе [74] отмечается, что "современные движения происходят в районе Воронежского поднятия, Урала и Предуралья" [Там же, с. 291], т.е. в тех местах, где сконцентрированы эпицентры землетрясений. "На всей остальной части территории Русской платформы имеются более редко расположенные эпицентры землетрясений" [Там же]. В основе вывода лежат исключительно тщательно собранные сведения о землетрясениях; что касается отнесения Балтийского щита и Урала к Русской платформе, то, по-видимому, нужно ввести соответствующую поправку в формулировку автора.

В статье А.П. Райзман о землетрясении 26.04.66 в Ташкенте указано, что обнаруженные геодезическими методами "вертикальные сдвиги" земной коры "произошли в период наибольшей сейсмической активности на территории г. Ташкента в 1966 г." [126, с. 217]. Да, действительно, Ташкентское землетрясение 26.04.66 сопровождалось если не "сдвигами" (если их понимать по обычной тектонической терминологии), то, во всяком случае, поднятием восточной части погребенной Каржантауской антиклинали, что и было отмечено в пределах территории города и его окрестностей методами геодезии, геоморфологии, сейсмологии.

Сборник [125] содержит богатый фактический материал по современным движениям в различных районах мира. В частности, на Гармском и Алма-Атинском прогнозических полигонах "выявлены аномальные деформации земной поверхности, совпадающие во времени с процессами подготовки и моментами сильных землетрясений" (статья Ю.Д. Буланже и др., с. 202).

К 1977 г. относится фундаментальная монография А.А. Никонова [115]. В ней затронуты многие вопросы учения о голоценовых и современных движениях земной коры. Вопросы методики инструментальных наблюдений и их достоверности остались за пределами книги, основное внимание уделяется выяснению геологического значения молодых движений. Отдельная глава посвящена движениям земной коры и вопро-

сам сейсмоструктуры [Там же, с. 191–198]. Автор приходит к следующим выводам: в плиоцен-четвертичное время и в голоцене огромная роль принадлежала гляциоизостатическим движениям; скорость таковых значительно превышает скорость вертикальных движений внеледниковых областей. Значительную роль играют так называемые флюидодинамические движения. Подвижные пояса — Тихоокеанский, Средиземноморский, Центрально-Азиатский — отличаются от платформ повышенной (на 1–2 порядка) современной тектонической активностью. Автор дает такие цифры: скорости для подвижных областей 3–10 мм/год, для платформ — 0,5–2 мм/год; градиенты скорости соответственно  $10^{-7}$ – $10^{-5}$  год<sup>-1</sup> и  $10^{-9}$ – $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>. Следует учитывать влияние усреднения на расчеты скорости. Автор говорит: “Прямая и однозначная связь между скоростью и градиентом скорости современных вертикальных движений и сейсмичностью отсутствует” (с. 212) как в локальных, так и региональных масштабах; тем не менее опыт изучения медленных вековых и быстрых сейсмических движений “как проявлений единого циклического процесса накопления и разрядки напряжений в земной коре помогает упрочить связь между сейсмологией и геотектоникой” (с. 213).

\*Отмечу насыщенный фактическим материалом по современным движениям сборник Междуведомственного геофизического комитета, изданный под редакцией Ю.Д. Буланже, Д.А. Либиенберга и Я.С. Подстригач [135]. Следует также отметить монографию “Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня” В.Н. Крестников и др. [147] как построенную на идее непосредственной генетической связи между четвертичной (и голоценовой) тектоникой и сейсмичностью.

Список такого рода работ достаточно обширен. Каков же итог? Ряд наблюдений, исследований, заключений показывает, что повышенная скорость и повышенные градиенты скорости вертикальных движений (вероятно, и горизонтальных), как правило, сопровождаются повышением сейсмической активности коры. Зависимость эта сложна, неоднозначна, имеются многочисленные исключения, но в целом она сохраняется: новейшие и современные движения земной коры (точнее, тектонические процессы, охватывающие всю литосферу и верхи мантии в современный этап их развития) близко связаны с сейсмической деятельностью Земли, и поиски конкретных связей в этом отношении — пусть даже локального значения, т.е. меняющихся от района к району — представляют одну из задач сейсмоструктуры.

В первую очередь хотелось бы иметь достаточно надежную, установленную инструментально, карту современных движений для всей территории СССР. Такая сводка имеется для Европейской части СССР [105]. К сожалению, она столь схематична и столь неравномерно обоснована, что на нее трудно опираться, хотя она и не противоречит в целом вышеприведенному выводу. В отдельных случаях в отдельных районах удастся сформулировать достаточно убедительные и конкретные предложения. Остается надеяться на то, что со временем их число будет расти.

В заключение автор полагает возможным наметить в самых общих чертах следующее положение: если сейсмоопасными являются эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста, эпиплатформенные орогены с интенсификацией тектонических движений в кайнозой, современные рифты, зоны Заварицко-Беньофа, то общим для них во всех случаях служит интенсивное проявление новейших и современных движений.

#### 2.4. ВУЛКАНИЗМ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Идея о самой тесной, непосредственной связи между землетрясениями и вулканами является традиционной в геологии. Достаточно напомнить о популярной в свое время, но теперь забытой монографии М. Неймайра, которая так и называлась — “Вулканы и землетрясения” (1902 г.). Еще ранее в 60-х годах прошлого столетия, Г. Ляйелль писал: “Первичные причины вулканов и землетрясений, по большей части, один и те же и должны иметь связь с выходом теплоты из внутренности Земли к поверхности” [110, т. II, с. 231]:

Борьба плутонизма и непутонизма ощущается в русской литературе уже в XVIII в. С.П. Крашенинников, И.Г. Гмелин, В.Н. Татищев, Г.В. Рихман, П.С. Паллас, Г.А. Сарычев, А.Н. Гришов — такие имена стоят у истоков той борьбы, и ее отзвуки ощущаются вплоть до нашего времени. Г.В. Абих, А.А. Иовский, Г.И. Спасский, И.Д. Черский, А.П. Орлов, даже Н.М. Карамзин и А.И. Герцен, совсем не геологи, [77] не прошли мимо борьбы идей в естествознании. Во второй половине XIX в. Г.В. Абих, изучавший

геологическое строение Кавказа, вулканизм и землетрясения, пришел к убеждению "в преимуществах вулканической гипотезы над нептунистической" [77, с. 38].

Уже в наше время, в 1969 г., появилась книга В. Мэттью "О вулканах и землетрясениях" [940] — правда, без подчеркивания их генетической связи.

Анализ такого замечательного явления, как вулканизм, не входит в наши цели. Литература о вулканизме безгранична. Напомню о таких авторах крупных монографий о вулканизме в связи с геологическим строением или сейсмичностью, как В.Н. Аверьянова, В.И. Влодавец, А.В. Горячев, Г.С. Горшков, А.Н. Заварицкий, Е.К. Мархинин, А.А. Меняйлов, Е.Е. Милановский, С.И. Набоко, Б.И. Пийп, А.Е. Святловский, Р.З. Тараканов, П.И. Токарев, А.И. Фарберов, С.А. Федотов, Т.И. Фролова, многие зарубежные авторы; нельзя не упомянуть о бюллетенях или сборниках, посвященных проблемам вулканизма, например [86, 87, 93, 143] и др., изданных Камчатской вулканологической станцией и позже — Институтом вулканологии ДВНЦ АН СССР. Несколько затрону лишь один вопрос: связаны ли между собой генетически землетрясения и вулканы и существуют ли так называемые "вулканические землетрясения"?

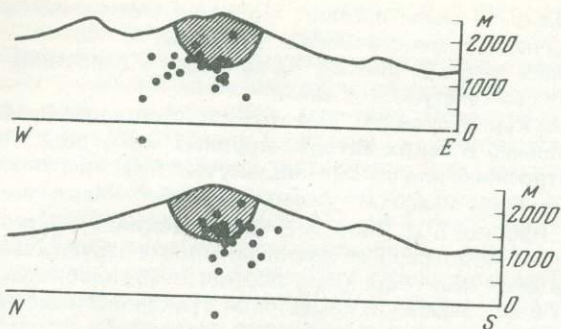
В самом общем плане сейсмическая и вулканическая деятельность на планете, как хорошо известно, сопутствуют друг другу. Пояс высокой сейсмической активности в грубых чертах отвечает поясу современного вулканизма. "В глобальном смысле землетрясения и вулканы существуют совместно" [143, с. 22]. Однако при более детальном рассмотрении вопрос оказывается более сложным. Так, далеко не все районы интенсивного проявления сейсмических сил обладают современным вулканизмом; в Средней Азии, на Памире и в Тянь-Шане при катастрофических землетрясениях, поражающих порой территорию, вулканов нет, ни действующих, ни потухших. Да и в вулкано-сейсмическом поясе Камчатки и Курильских островов при ближайшем рассмотрении оказывается, что собственно вулканические проявления связаны с западной (Охотской) частью дуги, а фокальная область землетрясений подходит к поверхности в восточной (Тихоокеанской) половине дуги.

Таким образом, "можно говорить лишь о сопряженности в выделении энергии в вулканическом и сейсмическом поясах, рассматривая их как два русла, по которым стремится энергия из глубин Земли на поверхность, но эти потоки не сливаются, хотя и лежат совсем рядом, причем для движения тепловой энергии к земной поверхности характерно ее вертикальное направление, в то время как сейсмическая энергия получает разрядку в поясе сжатия, наклонно уходящем под континент" [131, с. 94]. Магматические очаги, питающие посредством субвертикальных каналов вулканы, заложены, вероятно, на глубинах около 200 км, где они пересекаются наклонной, уходящей вглубь мантии, фокальной зоной; речь идет о Курило-Камчатской дуге [143, с. 22–23]. Словом, как говорил А.В. Горячев [96, с. 202], "о прямой связи между сейсмичностью и современным вулканизмом Курило-Камчатской складчатой области можно говорить лишь в том смысле, что они проявляются в одной и той же структурной зоне. При более детальном рассмотрении между ними устанавливается *обратная* (курсив мой. — Г.Г.) зависимость". К этому мнению присоединился и Г.С. Горшков [95], подчеркивая роль процессов, протекающих в верхней мантии в развитии вулканических явлений.

Конечно, вопрос сложный. Еще в начале века Л.С. Лейбензон [108] говорил о том, что недра Земли находятся в вязком ("магматическом") состоянии, что при замедлении вращения Земли вокруг своей оси тонкая земная кора деформируется, что и вызывает землетрясения, особенно в низких широтах, а также и интенсивный вулканизм.

Что касается так называемых "вулканических" землетрясений, то с древних времен принято выделять три группы землетрясений: тектонические, вулканические и денудационные (карстовые). Типичным примером целого роя "вулканических" землетрясений могут служить, например, толчки, зафиксированные в Японии в районе вулкана Асама непосредственно перед сильным извержением последнего (10.11.58) — в сущности, рой (swarm) мелких толчков, очаги которых лежали в пределах самого аппарата вулкана, выше уровня моря, или поблизости от вулкана (рис. 2.5).

Вероятно, именно подобные "вулканические" землетрясения имел в виду Г. Траутшольд, когда писал (в 1872 г.): "Землетрясения и вулканические извержения... находятся в связи, что доказываются тем, что землетрясения следуют иногда за вулканическими извержениями, а иногда им предшествуют... Вообще можно сказать, что всем вулканическим извержениям предшествуют землетрясения; они усиливаются при на-



Р и с. 2.5. Очаги вулканических землетрясений, отмеченных в районе вулкана Асама перед его извержением 10.11.58

Заштрихована зона залегания исключительно мелких очагов землетрясений (по Т. Minakami,

чале извержения пепла, песка и шлаков и уменьшаются или совершенно прекращаются, как снова лава начинает изливаться из вулкана... Землетрясение — действие той же силы, которая вызывает, наконец, извержение". Но "самые опустоши-

тельные (землетрясения. — Г.Г.) случаются в странах, где нет вулканов, так как там нет выхода веществам, причиняющим землетрясения" [142, с. 146—148].

"Вулканические" землетрясения, как обычно считается, обладают рядом особенностей: во времени они предвещают вулканическое извержение (иногда за много времени), постепенно частота их увеличивается, так что происходит почти непрерывное "дрожание" тела вулкана непосредственно перед извержением. В пространстве их эпицентры не уходят далеко от вулканического аппарата, их очаги очень неглубоки, иногда заполняя тело вулкана выше его подножия (см. рис. 2.5). По интенсивности они, как правило, слабые и практически безопасные.

Недавно В.М. Зобиным выполнены детальные и сравнительно длительные инструментальные наблюдения на Камчатке (Толбачик, Ключевская сопка и др.); показано, что в некоторых отношениях "вулканические" землетрясения действительно отличаются своими специфическими свойствами, что энергия их обычно не превышает  $10^{11}$  Дж, что "сейсмическая активность развивается постепенно, число и энергия землетрясений в процессе роя плавно возрастают, а извержение происходит на фоне максимального уровня сейсмической активности" [98, с. 68], что "давление поднимающейся магмы пробуждает к жизни сейсмическую активность вулкана" [Там же, с. 67]. Но вместе с тем очаги характеризуются квадрантным распределением знаков вступления волн  $P$ , что, по мнению автора (согласно традициям учения о динамических параметрах), является признаком формирования эффузивной сейсмогенной трещины, и, следовательно, "механизм очага вулканических землетрясений, подобен механизму очага тектонических землетрясений региона" [Там же, с. 68].

Полагаю, что делать такой вывод рановато. Возможна иная интерпретация механизма очага, что может восстановить "суверенитет" "вулканических" землетрясений. В.И. Влодавец [85], вероятно, подразумевал именно "вулканические" землетрясения, со всей их спецификой, когда писал: "Возникновение трещин у магматического очага, поднятие и движение магмы, подземные взрывы — все это вызывает землетрясения разной силы, которые и предупреждают о приближении извержения" (с. 142).

Интересный опыт в этом отношении был проведен недавно группой ученых Института вулканологии ДВНЦ АН СССР под руководством С.А. Федотова. Было предсказано извержение вулкана Толбачик в 1976—1977 гг. В конце июня 1975 г. в районе вулкана Толбачик (Ключевская группа вулканов) возник "нарастающий рой неглубоких землетрясений" [145, с. 1195], на основании чего было высказано предположение о приближающемся извержении, которое и состоялось именно в тот момент и в том месте, где ожидалось. Извержение было могучим, очень сложным и длительным — с 6 июля 1975 г. по август 1977 г. [144]. Случай эффектный и несомненно уникальный.

## 2.5. ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Грязевые, или, как теперь предпочитают говорить, газо-нефтяные, вулканы представляют своеобразное и любопытное образование. В некоторых местах время от времени из недр Земли извергается полужидкая смесь воды, грязи, газов, обломков осадочных пород и т.п. На поверхности образуется более или менее широкий конус из затвердевшей грязи ("сопочная брекчия"). Извержение сопровождается шумом, выходящие из-под земли горячие газы нередко вспыхивают, земля вокруг сотрясается —

получается, следовательно, землетрясение, но особого рода, связанное именно с процессом извержения грязевого вулкана.

Грязевые вулканы известны на нашей территории на Керченском, Таманском полуостровах, на северном Кавказе, в Азербайджане (в низовьях Куры и на Апшеронском полуострове), в Западной Туркмении. Все названные районы располагаются в пределах альпийской складчатости, в межгорных или краевых депрессиях, выполненных мощными толщами кайнозойских отложений, весьма часто сопровождающихся газо-нефтяными месторождениями [73, 75].

Какое отношение имеют грязевые вулканы к землетрясениям вообще? Изменяет ли их наличие сейсмический режим? Последний зависит от общих тектонических условий данного района. Грязевые вулканы как одно из проявлений альпийской складчатости свидетельствуют о наличии сейсмической деятельности в данном районе, о реальности тектонических процессов, присущих альпидам, но, пожалуй, и только. Очаги грязевых извержений и связанных с ними землетрясений лежат сравнительно неглубоко под поверхностью земли. Уже в подстилающие кайнозойский чехол меловые отложения они опускаются редко и не бывают более глубокими. Очаги же обычных тектонических "фоновых" землетрясений распространяются на значительно большие глубины. Энергия колебаний почвы, вызванных грязевым извержением, по сравнению с обычными тектоническими землетрясениями весьма невелика.

Таким образом, грязевые вулканы хотя несколько и осложняют общую картину проявления сеймотектонических сил, но лишь в самой малой степени.

Литература по вопросу о грязевых вулканах чрезвычайно обширна. Здесь нет надобности излагать содержание этих работ. Отмечу из старых изданий лишь работу [75], из более новых — [73].

В некоторой степени к категории сейсмогенерирующих факторов можно отнести также структуры, связанные с соляной тектоникой, с карстовыми явлениями, некоторые кольцевые структуры эндогенного (вулканотектонические) и экзогенного (космические, импактные) происхождения и, наконец, факторы антропогенного происхождения (заполнение крупных водохранилищ, горные удары в подземных выработках и т.п.). Я не рассматриваю эти явления: землетрясения, связанные с ними, редки и слабы.

## Глава 3

### ВОПРОСЫ ГЕОФИЗИКИ (в связи с сейсмичностью)

#### 3.1. СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Вряд ли можно сомневаться в том, что тектонические напряжения, приводящие к землетрясениям, возникают, накапливаются и время от времени разряжаются в глубинах Земли, в недрах земной коры или даже еще глубже, в верхней мантии. Первоисточником этих напряжений служит, скорее всего, именно верхняя мантия, изучение которой стало важной задачей современной геофизики [5, 152, 156, 174, 176, 179—181, 192, 194, 196, 200].

**Верхняя мантия.** Напомню, что согласно современной модели земного шара последний состоит из трех частей: коры, мантии и ядра. Толщина коры меняется в пределах от 5 до 70 км, мантия простирается до глубины в 2900 км, и в центре расположено ядро с диаметром 3470 км. Мантия, в свою очередь, делится на верхнюю, среднюю и нижнюю, из которых верхняя протягивается до глубины около 1000 км и состоит из ультраосновных пород. В нижней части верхней мантии плотность пород достигает  $4,5 \text{ г/см}^3$ , давление доходит до  $0,4 \cdot 10^{12} \text{ дин/см}^2$ , температура, вероятно, близка к  $2000^\circ \text{C}$ . В этих условиях вещество, из которого состоит мантия, оставаясь твердым, приобретает способность к пластическим деформациям. Происходящие со временем изменения температуры приводят к появлению термоупругих напряжений; последние по своей величине за десятки миллионов лет могут достичь таких значений, которые превысят прочность вещества мантии (около  $10^8 \text{ дин/см}^2$ ), что, вероятно, "должно представлять интерес для таких проблем, как причины землетрясений, тектонических движений и горообразования" [180, с. 237].

Латеральные, а также радиальные неоднородности в верхней мантии (состав, физические свойства, строение) играют важную роль в ее динамике. К примеру, в работе [339], описана обстановка в недрах верхней мантии Карпатского региона, где подобные неоднородности зафиксированы до глубины в 200 км, и имеются основания связывать их с очагами землетрясений [185]. Ю.К. Щукин [185] недавно попытался дать схему распределения неоднородностей в мантии для всей территории СССР и связать особенности мантии с землетрясениями. Схема распределения остаточных глубинных аномалий силы тяжести, обусловленных горизонтальной плотностной неоднородностью вещества верхней части мантии, для территории СССР приведена в [155]. Несомненна ведущая роль физических процессов, протекающих в мантии в зонах концентрации глубоких очагов, т.е. в зонах Заварицкого—Беньофа. Имеются схемы, допускающие проявление субдукции, т.е. пододвигание океанических плит под материковые до глубин в 700 км, что якобы и ведет к возникновению очагов глубоких землетрясений. Автор данной книги склоняется к той идее, что наклонное (в сторону материка) положение фокальной зоны свидетельствует, если можно так выразиться, о "субдукции напряжений" (а не материала океанической плиты), именно скалывающихся напряжений субгоризонтального сжатия в переходной зоне от океана к материку, т.е. в условиях асимметрии строения<sup>1</sup>.

Особое значение в истории геофизических исследований имеет "Проект верхней мантии", одобренный Международным геодезическим и геофизическим союзом (МГГС, 1960—1971 гг.). Исследования, выполненные в соответствии с этим проектом, далеко продвинули наши знания в вопросе о строении верхней мантии (см., например, [201]). Не буду касаться этого вопроса; он стоит за пределами нашей непосредственной задачи, и, кроме того, здесь еще остается слишком много возможностей для произвольных и неубедительных решений (хотя, вероятно, в будущем придется многое отнести на счет активности верхней мантии).

**Земная кора.** Гораздо определеннее наши сведения о строении земной коры, в пределах которой расположена большая часть очагов землетрясений (особенно на материках), хотя и здесь еще многое остается за пределами точного знания.

Что такое земная кора? Можно ли считать поверхность Мохоровичича подошвой земной коры (хотя бы для "обычного" случая трехслойной коры)? "До настоящего времени нет еще единого мнения о природе нижней поверхности земной коры — границы Мохоровичича" [199, с. 16]. Какие "слои" она собою разделяет — различные по составу или по физическим свойствам? Да и существует ли она вообще в качестве единой, четко выдержанной поверхности? "Наши сведения о процессах, происходящих в коре, вопиюще ничтожны" [201, с. 16].

Конечно, многое сделано. И в самом общем случае, в самом первом приближении имеется возможность искать какие-то соотношения между строением коры и сейсмичностью.

В целях определенности, понимая, что здесь могут в будущем произойти даже принципиальные изменения, мы можем сегодня принять тезис о существовании сиалической земной коры, коры по меньшей мере трех типов [167]:

I. Трехслойная кора средней толщины (в среднем около 35 км), на континентальных платформах — "платформенный тип коры".

II. Также трехслойная кора, но более мощная (до 70 км) в альпийских складчатых зонах (т.е. эпигеосинклинальных орогенах) — "тип коры альпийских складчатых зон".

III. Двухслойная кора, наиболее тонкая (около 10 км), приуроченная к океанам — "океанический тип коры".

Вероятно, есть основание различать еще и другие типы коры, например субплатформенный, субокеанический, переходный от океана к континенту и др. Природа всегда богаче наших схем. Не буду пытаться здесь что-то уточнять — это дело будущего.

В целом, думаю, можно опираться на схему А.А. Борисова 1967 г. [154]; известны, конечно, и более новые схемы, особенно для некоторых регионов, но для наших целей достаточно иметь одну, сводную работу, заслуженно популярную в нашей стране и пока не сильно измененную позднейшими исследованиями (рис. 3.1, вкл.).

Первая, самая общая закономерность, вытекающая из сопоставления типов коры

<sup>1</sup> Редактор данной книги П.Н. Кропоткин придерживается именно такой точки зрения. — Г.Г.

с сейсмичностью, заключается в следующем: при коре платформенного типа с глубиной поверхности  $M$  от 30 до 40 км сейсмичность минимальна; таковы многие регионы, традиционно расцениваемые как асейсмичные. При утолщенной коре II типа (от 50 до 70 км) сейсмичность высокая; сюда относятся эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста. При коре переходного типа с сильными контрастами в рельефе поверхности Мохо (такова обстановка в зонах Заварицкого—Беньофа) сейсмичность максимальна, притом до глубин в сотни километров.

Следующим шагом при соответствующем статистическом анализе могла бы, вероятно, явиться попытка установления связи между сейсмичностью и величиной градиента деформации поверхности Мохо. По всей видимости, эта зависимость может быть обнаружена, но точность нанесения изолиний поверхности Мохо не такова, чтобы подобные вычисления на данном этапе оказались бы надежными.

Интересные выводы получаются при более внимательном рассмотрении вопроса о глубине очагов землетрясений.

Прежде всего обращают на себя внимание глубокие очаги. Основная их масса расположена в зонах Заварицкого—Беньофа, т.е. по периферии Тихого океана. Впадина Тихого океана с обрамляющими ее во многих участках "переходными" зонами является, видимо, совершенно уникальной мегаформой глобального значения.

Глубокие очаги встречаются и в других местах. Вероятно, нельзя считать случайным (я имею в виду прежде всего Европейско-Азиатский подвижный пояс альпийского возраста, т.е. эпигеосинклинальный ороген, протягивающийся от Гибралтара до Индонезии), что глубокие очаги возникают на участках крупного изгиба простирающихся альпийских складчатых сооружений: в дуге Гибралтара (Эр-Риф и Андалузские горы) на глубине до 640 км, в Тирренской (Калабро-Пелоританской) дуге — до 270 км, в дуге Восточных Карпат — до 200 км, в дуге Памира и северо-восточного Афганистана — до 260 км, в дуге Ассамы — до 120 км [172]. Изолинии подошвы очаговой области нередко образуют форму "воронки", целой или ее части, с возрастанием глубин очагов к ее центру (Гибралтар, Тирренское море, Ассам); в других случаях, вероятно, при большей изотропии вещества, очаговая область принимает форму "песочных часов", т.е. максимальные скалывающие напряжения взаимно пересекаются в двух диагональных по отношению к горизонтальному стрессу направлениях — на Памире, в Восточных Карпатах [168, 169, 317].

Несколько иначе обстоит дело в эпиплатформенных орогенах юга Сибири — от Тянь-Шаня до Забайкалья. Здесь очаги землетрясений, как правило, не выходят за пределы коры, спускаясь в мантию лишь в редких единичных случаях. Землетрясения происходят здесь реже, чем на территории альпийских орогенов эпигеосинклинального происхождения, но иногда отличаются исключительной интенсивностью и громадными размерами области распространения колебаний; наглядным примером могут служить землетрясения 1889 и 1911 гг. в Северном Тянь-Шане или 1905 и 1957 гг. в Монголии.

Рельеф подошвы коры в этих условиях тоже представляет некоторым образом зеркальное отображение дневной поверхности, как и в случае коры II типа, но в сглаженной форме, с глубиной поверхности Мохо не более 50—55 км. В этом смысле кора эпиплатформенных орогенов занимает как бы промежуточное положение между типами I и II.

Но вот что любопытно: иногда — именно, скажем, для района Алма-Аты, т.е. для Северного Тянь-Шаня — отмечается "полное отсутствие очагов за пределами земной коры... Наблюдается увеличение средней глубины очагов с севера на юг, что согласуется с поведением подошвы земной коры" [191, с. 147]. Другими словами, некоторое утолщение коры сопровождается углублением гипоцентров. Однако зафиксированы и обратные случаи.

Видно, вопрос сложный; можно привести немало примеров противоречивого характера.

### 3.2. ГЛУБИННЫЕ РАЗЛОМЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

В работе [191] выяснен факт отсутствия связи очагов землетрясений с глубинными разломами, как "уверенными", так и "предполагаемыми": гипоцентры землетрясений располагаются в "гранитном" или "базальтовом" слоях Кунгей-Алатау или Заилийского Алатау, в кристаллическом фундаменте хребтов, из чего с очевидностью вытекают "сейсмо-потенциальные" способности крупных активных блоков (как источников

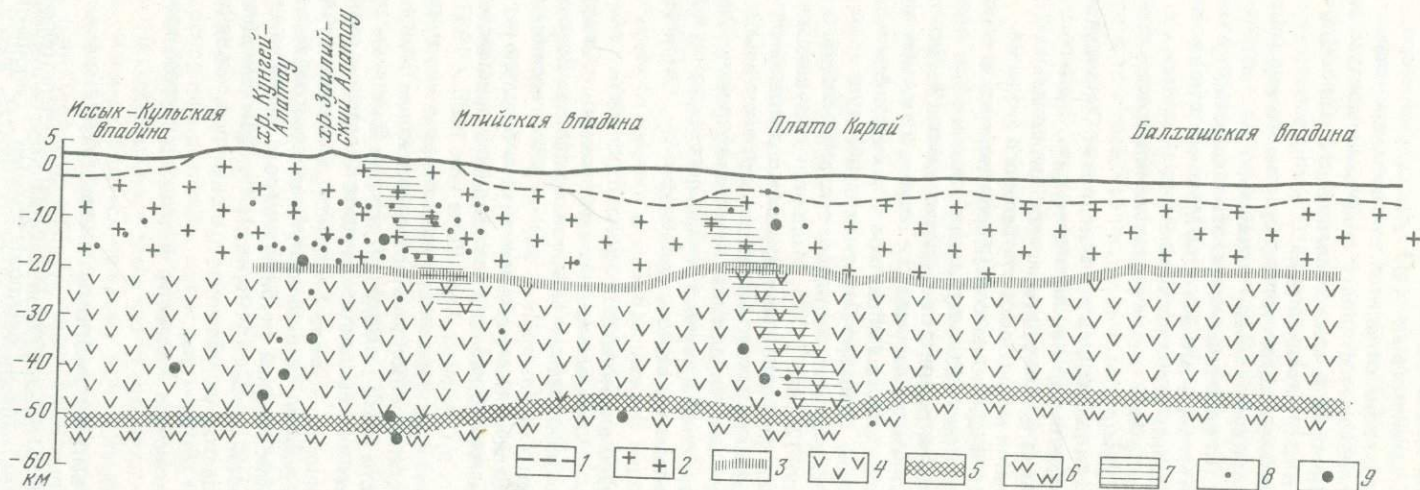


Рис. 3.2. Геолого-геофизический разрез земной коры по Кескеленскому профилю (Казахстан) (по [191], схематизировано)

1 — подошва палеозойского фундамента; 2 — "гранитный" слой; 3 — граница (переходный слой) Конрада; 4 — "базальтовый" слой; 5 — граница (переходный слой) Мохоровичича; 6 — мантия; 7 — разломы по геофизическим данным; 8 — гипоцентры землетрясений с  $K = 4$ ; 9 — гипоцентры землетрясений с  $K = 8-11$

сотрясений), но не сместителей разломов (рис. 3.2). В выявлении этого факта — принципиальное значение работы [191].

Итак, очаги землетрясений Северного Тянь-Шаня относятся к массивам Кунгей-Алатау и Заилийского Алатау и не имеют непосредственной связи с глубинными разломами, протягивающимися вдоль северного фаса этой горной системы. А как в других случаях? Ведь как будто очаги многих сильных землетрясений других мест Средней Азии, Южной Туркмении, Кавказа, Карпат располагаются вдоль соответствующих глубинных разломов, наглядно демонстрируя взаимосвязь этих двух элементов геодинамики?

Вероятно, W.N. Hobbs [806] был первым, кто ввел в науку понятие о крупных, глобального масштаба, линейных нарушениях, которым он дал наименование линейных элементов. Затем в истории геотектоники учение о таких разрывах приобрело популярность, в том числе в результате работ А.П. Карпинского, Н.С. Шатского, В.Е. Хаина и особенно А.В. Пейве. Интересную сводку этого понятия дал Ю.Я. Ващилов [158]. Известны и попытки понять механические условия возникновения планетарных глубинных разломов в реальных условиях вращающегося земного шара (например, [195]).

А.В. Пейве в 1945 г. дал определение и подчеркнул значение глубинных разломов [187]. Идея привилась, и в 1965 г. оказалось возможным составить схему распределения глубинных разломов для всей территории СССР масштаба 1:5 000 000. В 1980 г. опубликована карта разломов территории СССР и сопредельных стран масштаба 1:2 500 000 [178], где так называемые глубинные разломы занимают видное место. К сожалению, неумеренное увлечение этой формой нарушений привело в последнее время к тому, что во многих геологических и геофизических работах к категории "глубинных" авторь охотно относят всякого рода дизъюнктивные нарушения, среди которых действительно глубинных, в первоначальном их понимании, часто и нет.

А.В. Пейве в одной из статей дал такую формулировку: "Глубинные разломы характеризуются длительностью и унаследованностью развития, большим пространственным протяжением, большой глубиной заложения и определенной связью с формациями горных пород" [188, с. 90]. Он описал конкретные разрывы такого рода и предложил их классификацию.

Среди типичных глубинных разломов в пределах альпийского пояса юга СССР упомяну такие, как Вахшский, Дарваз-Каракульский, Талассо-Ферганский в Средней Азии, Предкопетдагский в Туркмении, "Южный" (Шемаха—Новороссийск) на Кавказе, Предкарпатский в Молдавии. Вдоль этих и других им подобных разрывов концентрируются очаги землетрясений, в том числе и сильных, что отчетливо видно на всех эпикентральных картах. Следует подчеркнуть, что очаги концентрируются в более или менее широкой полосе (многие десятки километров) именно вдоль трасс разрывов преимущественно со стороны одного (обычно приподнятого, т.е. висячего, более активного) крыла, и ни один гипоцентр, как правило, не ложится непосредственно на линию разрыва. Чтобы не возникло противоречия с гипотезой "очаг — разрыв", предлагается считать сместитель разрыва наклонным в сторону висячего крыла. К сожалению, мы оказываемся в этом случае в забавной ситуации, нередко возникающей в условиях заранее принятого предубеждения: по гипоцентрам проводится трасса сейсмогенного разрыва, а затем констатируется хорошее совпадение гипоцентров с разрывами. Почему не принять более простую и само собой напрашивающуюся мысль о тектонически активном и, следовательно, сейсмически опасном блоке (массиве) подвижного, как правило, висячего крыла, являющегося средоточием очагов землетрясений, т.е. накапливающего энергию и излучающего ее при каждой подвижке в процессе длительной геологической истории?

Я не хотел бы занимать в этом вопросе какую-то экстремальную позицию и полностью отрицать роль разрывов в возбуждении сейсмических колебаний. Они, разрывы, облегчают перемещение блоков коры, они могут служить (хотя и необязательно) границами испытывающего подвижку блока, они (их зальбанды) могут даже излучать некоторую энергию — при трении одного крыла о другое, — но все это сопутствующие, второстепенные явления, лишь сопровождающие основной процесс — перемещение блоков коры.

Рассмотрим Предкопетдагский глубинный разлом, поверхностным выражением которого служит "Главная гидротермальная линия" Копет-Дага — крупный, хорошо изученный, сложно построенный надвиг. При разрушительном Ашхабадском земле-

трясении 1948 г. признаков какого-либо оживления он не показал. Подвижку испытал в данном случае крупный блок коры, весь массив передового прогиба, ограниченный с юга, со стороны Копет-Дага, этим глубинным разломом, с востока, запада и севера — предполагаемыми погребенными разрывами. Амплитуда подвижки центральной части блока, как показали геодезические измерения, доходила почти до 2 м.

Возвращаясь к вопросу о земной коре, собственно, я отметил бы еще одну сторону дела.

Как показывают наблюдения, при землетрясениях преобладают мелкие очаги (до 20 км). Подобная закономерность проявляется всюду, независимо от геотектонической обстановки. Дело в том, что в верхней половине земной коры, по всей видимости, в реакции вещества на внешние усилия преобладают хрупкие деформации, а ниже этого уровня — пластичные. Расчеты показывают, что даже самые твердые породы, например докембрийские магнетитовые кварциты КМА [170], становятся способными к пластическим деформациям самого яркого и типичного проявления. Все породы на глубине 20 км или более в итоге эффекта всестороннего давления становятся пластичными.

На вопрос, могут ли возникать землетрясения с очагами глубже 700 км, ответа пока нет. Может быть, и могут. Рассуждения на тему о глубоких землетрясениях противоречивы и неопределенны [148].

### 3.3. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Гравиметрия. Сила тяготения создала Землю как планету, придала ей форму шара, контролирует распределение масс в глубоких недрах и до сих пор играет важнейшую роль в геодинамических процессах, как эндогенных, так и экзогенных. Ускорение силы тяжести отражает плотностные неоднородности в верхней мантии и в коре, а тем самым в какой-то мере и тектонические процессы, создающие такие неоднородности. Имеется ли конкретная связь между гравитационным полем Земли и сейсмичностью именно на данном этапе длительного развития Земли? Вопрос сводится к тому, какие значения ускорения силы тяжести и какие аномалии этого поля могут свидетельствовать о наличии и даже уровне сейсмической опасности.

Прежде всего можно зафиксировать факт прямой зависимости явлений, именно параметров сейсмического режима (энергия, интенсивность, частота землетрясений), от абсолютной величины аномалий силы тяжести: чем больше аномалия, независимо от ее знака, тем выше сейсмичность. Эта зависимость видна при сопоставлении гравиметрических и сейсмических карт, даже самого мелкого масштаба. Об этом говорили еще в 1930 г. Д.И. Мушкетов и П.М. Никифоров [814]. Тогда было мало наблюдений, осуществлялись они с трудом, вопросы теории гравитации оставались неразработанными, но выводы, к которым пришли указанные авторы по материалам экспедиции в Среднюю Азию, в Фергану, оказались четкими и ясными: в центре Ферганской депрессии были зафиксированы крупные отрицательные аномалии и констатировано: "...дефект компенсации в районе установлен определенно, что ведет к тенденции данной части земной коры к положительным вертикальным смещениям, что, в свою очередь, сопровождается многочисленными сильными землетрясениями" [814, с. 502].

Затем гравиметрические наблюдения приобрели беспрецедентный размах. Появилось бесчисленное количество специальных публикаций. Поскольку поле силы тяжести, т.е. гравитационные аномалии, в какой-то мере отражают тектоническое состояние литосферы, то они могут, вероятно, служить одним из показателей сейсмической активности. На возможность такой связи указывали в 1947 г. В.В. Вебер и В.В. Федынский [553], в 1963 г. — Е.Н. Люстих, в 1977 г. — М.Е. Артемьев и др.

В одной из работ — впрочем, подобных работ немало — по большому количеству данных по всей Земле было показано, что аномалии силы тяжести (в редукции Буге) в целом неплохо коррелируются с мощностью земной коры, с глубиной залегания поверхности Мохо, даже просто с "высотой уровня рельефа" [173]. Поскольку толщина коры и рельеф в конечном счете связаны с новейшими движениями, а последние — с сейсмичностью, то неудивительно, что аномалии силы тяжести могут служить одним из наводящих признаков сейсмической опасности.

Г.И. Агапова, Г.И. Круглякова и др. (ВНИИГеофизика) составили недавно повысотные карты гравитационного поля для СССР, в том числе и для высоты 50 км. Сопоставление этой карты с данными по распределению удельной сейсмической мощности пока-

зывает, что площади повышенных значений  $N_m$  коррелируются с участками повышенных значений аномального гравитационного поля — более 2,5 Е и особенно более 5,0 и 7,5 Е — в поле как отрицательных, так и положительных аномалий.

Особое значение в этом смысле имеют, по-видимому, аномалии изостатические.

Еще в диссертации Е.Н. Люстиха (1963 г.) была дана оценка реальности ряда геотектонических гипотез по данным об изостазии. Ряд работ принадлежит М.Е. Артемьеву.

В [149] М.Е. Артемьев отмечал, что для изучения связи гравитационного поля с сейсмичностью целесообразнее всего использовать изостатические аномалии: "...интенсивные изостатические аномалии непосредственно указывают на районы современной тектонической активности, в пределах которых естественно ожидать и повышенную сейсмичность. Между распределением очагов землетрясений и некоторыми общими закономерностями распределения изостатических аномалий существует зависимость" (с. 316). Автор перечисляет главнейшие из найденных зависимостей. Далее автор говорит, что "в районе повышенной сейсмической активности распределение эпицентров землетрясений связано в некоторой степени с характером гравитационного поля" (с. 309), но отмечает, основываясь на материале по Западной Европе и Средиземноморью, сложность этой связи: "...нельзя наметить явную зависимость между сейсмической активностью и величиной горизонтального градиента" (с. 317).

Правда, как указано в той же статье, Ш.С. Оганесян в 1958 г. [685] получил по Аратской долине более определенный результат (все эпицентры землетрясений совпадают с поясами горизонтальных градиентов в 4–5 мГал/км), В.А. Растворова [709] отметила связь новейших движений (а следовательно, и сейсмичности) с гравитационными аномалиями, но тем не менее вопрос остается сложным.

В 1966 г. М.Е. Артемьев решительнее констатирует: "Чем крупнее нарушения изостатического равновесия, тем, как правило, сильнее и сейсмичность... Значительная часть очагов землетрясений (значительная? Не все? — Г.Г.), особенно очагов в земной коре, приурочена к зонам повышенных значений градиентов изостатических аномалий" [150, с. 126].

В диссертации 1972 г. М.Е. Артемьев еще раз подтвердил свое мнение о связи между изостатическими аномалиями и сейсмичностью. Для ряда сейсмоопасных регионов СССР он выявил, что области повышенных гравитационных аномалий характеризуют районы потенциально более сейсмоопасные; приблизительно таковы же цифры и для других регионов.

Следует отметить, что не всегда выводы столь определены. Например, А.В. Ладьнин в диссертации 1970 г. установил, что интенсивность и знак изостатических аномалий не обнаруживают корреляции с сейсмичностью.

По ассоциации вспоминается концепция В.Боуи [157] о ведущей роли изостатических сил в орогенезе и превосходная статья Р.Чемберлина [798], развенчавшего геологическую роль этой концепции и показавшего, что горы создаются внутренними силами тектонического происхождения, и лишь в том случае, когда равновесие в коре благодаря тектонике нарушено, вступает в "игру" изостазия; она действует вопреки орогенезу и стремится восстановить равновесие, нарушенное более мощными силами орогенеза.

Мы пытались, совместно с Г.А. Шенкаревой [171], сопоставить аномалии силы тяжести, трансформированные на высоту 50 км, с сейсмичностью; последняя была представлена картой удельной сейсмической энергии  $E_m$ , рассчитанной для всей территории СССР. В итоге оказалось, что повышенным значениям аномалий ( $\Delta g > 2,5$  Е) в 2/3 случаев соответствуют повышенные значения  $E_m$ ; пониженным значениям  $\Delta g$  в более чем 90% случаев отвечают пониженные значения  $E_m$ . Площади, где наблюдаются соответствующие друг другу экстремальные значения обоих показателей, составляют более 90% от рассмотренной территории; площади, где подобное соотношение нарушается, занимают менее 10% всей территории.

В некоторых работах встречаются такие цифры: сейсмически опасными ( $K > 14$ ) нужно считать районы с абсолютными значениями аномалий силы тяжести более 30 мГал и с градиентом изостатических аномалий более 1 мГал/км. Нет надобности говорить, что цифры эти весьма провизорны.

Несколько позже на этом вопросе остановились в своей совместной статье Е.М. Артемьев и Б.П. Балавадзе [499]. Используя достаточно представительные материалы по изостатическим аномалиям для Кавказа, авторы показали, что для районов поднятий характерно преобладание положительных аномалий, для районов опусканий — отрицатель-

ных, из чего следует, что для новейшего этапа, создавшего рельеф, характерно развитие антиизостатических движений (которые, заметим, и могут нести некоторую ответственность за сейсмические явления. — Г.Г.). Приложенная к статье карта модулей горизонтальных градиентов остаточных изостатических аномалий показывает, что экстремальные значения модулей относятся, притом весьма точно, к нашим сеймотектоническим зонам повышенных значений  $N_m$  на Кавказе. Но вопросов сейсмичности авторы не затрагивают.

К тому же году относится работа М.Е.Артемяева и В.И.Бунэ [151]. Авторы указывают, что на восстановление нарушенного изостатического равновесия требуется  $10^4$ – $10^5$  лет, и на протяжении этого периода можно ожидать прямого соответствия в той или иной мере изостатических аномалий степени проявления сейсмических процессов; по материалам Кавказа и Средней Азии было найдено, что изостатическим аномалиям величиной около 100 мГал соответствуют сжимающие напряжения в 2–3 кбар и напряжения сдвига до 0,5 кбар и что чем больше аномалия и ее градиенты, тем выше класс землетрясения. Отсюда — возможность по гравиметрическим данным подготовить карту вероятной сейсмической опасности.

Осторожно формулировала свои выводы в этом вопросе Э.А.Джибладзе [175]. Сопоставляя материалы по сейсмической активности с изостатическими аномалиями силы тяжести на Кавказе, Э.А.Джибладзе получила результат “неопределенный”; при сопоставлении суммарной энергии землетрясений с градиентами изостатических аномалий и здесь “не удалось получить достаточно определенной корреляционной зависимости” (с. 59).

Еще пессимистичнее выводы В.Н.Гайского и соавторов [161]: “Не подтверждено наличие связи сейсмичности с изостатическими аномалиями, но, конечно, не доказано ее принципиальное отсутствие” (с. 72).

В позднейшей по времени статье Н.Ш.Камбарова [177] также рассматривается вопрос о связи сейсмичности с гравитационными аномалиями, в особенности изостатическими. Автор использует понятия о средней скорости вертикальных неотектонических движений коры  $v$ , среднем градиенте скорости этих движений  $\text{grad } v$ , о локальных изостатических аномалиях силы тяжести  $\Delta g_{\text{из}}$  и их градиентах  $\text{grad } \Delta g_{\text{из}}$  и устанавливает абсолютные значения этих величин, которые могут обусловить возникновение землетрясений класса  $K = 14$  (т.е.  $M \geq 5,5$  или  $I_0 = 8$  баллов). Значения эти следующие:  $v = 0,4$  мм/год,  $\text{grad } v = 1 \cdot 10^{-8}$  год $^{-1}$ ,  $\Delta g_{\text{из}} \geq 70$  мГал,  $\text{grad } \Delta g_{\text{из}} = 1,5$  мГал/км. Тщательно выполненные вычисления позволили автору в конечном итоге составить уточненную схему сейсмической опасности для всего Кавказа. В целом исследования, проведенные Н.Ш.Камбаровым, несмотря на несколько формальный характер вычислений, представляют определенный интерес.

Здесь уместно вспомнить о работах П.Г.Нестеренко и М.В.Стоваса, которые на основе богатого фактического материала и использования результатов исследований многих геофизиков (А.Веронне, А.Перрей, Н.Стойко, Г.П.Тамразян и др.), пришли к выводу о том, что одной из причин сейсмичности вообще служат изменения гравитационного поля, что, в свою очередь, связано с изменениями ротационного режима Земли и космическим воздействием: “... сейсмичность Земли значительно выше в перигее по сравнению с апогеем и в сизигиях по сравнению с квадратурами” [184, с. 85]; особую роль в возбуждении активности сейсмических очагов играют так называемые критические параллели — полосы между  $30^\circ$  и  $40^\circ$  с. и ю.ш. [183, с. 82]. Заключение эти достойны внимания, но популярными они до сих пор не стали.

Число конкретных примеров “сейсмо-гравитационных” работ можно значительно увеличить. Теперь имеются монографии и сборники, специально трактующие вопрос о связи сейсмичности с гравитационными аномалиями (и другими геофизическими полями), например [162, 324]. Но во всех случаях следует иметь в виду то, преждее, указание Р.Чемберлина [798] о превалирующем влиянии тектонических процессов над изостатическими и не искать нереальных связей, не преувеличивать их значение.

В методических рекомендациях по сейсмическому районированию “из всего комплекса геофизических данных о глубинном строении Земли гравитационные аномалии выделяются в специальный раздел” [273, с. 19], ибо они, как считается, наиболее информативны по сравнению с другими геофизическими данными. Но все же и в этом случае, “как показал опыт подобных исследований в Средней Азии и на Кавказе, значение изостатических аномалий и модулей их горизонтальных градиентов для зон с одинаковой сейсмической опасностью в разных регионах может различаться” [273, с. 20].

Вероятно, это обстоятельство вынудило автора соответствующего раздела "Методических рекомендаций ..." [273] воздержаться от конкретных указаний.

**Геомагнетизм и землетрясения.** Это очень трудный вопрос с наименее определенными ответами и наименее надежными перспективами. Нас интересует следующий вопрос: имеется ли надежда найти связи, ясные и достаточно уверенные, между геомагнитным полем и сейсмичностью?

Формулируя ответ, следует иметь в виду два обстоятельства.

Первое — тот, по видимому, факт, что магнитное поле, свойственное Земле, основным своим источником имеет ядро Земли. Именно вещество ядра по своему составу, физическим свойствам и состоянию таково, что формирует магнитное поле, пронизывающее мантию, кору, атмосферу и смежные пространства космоса. С процессами, протекающими в ядре, связан и так называемый вековой ход магнитного поля, в целом довольно постоянного, но всегда слегка меняющегося с периодом в несколько столетий.

В ядре очагов землетрясений нет. Вековые изменения магнитного поля, с нашей точки зрения, происходят медленно, с позиций геологических масштабов времени — быстро, но вряд ли эти изменения, каковы бы они ни были, могут существенно влиять на сейсмический режим более внешних оболочек планеты.

В работе [186] указывалось, что "вековой ход магнитного поля Земли тесно связан с сейсмической деятельностью нашей планеты" (с. 8) — вывод, который якобы следует, по мнению автора этой статьи, из сопоставления карты изопор  $Z$  всего мира (карты в изолиниях, соединяющих точки с равными скоростями векового хода) с картой сейсмической активности. Непредубежденный взгляд на эти две карты показывает, что никакой связи, никакого сходства между ними нет. В статье говорится: основной недостаток "глубинной" (т.е. связывающей магнитное поле с ядром) теории состоит в том, что "она не может объяснить важную зависимость между вековыми изменениями геомагнитного поля и сейсмической активностью Земли" (с. 14). Да, не может, но лишь по той причине, что подобной зависимости и не существует.

Более того, анализ более детальной карты магнитных аномалий для территории СССР показывает, что общая картина получается чрезвычайно пестрой и какая-либо связь с распределением сейсмических сил если и намечается, то лишь в самом общем виде: поле магнитных аномалий в складчатых зонах, в том числе альпийских, несколько сложнее, чем в условиях платформ. Напомним, например, что аномалии асейсмичного района КМА куда более интенсивны, чем заведомо сейсмического региона Карпат.

Локальные аномалии, обусловленные какими-то особенностями земной коры или даже ее наружных горизонтов (в том числе осадочной оболочки), достигают нередко больших значений. Состав пород, особенно при наличии в них ферромагнитных минералов (например, магнетита), особенно расположения этих пород и тем самым связь с тектоникой — эти условия создают аномалии как положительные, так и отрицательные (на общем фоне более или менее однородного геомагнитного поля). И даже отдельные сильные землетрясения приводят иногда к заметному перераспределению магнитных аномалий. Примеры тому есть, но их пока немного.

Недавно была проведена IX конференция по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма (Баку, 1973 г. [182]). В повестке было почти 200 докладов, но лишь один из них касался реального случая — Ташкентского землетрясения 1966 г., при котором как будто наблюдались вариации геомагнитного поля [182, ч. 2, с. 154]. Однако при наблюдениях в момент землетрясения 26.04.66 было установлено "отсутствие особых явлений в вариациях магнитного поля Земли" [60, с. 187]. То же и для ионосферных наблюдений — "Особых эффектов типа необычных расслоений или резких изменений параметров ионосферы (в частности слоев  $F_1$  и  $F_2$ ) не обнаружено" [Там же, с. 188], хотя в других случаях подобные эффекты, по-видимому, отмечались.

В 1968—1972 гг. там же, в Узбекистане, велись работы по изучению так называемого сейсмомагнитного эффекта на Ташкентском геодинамическом полигоне. Сейсмомагнитный эффект, как можно думать, должен следовать за изменением упругих напряжений в породах при подготовке землетрясений. Наблюдения показали, что такой эффект — антропогенного происхождения — как будто отмечается, но он ниже ошибок наблюдений. Что касается естественного поля, то результаты исследований нельзя считать убедительными и нужно вести "более детальные съемки" [182, ч. 2, с. 6—7].

Магнитометрические исследования с целью изучения глубинного строения сейсмоактивных зон были проведены в Армении. Исследования показали наличие в восточной

части страны крупных аномалий, до 400–500  $\gamma$ , того и другого знака, на основании чего можно было судить и о составе коренных пород. Но вопрос о связи магнитных аномалий с сейсмичностью не рассматривался [182, ч. 1, с. 5]. На Зангезурском полигоне (Армения) была как будто заменена некоторая зависимость сейсмамагнитного эффекта от давления; наблюдавшиеся локальные изменения геомагнитного поля объясняются ("можно объяснить") изменением напряженного состояния горных пород: "... с увеличением температуры и давления остаточная намагниченность интрузивных пород Зангезурского полигона уменьшается" [182, ч. 2, с. 11]; но опять вопрос о землетрясениях не рассматривается.

При Дагестанском землетрясении 14.05.70 "в большинстве случаев магнитное поле осталось без существенных изменений, но приняло более спокойный характер" [578, с. 181], т.е. абсолютные значения аномалий  $\Delta Z$  и  $\gamma$  практически всюду, по всем профилям, немного снизились в 1971 г. по сравнению с данными за 1970 г. Не исключена возможность того, что сказались какие-то особенности приборов или методов наблюдения.

Можно набрать некоторое число случаев, когда при сильных землетрясениях магнитное поле в зоне эпицентра действительно несколько изменялось. В упоминавшейся выше работе [186] говорится о том, что "причиной изменений магнитного поля во время отдельных землетрясений может быть, например, поднятие магматических масс к земной поверхности" (с. 14). Это возможно, но легче представить себе перераспределение намагниченных пород в итоге тектонических перемещений, переориентировку минеральных зерен в процессе сотрясения — в общем остается еще много путей для детальных исследований.

В диссертации Г.И.Почтарева (1964 г.) дается сводка мировых данных по геомагнетизму. Автор констатирует наличие на Земле отклонений от теоретической величины магнитного поля, но "... причины мировых аномалий не установлены"; они связаны с какими-то особенностями ядра Земли. Что касается региональных и локальных аномалий, то "причины происхождения этих аномалий установлены совершенно определенно и заключаются в основном в различии магнитных свойств горных пород, расположенных на глубинах до 10–20 км" [Там же]. Автор различает поля однородного намагничивания  $T_o$ , мировых аномалий  $T_m$ , региональных аномалий  $T_p$ , локальных аномалий  $T_l$ . Магнитное поле Земли с течением времени подвержено вековым изменениям, "причина которых не установлена" [Там же]. Но существует некоторая общая закономерность в распределении аномалий: "Мировые магнитные аномалии, располагаясь на платформенных блоках земной коры, совпадают с областями, не отличающимися сейсмической активностью. Области наиболее интенсивных вековых изменений геомагнитного поля, располагаясь в геосинклиналиях, совпадают с зонами высокой сейсмической активности".

К сожалению, в таких фундаментальных изданиях по вопросам физики Земли, как [152, 180, 194 и др.], связь геомагнетизма с сейсмическими явлениями практически не затрагивается.

Большое внимание этому вопросу — о геомагнетизме и сейсмичности — уделяли Г.К.Грабовский, А.Г.Калашников, Е.И.Кондорский, Г.Н.Петрова. Детальные исследования будущего, может быть, позволят сформулировать какие-либо определенные и надежные выводы.

**Геотермика.** Термальный режим земного шара, распределение и динамика эндогенного тепла, геотермические аномалии — казалось бы, что и в настоящую эпоху развития Земли названные факторы могли бы влиять на сейсмогенные процессы. Однако изменения термального режима происходят так медленно, что улавливание их является задачей большой трудности.

В известной монографии Е.А.Любимовой [180] можно найти несколько фраз о том, что изменение температуры в недрах Земли "должно представлять интерес для таких проблем, как причины землетрясений, тектонических движений и горообразования" (с. 237) или что скорость накопления разности термоупругих напряжений такова ( $50 \text{ (дин/см}^2\text{)} \cdot \text{год}$ ), что величина порядка  $10^8 \text{ дин/см}^2$ , отвечающая прочности пород коры, достигается за десятки миллионов лет, что сравнимо "с протяженностью геологических эпох" (с. 240); более определенных указаний нет и здесь.

Анализ таких карт, как [797], показывает, что даже для Европы обнаружить какую-либо связь теплового потока с сейсмичностью не удастся. Некоторый, самый общий вывод, вероятно, можно сделать: аномалии крупные (по абсолютной величине) характер-

ны для складчатых областей альпийского возраста; в пределах же более древних складчатых областей или платформ величина аномалий теплового потока снижается. Но и в этой, самой общей "закономерности" наблюдаются различные вариации, так что исключений из "правила" имеется множество — и в отношении площадного распространения аномалий, и даже знака их. В ряде мест встречаются значительные аномалии узколокального значения и в общем неясного происхождения. Таким образом, до установления какой-либо корреляции между сейсмичностью и тепловым режимом пока еще далеко.

Это не касается таких регионов, как зоны Заварицкого—Беньофа, где в тесной комбинации встречаются и повышенный тепловой поток, и активный современный вулканизм и интенсивная сейсмичность, но и здесь выделить ту долю теплового потока, которая отвечает — если отвечает — за сейсмическую деятельность в регионе, затруднительно.

Таким образом, пока предпочтительнее воздержаться от твердых формулировок, полагая, что решение вопроса будет зависеть от будущих, более детальных и целеустремленных исследований.

#### 3.4. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ

Реальность полей тектонических напряжений в недрах Земли — во всяком случае, в земной коре и в верхней мантии — сомнений не вызывает. Одним из свидетельств тому служат землетрясения. Подземный удар возникает в тот момент, когда напряжения, медленно, но непрерывно накапливающиеся в веществе Земли, достигнут предела прочности вещества, и определенные объемы последнего деформируются, смещаются, сбрасывая энергию (вероятно, не полностью), которая распространяется в форме упругих волн во все стороны от очага по телу Земли. Подобное общее положение стало ясным давно, но лишь во второй половине нашего столетия учение о полях тектонических напряжений или — более широко — новая ветвь тектоники, именно тектонофизика, получила широкое признание и обильную специальную литературу (например, [212]).

Среди множества литературных источников отметим лишь некоторые.

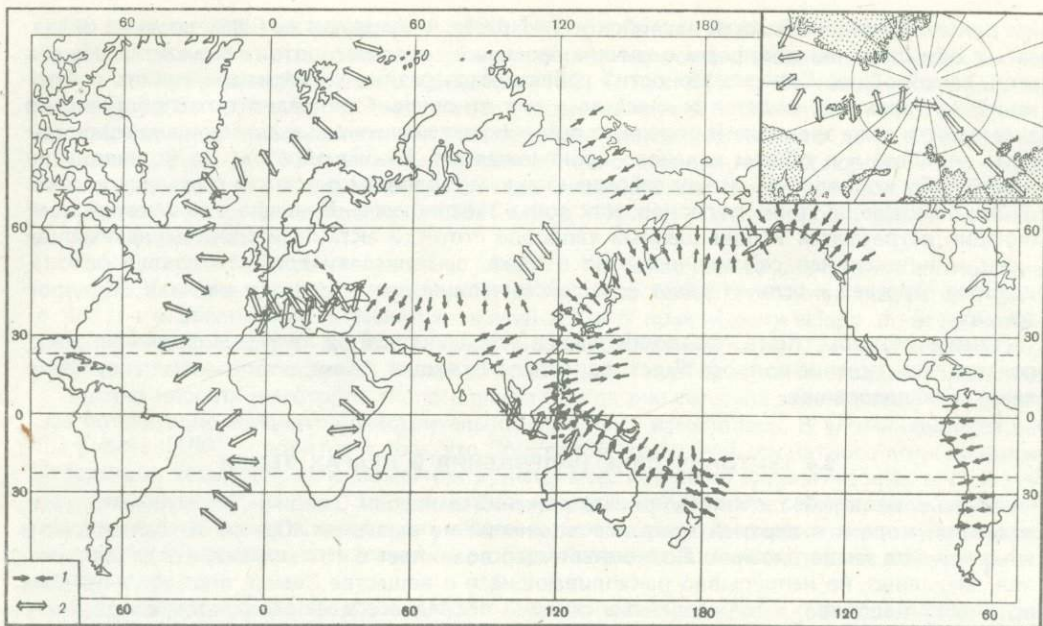
Одной из ранних была работа А.В.Введенской [159], которая использовала, как она отмечает, "теорию дислокаций"; на этой основе она "определяет" поля смещений в очагах землетрясений. Очаг рассматривается в качестве тектонического разрыва. Идея эта нашла своих последователей — Н.А.Введенскую, В.И.Кейлис-Борока и многих других, развивавших различные аспекты этой теории, углублявших методику исследований как в теоретическом плане, так и региональном (рис. 3.3).

В пятидесятых же годах вышли статьи М.В.Гзовского [90], рассмотревшего вопрос с более широких позиций и попытавшегося в полной мере учесть геологические соображения, относящиеся к понятию о сейсмичности.

Значительно позже вышел в свет сборник [189], посвященный главным образом вопросу о механизме очагов землетрясений. В статьях А.В.Введенской, Л.М.Балакиной, Л.А.Мишариной рассмотрены вопросы методические, Л.М.Балакиной, Е.И.Широковой, Н.В.Голубевой — региональные. А.В.Введенская описала поле упругих напряжений Земли в целом и опубликовала любопытную карту главных осей напряжений сжатия и растяжения — карту очевидного значения для тектонических реконструкций (см. рис. 3.3). Карта показывает, что области альпийской складчатости характеризуются напряжениями сжатия, современные рифты (Байкал, Восточная Африка, Атлантический океан) — напряжениями растяжения. Главные оси ориентированы преимущественно горизонтально и вкрест простирания структур (что, впрочем, давно констатировали геологи).

В семидесятых же годах опубликовал свои замечательные работы М.В.Гзовский [165, 166 и др.] Монография "Основы тектонофизики" [166] — исследование фундаментального значения. М.В.Гзовский, в сущности, создал новое направление в тектонике, притом непосредственно относящееся к сейсмотектонике. Автор изложил физические основы теории тектонических процессов, рассмотрел с позиций тектонофизики геологические критерии сейсмичности и затронул вопросы о состоянии глубоких недр Земли, напряженном состоянии земной коры и энергии тектонических процессов. Книга М.В. Гзовского представляет собой оригинальное исследование большого значения для сейсмотектоники.

Напряжение, по М.В.Гзовскому, — это величина, характеризующая "распределение



Р и с. 3.3. Ориентация главных осей в поле упругих напряжений Земли (по [159], схематизировано)  
 1 — наибольшие относительные сжатия; 2 — наибольшие относительные растяжения

внутренних сил по площади сечения, на которое они действуют, имеющая размерность силы, деленной на площадь" (с. 30). Следует различать три главных нормальных напряжения:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , действующих на трех взаимноперпендикулярных сечениях. Направления действия главных нормальных напряжений называются осями напряжений. Касательные напряжения, действующие на сечениях, проходящих через одну из осей напряжений и биссектрису угла между двумя другими осями, называются главными касательными напряжениями:  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ ;  $\tau_1 = \pm 1/2(\sigma_2 - \sigma_3)$ ;  $\tau_2 = \pm 1/2(\sigma_3 - \sigma_1)$ ;  $\tau_3 = \pm 1/2(\sigma_1 - \sigma_2)$ .

Напряжениями вызываются деформации, т.е. "изменения в относительном расположении частиц материального тела, возникающие в результате силового воздействия на него" (с. 28).

Далее М.В.Гзовский рассматривает ползучесть твердых тел, упругость и вязкость (последняя изменяется от  $2 \cdot 10^{14}$  до  $2 \cdot 10^{22}$  пуаз в зависимости от состава пород), прочность горных пород и подробно анализирует механизмы образования деформаций — складок и разрывов в толщах горных пород.

Большое внимание уделяет М.В.Гзовский вопросу о тектонофизическом обосновании геологических критериев сейсмичности. И вот здесь мы встречаемся с некоторым не совсем ясным обстоятельством. В 1973 г. М.В.Гзовский писал, что для определения энергии потока упругих колебаний, излучаемых очагом землетрясения, нужно знать "форму и границы очага" [165, с. 38]; его считают либо сферическим, либо эллипсоидальным, либо призматическим, но во всех случаях это некоторый объем  $V$ , и "каждая единица объема" (точнее, каждая материальная единица массы вещества этого объема? — Г.Г.) излучает энергию  $U_S$ , которая определяется как частное от деления общей энергии землетрясения  $U_S$  на объем  $V$ , т.е.  $U_S = U_S/V$  (с. 39). Таким образом, постулируется наличие некоторого, испускающего сейсмическую энергию объема.

Но в [166] М.В.Гзовский пишет несколько иначе: "В настоящее время признано, что непосредственной физической причиной землетрясения является возникновение новых или обновление старых тектонических разрывов" (с. 261). Не получается ли у автора некоторого противоречия с прежними представлениями?

В последующих главах своей монографии М.В.Гзовский рассматривает вопросы гео-

логии (точнее, тектоники) землетрясений, формулирует ряд интересных, существенных мыслей.

Он констатирует, что повышенные значения касательных напряжений свидетельствуют о повышенной сейсмической опасности, о связи между горизонтальным градиентом скорости новейших вертикальных тектонических движений и сейсмичности (см. также [164]), отмечая, что повышенные значения  $\text{grad } v_m$  сопровождаются повышением показателей сейсмической опасности.

Так, сведения о распространении тектонических напряжений и о градиенте новейших движений, т.е. тектонофизические и геологические данные, позволяют судить о потенциальной сейсмической опасности, т.е. выделять области повышенной сейсмичности. К таким областям относятся [166, с. 268—269]: а) места наибольшей структурной дифференцированности земной коры; б) места наибольших структурных "уступов" и "уклонов", в частности крылья антиклинорий и крупных поднятий, расположенных непосредственно рядом с прогибами; в) места наибольшей интенсивности современного развития тектонических разрывов; г) места наиболее молодой вулканической деятельности; д) места наиболее дифференцированного рельефа тектонического происхождения; е) места наибольших уклонов и уступов в рельефе тектонического происхождения.

"Общим для всех указанных мест является существование максимальных градиентов скорости новейших и современных тектонических движений" [166, с. 268—269].

Позиция М.В. Гзовского ясна. Он видит разрывы, видит контрастные движения — отсюда первые шесть обобщений. Но, увлеченный этой идеей, он не склонен замечать более серьезной в энергетическом отношении роли смещений гигантских блоков, массивов, структур земной коры в целом, т.е. тех процессов, которые обладают несравненно более высоким энергетическим потенциалом, чем разрывы; последние скорее потребляют энергию на свое образование, чем излучают ее. С учетом этой поправки придется сильно снижать сейсмогенерирующие способности тектонических разрывов, по иному интерпретировать роль шовных зон и контрастных движений.

Соответственно М.В. Гзовский решает и методические вопросы в отношении сейсмического районирования.

В 1979 г. вышли из печати сборник статей о полях напряжений в литосфере [190] и монография Е.В. Артюшкова "Геодинамика" [153]. В [190] нашли свое отражение такие вопросы, как "теория дислокаций", учение о "динамических параметрах очагов землетрясений", результаты теоретических, полевых и экспериментальных (в том числе моделирование) исследований в области тектонофизики и т.д. — статьи О.И. Гущенко, А.В. Михайлова, Д.Н. Осокиной, В.В. Степанова, Н.Ю. Цветковой и др.

Книга Е.В. Артюшкова [153] представляет, в сущности, первую в СССР сводку сведений и положений о физическом состоянии вещества литосферы и астеносферы, о роли изостазии, о форме и происхождении движений (как вертикальных, так и горизонтальных) в глубоких недрах Земли, о соответствующих им напряжениях. Автор рассматривает вопрос о происхождении сильных землетрясений и в заключение излагает "глобальную схему тектогенеза". Книгу отличает совершенно очевидный уклон в сторону "новой глобальной тектоники" и обилие оригинальных, логично построенных положений, изложенных, впрочем, несколько декларативно, что заметно снижает объективность выводов.

К тому же 1979 г. относится оригинальная (если не сказать самобытная) монография М.В. Авдулова [1], который в главе 11 формирует следующие, несколько, может быть, тривиальные выводы: "1. Все наиболее сильные землетрясения земного шара происходят в зонах тектонической активности. 2. Сейсмические толчки не происходят на глубинах выше 700 км. 3. Наблюдается закономерное уменьшение количества сейсмических толчков с глубиной. 4. В подавляющем числе в очагах землетрясений происходит сдвиговое перемещение масс. 5. В очагах землетрясений активных тектонических районов оси сжимающих напряжений ориентированы полого и вкост простирания тектонических структур. В направлениях осей растягивающих напряжений крутая ориентация встречается чаще" (с. 80).

Итак, геофизика обладает могучими способами анализа геодинамических условий и процессов, характерных для недр Земли. Во многих случаях она дает убедительные и уникальные результаты, касающиеся связи сейсмических явлений с различными по своей природе геофизическими полями. Но в формулировках выводов, касающихся определенных количественных связей, следует пока проявлять осторожность: слишком сложна, многогранна и разноречива геодинамическая жизнь недр нашей планеты.

## Глава 4

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СЕЙМОТЕКТОНИКИ

#### 4.1. СЕЙМОДИСЛОКАЦИИ

**О сейсмодислокациях.** Разнообразные, иногда чрезвычайно эффектные и порою опасные изменения рельефа дневной поверхности и строения толщ коренных пород и четвертичного покрова — трещины, оползни, оплывины, сели, поднятия, проседания, наклоны, изгибы, перекосы, разрывы слоев и массивов коры — нередко наблюдаются при сильных землетрясениях. Визуальные наблюдения и инструментальные измерения показывают, что подобные нарушения охватывают иногда огромные площади: они отмечаются не только в эпицентре, но и далеко за его пределами, наглядно указывая на размеры активного, испытавшего деформацию блока пород — очага землетрясения.

В своем фундаментальном пособии по физической геологии И.В. Мушкетов и Д.И. Мушкетов еще в 1935 г. перечисляли "изменения поверхности", сопровождающие сильные землетрясения: "Изменения эти кажутся с первого взгляда довольно разнообразными: разрывы поверхности, расселины и трещины, опускания отдельных участков, вздутия, нагромождения взломанных глыб земли, обвалы склонов, сухие или в форме оплывин, и как следствие нарушения режима поверхностных и подземных вод — образование озер, исчезновение и появление источников, изменение их дебита, температуры, чистоты, минерализации, образование грязевых сопок и т.п." [113, с. 615]. Авторы указывали на две категории таких нарушений: "1) от сотрясения вследствие прохождения упругих волн и 2) от действительного смещения на глубине" [Там же].

Известны эффектные сейсмодислокации (остаточные деформации), возникшие при сильных землетрясениях в Тянь-Шане (1911 г.), Копетдаге (1948 г.), в Восточном Прибайкалье (1950 г.), на Кавказе (1968, 1970 гг.). Интересные исследования в этом направлении принадлежат Д.Н. Казанли, А.И. Полетаеву, Л.М. Расцветаеву, В.Г. Трофимову, Я.С. Сергину по Туркмении [875, 881, 891, 898], В.К. Кучаю по Таджикистану (1976 г.), А.Б. Островскому, В.П. Солоненко, В.С. Хромовских и другим авторам по Прибайкалью и Кавказу [687, 689, 746], П.Н. Николаеву, И.В. Щукиной по Крыму. В.П. Солоненко предложил схему классификации сейсмогенных дислокаций, которые он разделяет на сеймотектонические, гравитационно-сеймотектонические, сейсмогравитационные [224, 225].

Сеймотектонические дислокации представляют собой в чистом виде тектонические нарушения — поднятия, опускания, наклоны, изгибы, разрывы, образовавшиеся при сильном землетрясении и видимые на поверхности, фиксируемые как визуальными, так и геодезическими и другими инструментальными методами.

Второй тип нарушения — гравитационно-сеймотектонические, возникающие на поверхности Земли в результате тектонических движений, но выраженные обвалами и другими смещениями масс с несомненным участием гравитационных сил.

Третий тип — сейсмогравитационные явления, к которым относятся вызванные землетрясениями обвалы, оползни-обвалы, земляные лавины, потоки, сели и т.п.

Схема эта, быть может, несколько излишне усложнена; при отнесении сейсмодислокаций к тому или иному типу могут встретиться трудности и не всегда решение бывает однозначным. Тем не менее В.П. Солоненко в значительной мере прав, когда придает большое значение "сеймотектоническому процессу" как "рельефообразую-

щему фактору", указывая, что "при сильных землетрясениях в движение приводятся участки земной коры, нередко занимающие по площади многие тысячи квадратных километров" [228, с. 51] и наглядно выражающиеся, в частности, в палеосейсмодислокациях как складчатого, так и разрывного характера.

Наиболее целесообразно в первую очередь делить сейсмодислокации на две группы: современные и палеосейсмодислокации. Первые относятся к современному этапу развития Земли, они происходят на наших глазах; вторые — более древние: голоценовые, плейстоценовые или еще древнее.

Затем представляется целесообразным делить их также на две группы по другому принципу: на первичные, связанные с процессом возникновения землетрясения (сеймотектонические дислокации), и вторичные, являющиеся следствием сотрясения Земли (сейсмогравитационные дислокации); в образовании последних неизбежно участвуют гравитационные силы.

В январе 1972 г. МСССР АН СССР и Мингео СССР провели совещание на тему "Сейсмогенные структуры и сейсмодислокации" [222]. Программа совещания была весьма насыщенной. Многие доклады касались конкретных примеров палеосейсмодислокаций в различных районах СССР. В решениях совещания отмечается, что "современные и голоценовые сейсмодислокации, а также палеосейсмодислокации" как яркое проявление тектонической активности земного шара заслуживают того, чтобы соответствующие исследования были поставлены более широко и целеустремленно, чем было до сих пор [222, с. 116—119].

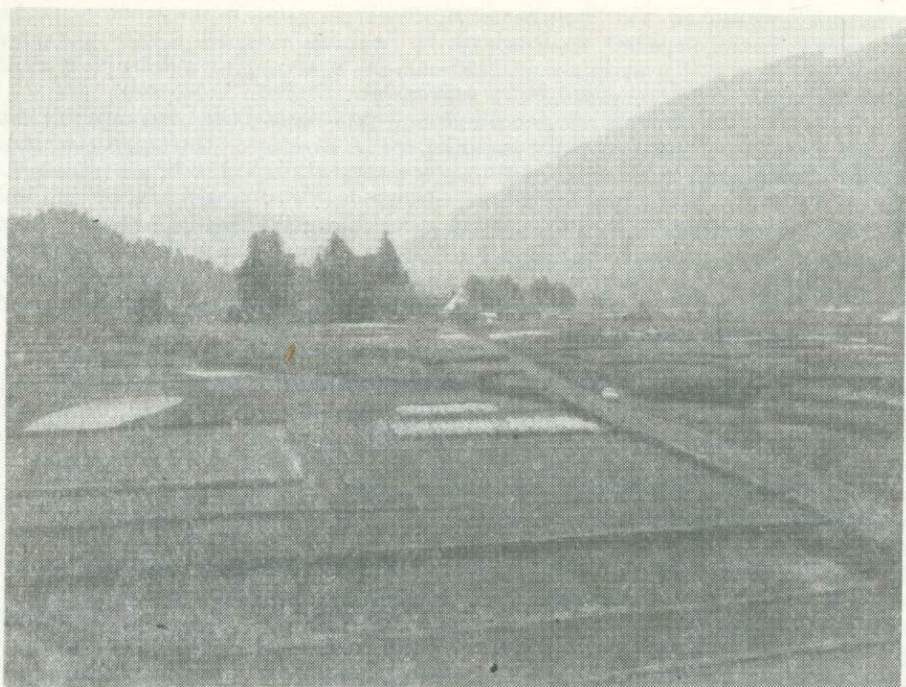
Интерес вызывает монография [689], в которой авторами различных глав выступают В.М. Жилкин, Р.М. Семенов, В.П. Солоненко, В.С. Хромовских. Авторы обнаружили в Главном Кавказском хребте ряд весьма впечатляющих деформаций (в большинстве случаев действительно сейсмодислокаций), описали их и сформулировали ряд выводов принципиального значения. В сборнике имеется несколько карт сейсмогеологического содержания (см. также [219, 223, 226, 227]).

Не менее существенное значение, особенно в практическом смысле, имеют так называемые сейсмогравитационные нарушения. Г.С. Золотарев, указывая на зависимость оползней, обвалов, селевых потоков от землетрясений, констатирует: "Сейсмичность — одна из форм проявления современных тектонических процессов, и в приложении к проблеме устойчивости склонов ее следует оценивать как фактор, способствующий раздроблению массива пород и изменению их механических и других свойств, и как "силовой" фактор, перераспределяющий напряжение в породах склона и создающий очаги их концентрации" [209, с. 11]. Во многих случаях эта связь очевидна — автор указывает на примеры крупных обвалов и оползней, сопровождавших землетрясения в Дагестане 1970 г., Чхалте 1963 г. и ряд других. "Количественная оценка влияния сейсмичности на возникновение на высоких склонах обвалов, оползней, осовов и курумов мало разработана", но "расчеты сейсмологов показывают, что происходит возрастание, не менее чем в 1, 5—2 раза, а возможно, и более горизонтальной составляющей (? — Г.Г.) сейсмических волн вверху склонов долин горных рек по сравнению с русловой частью" (с. 14).

Об аналогичных явлениях в Средней Азии писали М.Ф. Иванова, Н.П. Костенко [210] и др. Вопросом о селях занимался С.М. Флейшман [233], иногда указывая на их возникновение в связи с землетрясениями. Л.А. Варданянц [534] считал землетрясения причиной обвалов ледников Центральной части Главного Кавказского хребта.

Изучением лавин много занимался Г.К. Тушинский. Он писал: "Совершенно очевидно, что землетрясения могут вызвать массовый сход лавин. В литературе известны факты падения лавин под влиянием сейсмических причин" [229, с. 31].

И все же так называемые первичные сейсмодислокации представляют особый интерес. Они непосредственно связаны с процессом возникновения землетрясения, они — прямой показатель сущности очага землетрясения, они — часть этого очага. Иллюстраций тому можно привести сколько угодно на материалах Советского Союза, Японии, США, Индии, Турции и многих других стран. В настоящее время поиски сейсмодислокаций становятся важным атрибутом сейсмогеологических исследований; они помогают оценивать силу землетрясений, в том числе давно прошедших, не сохранившихся в памяти людей, а также пределы их распространения, особенно в случае пробелов в сейсмостатистике. Достаточное указать на сборник [208], содержащий много любопытных примеров на эту тему. Не будет лишним остановиться на некоторых конкрет-



Р и с. 4.1. Сброс Мидори, Япония (фото Г.П. Горшкова, 1965 г.)

ных примерах современных сейсмодислокаций; с ними автору пришлось встретиться при работе в Японии.

**Некоторые иллюстрации из наблюдений в Японии.** Недавно автору довелось в течение года работать в Японии и благодаря любезному содействию руководителей Международного Сейсмологического Института в Токио посетить ряд эпицентральных зон сильных землетрясений Японии и ознакомиться с эффектными сейсмодислокациями, сопровождавшими эти землетрясения. Приведу некоторые примеры.

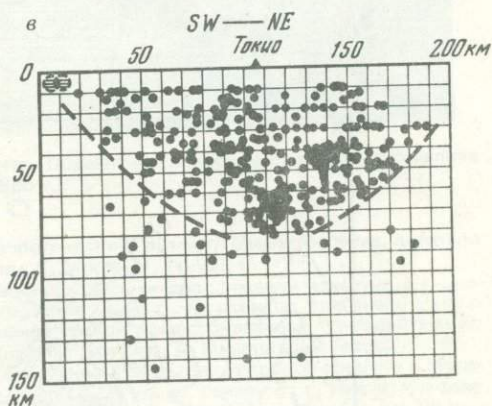
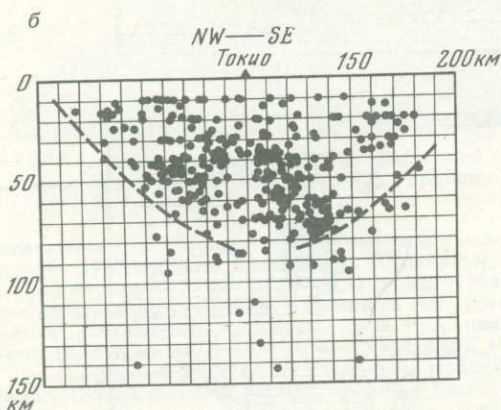
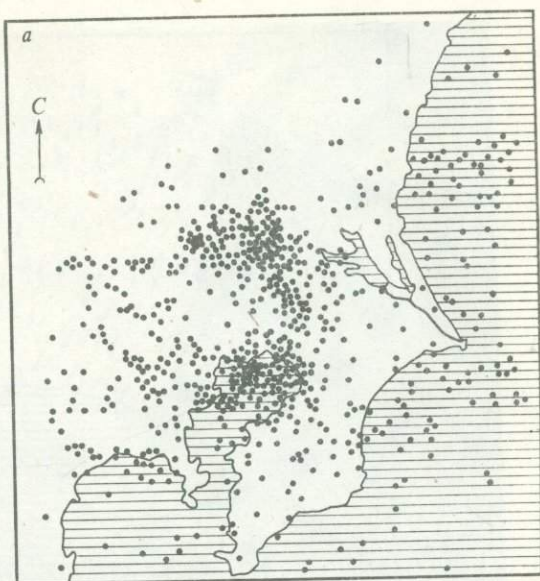
Землетрясение 28.10.1891 ( $M = 8,0 \div 8,4$ ) в Мино-Овари, префектура Гифу, о-в Хонсю. При этом землетрясении возник сброс Мидори, ставший знаменитым благодаря фотографии, выполненной тогда же доктором Б. Кото и обошедшей много специальных изданий. Я сфотографировал этот сброс с той же точки, с которой сделал свою фотографию Б. Кото (рис. 4.1). Обращает на себя внимание хорошая сохранность уступа, отвечающего сместителю сброса (укрепленной подпорной стенкой из рваного камня), а также тот факт, что общий ландшафт местности с тех пор почти не изменился. Вертикальная амплитуда составила приблизительно 6 м, левостороннее смещение в горизонтальном направлении — около 4 м, длина видимого на поверхности разрыва — до 0,5 км. Следует иметь в виду, что сброс этот — отнюдь не единственное нарушение в данном случае, наоборот, в потрясенной области повсеместно обнаружены и зафиксированы сложные деформации поверхности на большой площади от побережья Японского моря на северо-западе до городов Нагойя и Оказаки на юго-востоке. Отмечен "развитый на большой площади подъем коры примерно на 70 см, тогда как в других местах очаговой области произошло опускание на 30–40 см" [203, с. 53]. как показали нивелировки до и после землетрясения (работы Y. Endo, T. Hagiwara, Y. Kayano, H. Konetu, T. Matsuda, R. Morimoto, I. Murai, I. Muramatu, H. Simono, A. Sugimura, S. Suzuki, H. Tsuya).

19.08.61 в тех же местах, в горах района Кито-Мино, на границе префектур Гифу, Фукуи и Исикава, произошло новое сильное землетрясение ( $M = 7,0 \div 7,5$ ), и вновь северо-восточное крыло сброса Мидори на большой площади испытало деформации, преимущественно поднятия, сопровождавшиеся большим количеством обвалов, оползней и трещин на крутых склонах гор (по данным T. Hagiwara, I. Kayano и др.).

Землетрясение 1.09.23 ( $M = 8,2$ ) в Токио, префектура Канто. Оно оказалось катастрофическим для Токио — погибло 142 000 человек. Эпицентр находился близ залива Сагами, вокруг которого расположены кварталы Токио и его пригородов (рис. 4.2). Тщательно выполненные измерения деформаций поверхности в зоне эпицентра показали, что землетрясение сопровождалось опусканиями дна залива, поднятиями по берегам залива и горизонтальными смещениями суши вокруг залива (рис. 4.3). Испытал поднятие, в частности, п-ов Миура и расположенный у его восточного берега о-в Эносима, что хорошо видно непосредственно: массив острова окружен, как цоколем, вышед-

Р и с. 4.2. Землетрясение 1.09.23 в префектуре Канто (По японским источникам, Т. Kodaira, 1951)

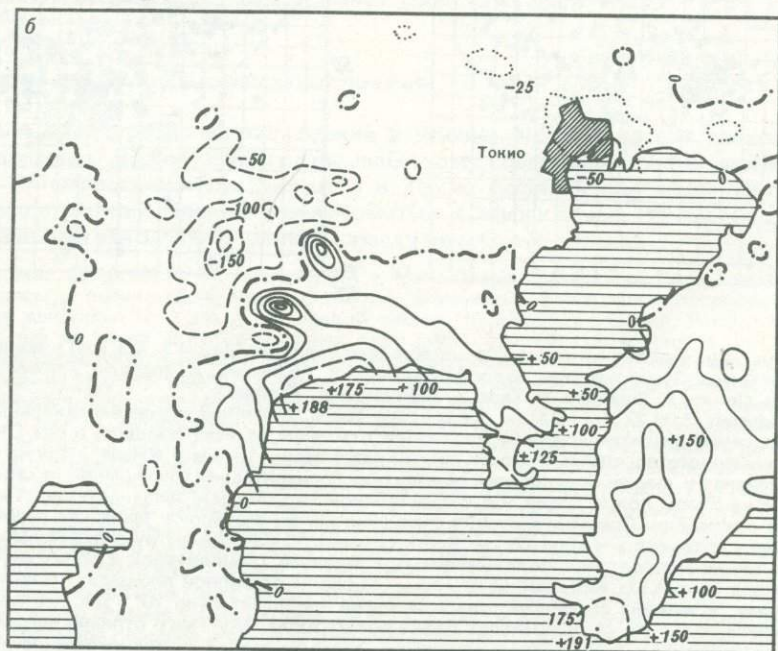
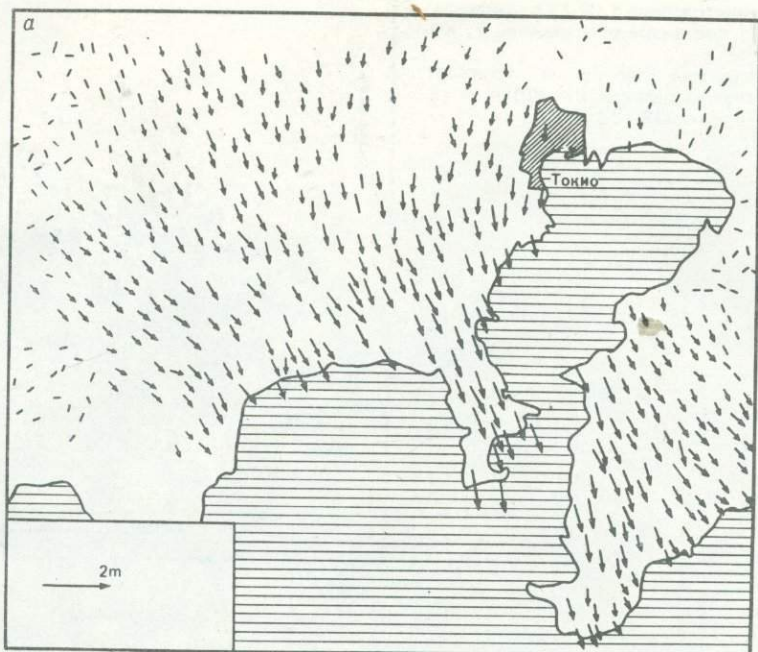
а — эпицентры повторных толчков;  
б — гипоцентры на разрезе СЗ—ЮВ; в — гипоцентры на разрезе ЮЗ—СВ



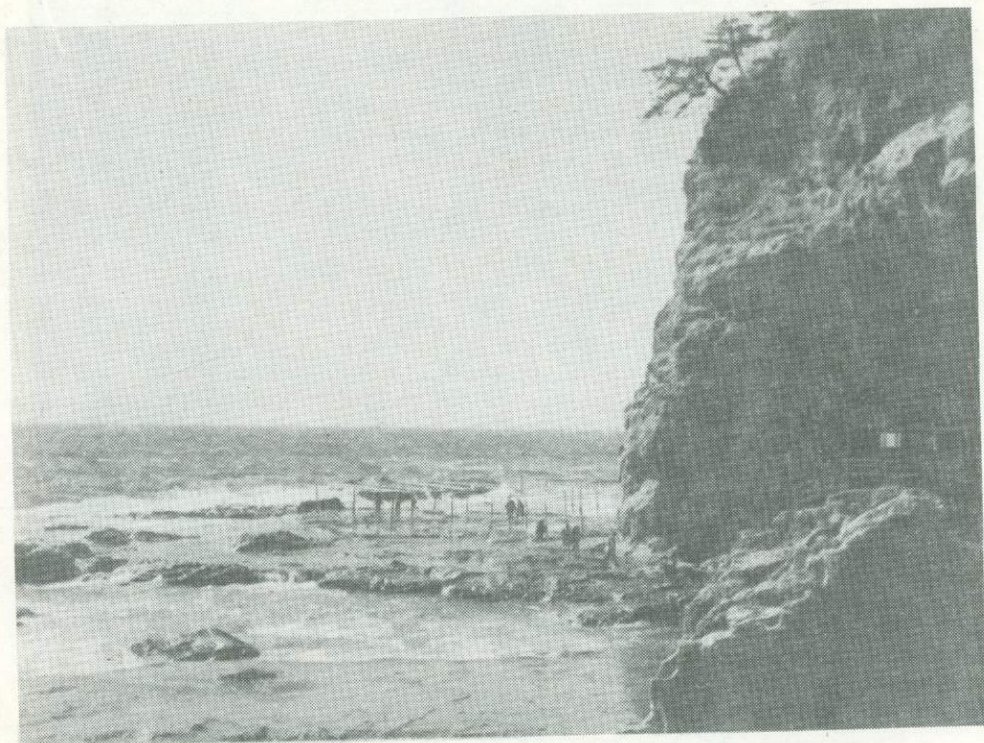
шими из под воды участками выровненных абразией скал дна (рис. 4.2, 4.3, 4.4); амплитуда поднятия — более метра. Землетрясение подробно изучено С. Fujiwhara, А. Imamura, Т. Kodaira, N. Miyabe, Y. Maruse, Н. Omura, А. Sugimura, F. Tada, Т. Takayama, N. Yamasaki.

Землетрясение 7.03.27 ( $M = 7\frac{3}{4}$ ), префектура Танго. В данном случае вертикальные и горизонтальные смещения значительной амплитуды были отмечены на всей площади п-ова Оку-Танго, т.е. блока, ограниченного по краям тектоническими разрывами Гомура и Ямада, а также на обширной площади западнее и южнее полуострова. Амплитуда горизонтальных смещений (в северо-западном направлении на самом полуострове, и в юго-восточном направлении западнее полуострова) достигала местами почти 2 м. Средняя величина смещения западного блока (западнее разрыва Гомура) около 73 см, восточного — около 65 см. Вертикальные, по преимуществу отрицательные, смещения зафиксированы на полуострове, положительные — западнее, с амплитудой в обоих случаях в десятки сантиметров (рис. 4.5). Афтершоки отмечены также на обширной площади. Суммарная энергия, выделившаяся в момент остановки процесса, равна приблизительно  $10^{13}$  Дж, что близко к тому, что дает исчисление  $E$  по  $M$ . В пределах блока полуострова Оку-Танго отлично выражены террасы и общая поверхность выравнивания с реальными следами поднятия, происходившего в несколько этапов активизации новейших движений (по данным Е. Hodgson, А. Imamura, S. Kunitomi, N. Nasu, Т. Tada, С. Tsuboi, Н. Tsuya).

Землетрясение 25.11.30 ( $M = 7\frac{1}{2}$ ), п-ов Иду. Так называемый сбросо-сдвиг Танна с левосторонним горизонтальным смещением крыльев проходит в меридиональном направлении по водоразделу п-ова Иду. Разрыв, оживший при землетрясении, протянулся в глубь массива хребта, где он пересек железнодорожный туннель и деформировал его. На поверхности смещение крыльев зафиксировано бетонными столбиками, расстояние между которыми отвечает амплитуде горизонтального смещения (рис. 4.6), максимальная амплитуда 2,6 м. Место, где разрыв (сброс Танна) виден отчетливо, огорожено, и рядом находится стэнд, поясняющий сущность дела, с просьбой к



Р и с. 4.3. Землетрясение в префектуре Канто [По материалам Военно-топографического департамента Японии, Т. Иноэ, 1960]. Смещения дневной поверхности в зоне эпицентра: а — горизонтальные (стрелки) и б — вертикальные (в изолиниях через 10 см)



Р и с. 4.4. Землетрясения 1.09.23 в префектуре Канто. Поднятое и вышедшее из воды дно залива Сагами вокруг о-ва Эносима (фото Г.П. Горшкова, 1965 г.)

посетителям не испортить такой замечательный геологический объект. Землетрясение детально изучено (F. Kishinouye, T. Kodaira, S. Miyamura, N. Nasu, S. Omote, H. Tsuya).

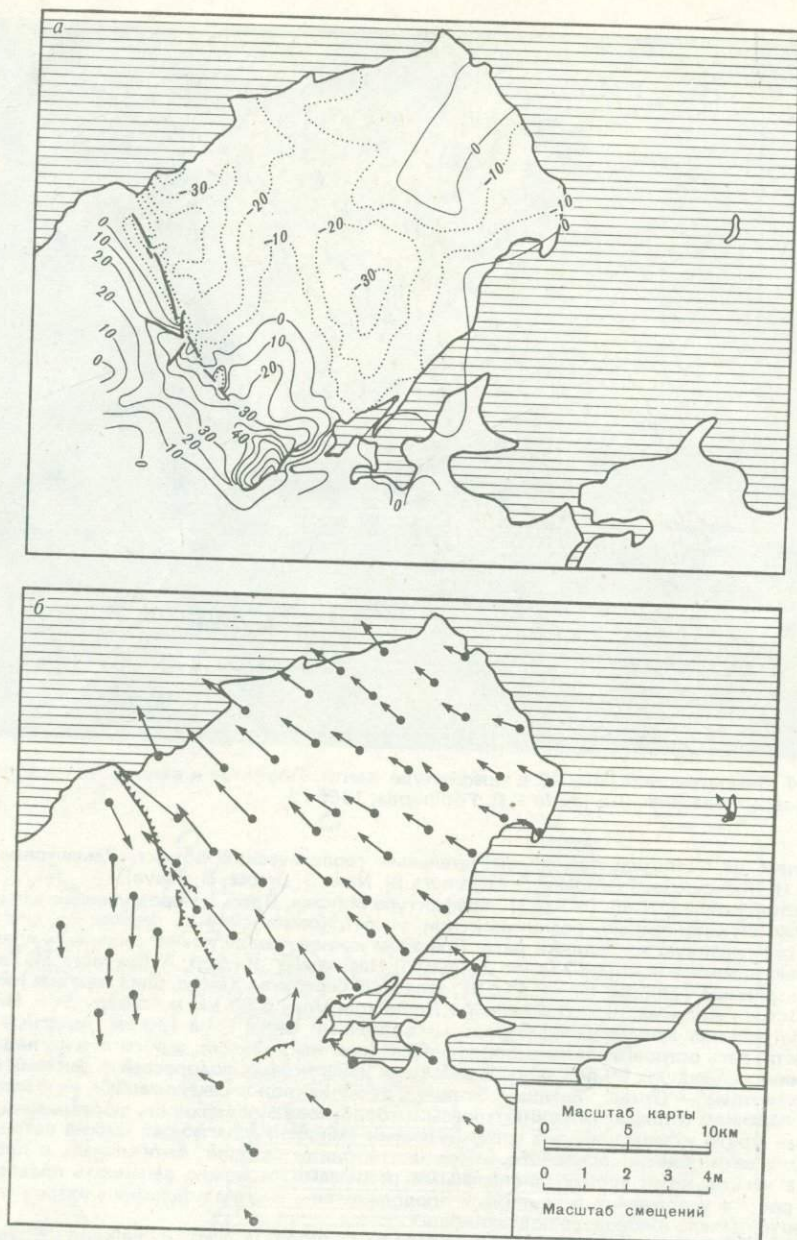
Землетрясение 12.01.45 ( $M = 7,1$ ), префектура Микава. Здесь на продолжении известного геологам сброса Фукоза разрыв, возникший при землетрясении 1945 г., пересек по диагонали узкую долину, расчлененную на делянки риса. При этом южное правое крыло оказалось приподнятым по отношению к левому почти на 2 м (по данным T. Hagiwara, Y. Kayano, A. Sugimura, H. Tsuya).

Землетрясение 16.06.64 ( $M = 6,4-6,9$ ), западный берег о-ва Хонсю, близ городов Ниигата и Мураками. Остров Авасима, расположенный в Японском море в 60 км к северу от г. Ниигата, в зоне эпицентра испытал асимметричный подъем: восточный берег — на 150 см, западный — на 80 см. В сущности, весь остров не только приподнялся, но и наклонился; его наклон наглядно фиксирует белая линия вышедших из-под воды и засохших известковых водорослей и раковин моллюсков и других животных — *Ostrea*, *Balanus*, *Serpula*. Тот же наклон к северо-западу, но с несколько более крутым падением отличает морские террасы и голоценовую поверхность выравнивания на острове; еще более круто к западу падают слои третичных (миоцен), слагающих массив острова, т.е. западное крыло антиклинали, основного элемента тектоники острова. Антиклиналь в пределах залива оборвана несколькими субмеридиональными разрывами, и можно высказать предположение, что процесс роста и усложнения антиклинали продолжается и очагом подземных ударов служит именно массив антиклинали и пород, ее подстилающих.

Землетрясение было в деталях изучено (работы T. Asada, N. Den, F. Falkoner, E. Inoue, H. Kawasumi, R. Morimoto, N. Nasu, H. Omura, A. Sugimura, T. Tsuborawa, C. Yasuda и др.) и сопровождалось удивительными повреждениями зданий, в чем повинны слабые грунты (пльвуны) поймы долины р. Синано, протекающей через г. Ниигата.

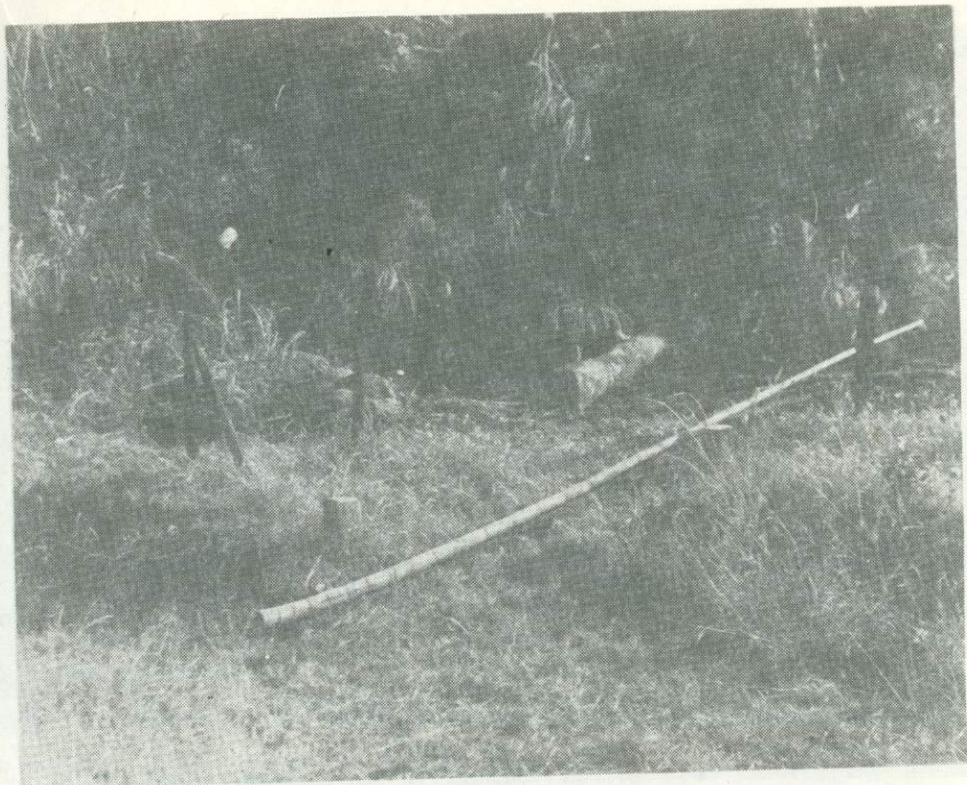
Аналогичные примеры деформации почвы (вертикальные и горизонтальные смещения блоков, трещины, обвалы) дают многие другие землетрясения: Нанкайдэ 20.12.46 ( $M = 7,7-8,3$ ), Фукуи 28.06.48 ( $M = 7,3$ ), Имайти 25.12.49 ( $M = 6,5-6,7$ ), по данным H. Hirono, S. Miyamura, I. Murai, N. Nasu, A. Okada, S. Omote, C. Tsuboi, H. Tsuya.

Не могу не привести еще одной фотографии — это сброс Атера (рис. 4.7). Он проходит между подножием хребта Японские Альпы и равниной Ноби (Мино-Овари) и пересекает наискось в направлении ЮВ—СЗ конус выноса оврага, впадающего в долину р. Кисо. На террасах конуса расположен г. Сикасита. Вертикальная амплитуда разрыва, обозначенного соответствующим уступом, меняется от места к месту, она тем больше, чем старше пересекаемая сбросом терраса. В вершине конуса выноса, где сохраняются остатки наиболее древней (позднего плейстоцена) террасы, амплитуда превышает 30 м, в пойме же р. Кисо сброс вообще не виден. Значение подобного факта очевидно: подвижки по сбросу на протяжении всего периода формирования террас происходили неоднократно.



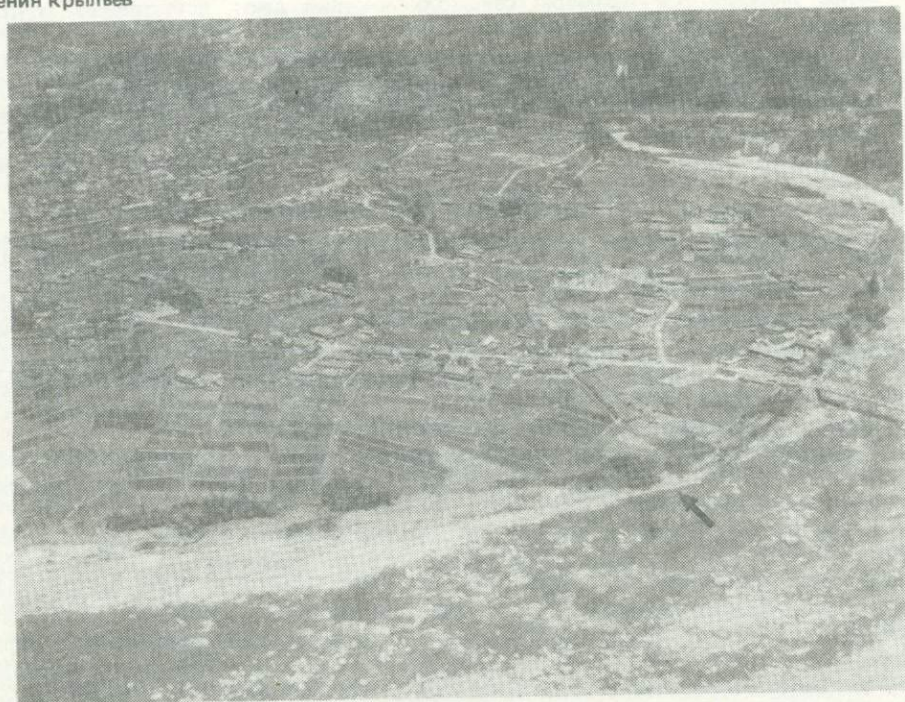
Р и с. 4.5. Землетрясение 7.03.27 в префектуре Танго (по Н. Tsuya, 1930)  
 Смещения дневной поверхности на п-ве Оку-Танго: а — вертикальные (в изолиниях через 10 см);  
 б — горизонтальные (стрелки)

но: Название террас (нумерация в порядке увеличения возраста): I — пойма р. Кисо; II, III, IV — группа террас Сайхоци; V — терраса Сакасита-сандан; VI, VII — группа Сакасита; VIII — Такабе (возраст  $(3-8) \cdot 10^4$  лет); IX — Сиенгенци. Различия в высоте одной и той же террасы по обеим сторонам сместителя указывают на величину вертикальной составляющей разрыва; смещение бортов террас в горизонтальном направлении — на горизонтальную составляющую левостороннего смещения с СЗ—ЮВ простиранием. В частности, для террас V и VIII данные таковы: сдвиг (соответственно) — 16,3 и 143 м; возраст ( $\times 10^3$  лет) — 5 + 15, 30 + 80; скорость ( $1 \text{ м}/10^3 \text{ лет}$ ) — 1,1 + 3,3, 8,4 + 4,8. Сброс Атера в деталях изучали А. Sugimura, Т. Matsuda и др. Землетрясения в районе Атера за последние 400 лет не отмечены; они происходили, вероятно, в голоцене, и свидетелем их остается сброс Атера.



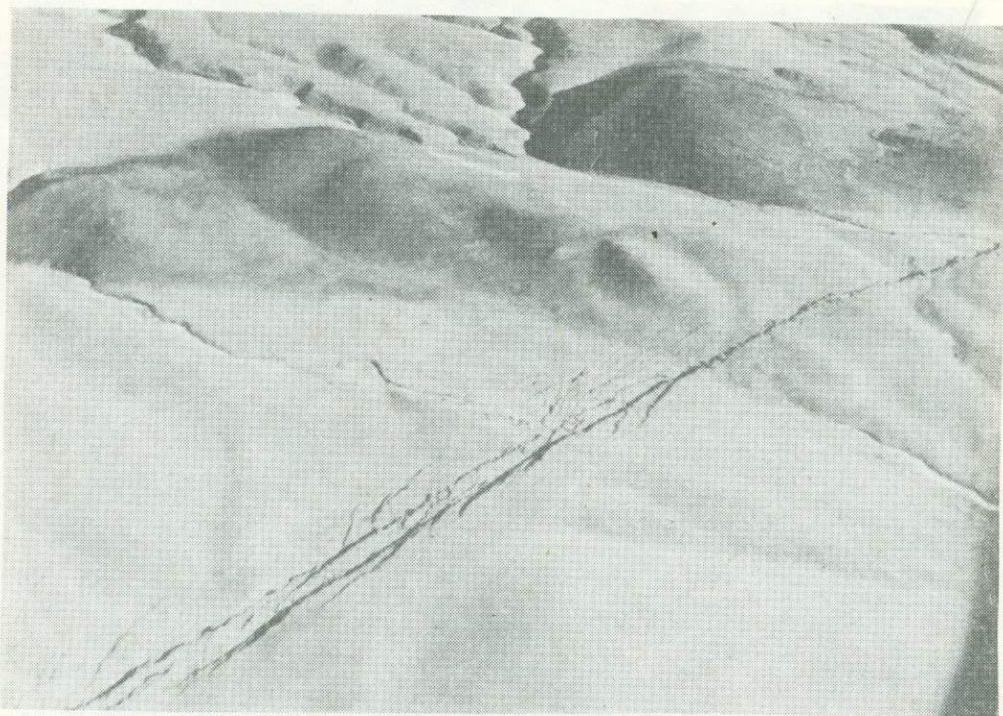
Р и с. 4.6. Землетрясение 25.11.30, п-ов Иду (фото Г.П. Горшкова, 1965 г.)

Лежащий ствол бамбука указывает на положение сместителя разрыва Танна. Бетонные столбики, расположенные на противоположных крыльях разрыва, отмечают амплитуду горизонтального смещения крыльев



Р и с. 4.7. Сброс Атера на конусе выноса бокового оврага, впадающего в р. Кисо (фото Г.П. Горшкова, 1965 г.)

Стрелки — трасса сместителя разрыва



Р и с. 4.8. Гоби-Алтайское землетрясение 4.12.57. Северный сбросо-сдвиг Бахарского грабена, образовавшийся при землетрясении (фото В.П. Солоненко 2.01.58) (Солоненко, 1963 г.)

Территория Японии дает много подобных, не менее выразительных примеров.

Не менее любопытные примеры сейсмодислокаций дают, естественно, и другие сейсмоопасные регионы: Северный Тянь-Шань (Кеминское землетрясение 4.01.11), Западный Тянь-Шань (Чаткальское землетрясение 2.11.46), Южная Туркмения (Ашхабадское землетрясение 5.10.48), Южный Тянь-Шань (Хаитское землетрясение 10.07.49) Северо-Восточный Кавказ (Дагестанское землетрясение 14.05.70), а также и за рубежом (рис. 4.8).

#### 4.2. ОБ ОЧАГЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Вопрос о природе очага землетрясения возникал еще в далекие времена античной культуры: В XIX в. по мере развития естественно-исторических знаний, особенно в отношении строения и истории земного шара, а также физики его недр, поле для сейсмогенетических построений сузилось. В трудах ученых, которых мы привыкли считать классиками сейсмотектоники — И.Д. Мушкетова, В.Н. Вебера, К.И. Богдановича, а также сейсмологов А.П. Орлова, Б.Б. Голицына, — вырисовались те основные положения, которые легли в основу современных идей. И тем не менее вопрос о природе очага землетрясения до сих пор еще далек от окончательного решения.

Нужно подчеркнуть следующее: можно говорить о причине сейсмической активности земного шара вообще и о природе очага землетрясения, т.е. об источнике подземного удара, собственно о механизме очага — это разные вещи.

О причине землетрясений можно судить — даже на современном уровне познаний в области геодинамики — лишь в самых общих чертах. Тепловой режим Земли, гравитация и ротационные силы — вот, вероятно, три главных источника эндогенной энергии. Будущая теория развития земного шара будет, по-видимому, содержать в своей основе эти три силы, физически вполне реальные и более или менее поддающиеся расчету.

Наша прямая задача более узка: изложить концепцию механизма очага землетрясения, приемлемую геологически и не противоречащую физическим условиям в недрах.

Другими словами, мы принимаем как реальность существование в Земле поля напряжений независимо от их первоисточника и на этом фоне рассматриваем более узкий вопрос — о модели непосредственно очага как источника подземного удара и колебаний почвы.

Общепринятой модели сейсмического очага нет. Есть довольно широко распространенная версия о том, что очагом землетрясения, т.е. непосредственным источником подземного удара, служит тектонический разрыв. Это может быть либо хорошо знакомый геологам обычный разрыв, т.е. надвиг, поддвиг, сдвиг, взброс, даже просто сброс, либо так называемый глубинный разлом, к которому в затруднительных случаях интерпретации своих наблюдений охотно прибегают геофизики. Идея о сейсмогенной роли тектонических разрывов была высказана еще в прошлом веке E. Suess [833], идею поддержали A. Bittner, H. Hoefler, а также R. Hoerhes, который совместил карту мест возникновения подземных толчков с картой расположения видимых на поверхности тектонических разрывов. В деталях разобрал механические аспекты этой концепции H.F. Reid [817]. И затем этот механизм был воспринят многими исследователями, уже писавшими о генетической связи гипоцентров с разрывами скорее по инерции, по установившейся традиции, чем по фактическим данным.

В новейшей монографии Б.В. Кострова [213], специально рассмотревшего этот вопрос, говорится следующее:

"1. Очаг тектонического землетрясения представляет собою разрыв сплошности материала Земли по некоторой (плоской) площадке" (с. 33). Затем следует детализация этой идеи, "очищенной" как говорит автор, "от устаревших представлений".

"2. Разрыв возникает под действием (сдвиговых) упругих напряжений, накопленных в процессе тектонических деформаций, и приводит к полному или частичному снятию этих напряжений на площадке разрыва.

3. Разрыв возникает сначала в малой области (точке), а затем распространяется от нее со скоростью, не превосходящей скорости предельных сейсмических волн (принцип причинности).

4. Соответствующий очагу тектонического землетрясения разрыв является разрывом скольжения, т.е. взаимное перемещение его берегов (крыльев. — Г.Г.) по нормали к площадке (отрыв) равно нулю.

5. Материал Земли вне поверхности разрыва остается линейно-упругим" [Там же, с. 33].

Похожие идеи лежат в основе исследований многих сейсмологов. Вероятно, нет необходимости приводить конкретные примеры именно такой интерпретации механизма очага. Таких примеров — великое множество. Обычно мы встречаем хорошее, полноценное описание отдельного землетрясения, заканчивающееся фразой о том, что данное землетрясение, "очевидно", связано с таким-то разрывом. Доказательств тому не приводится. Были правы А.Т. Асланян и его соавторы [202], когда констатировали, что "по представлению большинства исследователей (курсив мой. — Г.Г.), землетрясения отражают разрыв сплошности среды либо в виде скола в условиях сдвиговой деформации (без существенного изменения объема материала), либо непосредственно за счет эффекта изменения объема (с уменьшением или увеличением)" (с. 96). Да, по представлениям большинства исследователей, очаг землетрясения — это "скол в условиях сдвиговой деформации". Апологетов идеи о внезапном изменении объема материала меньше; авторы упомянутой работы предлагают один из вариантов своей идеи, говоря о перестройке структуры карбонатных горных пород.

По-видимому, некоторые стороны проблемы очага рассмотрены и разработаны, вообще говоря, достаточно детально и правильно и могут быть приняты. Но вот основная часть этой концепции — о дизъюнктивной природе очага землетрясения — вызывает серьезные сомнения. Многие геологи и сейсмологи охотно и безапелляционно восприняли и использовали эту идею, она кажется ясной и очевидной и как бы не нуждается в доказательствах, но имеются и другие предположения на этот счет.

Я решительно присоединяюсь к иной концепции, к иной модели очага, сущность которой можно изложить следующим образом: очаг землетрясения, т.е. источник подземного удара и, следовательно, упругих волн, распространяющихся по телу Земли, — это определенный объем вещества (коры или верхней мантии), структура, складка, группа складок, массив, блок, т.е. трехмерная материальная масса, накопившая (в период подготовки землетрясения) достаточное количество потенциальной энергии, находящаяся в состоянии упругого напряжения (сжатия или рэже растяжения) и сбра-

сывающая накопленную энергию (когда напряжения достигнут предела прочности материала) посредством почти мгновенной деформации (смещения) и последующей за тем также почти мгновенной остановки массы пород (блока), т.е. это поднятие, опускание, наклон, изгиб, изменение плотности и упругих свойств (во всем объеме вещества) и переход потенциальной энергии упругого напряжения в кинетическую энергию деформации с появлением не только упругих, но остаточных нарушений.

Энергию излучает, в соответствии с известным положением теоретической сейсмологии, каждая частица сместившейся и почти мгновенно остановленной массы, каждая частица всего испытывающего деформацию блока.

Таким образом, очаг — это не точка и не одномерная линия (т.е. не трасса тектонического разрыва на поверхности Земли), это и не двумерная плоскость и поверхность (т.е. не сместитель разрыва), это трехмерная материальная масса, объем, каждая частица которого испускает энергию в зависимости от скорости и амплитуды своего смещения.

В этом случае обычное понятие об объеме очага, никак не согласующееся с представлением о бестелесном, плоскостном, якобы сейсмогенном разломе, приобретает вполне определенный геологический и физический смысл.

Б.Б. Голицын в своих лекциях по сейсмометрии [9] хотя и говорит, что "геологическая часть сейсмологии оставлена здесь совершенно без рассмотрения" (с. 3), тем не менее делит землетрясения на три группы по геологическим данным и в том числе выделяет тектонические землетрясения, при которых "происходит внезапное смещение горных пород вследствие кражеобразовательных процессов... То место внутри земной коры, где первоначально произошло нарушение равновесия слоев, называется очагом землетрясения или гипоцентром. Ближайшая к гипоцентру точка земной поверхности называется эпицентром" (с. 3). И гипоцентр, и эпицентр — "не суть определенные точки; это, несомненно, определенные области, имеющие большее или меньшее протяжение" [Там же]. Мне кажется, что эти высказывания Б.Б. Голицына крайне важны и вполне соответствуют идее "очаг — объем".

Сам же по себе разрыв, конечно, может сопровождать деформацию блока, но он не излучает энергии. Более того, чтобы разрыв возник и сформировался, нужно не излучить, а затратить какую-то энергию, т.е. не увеличить, а уменьшить общую энергию землетрясения. Последнюю нетрудно подсчитать, зная объем, габариты деформированного блока, плотность пород, а следовательно, массу объема (очага) и скорость смещения всех его частиц.

Важно отметить, что в этом случае традиционные методы сейсмометрии, т.е. метод "засечек" для определения координат эпицентра, учение о "динамических параметрах", понятие о коде сейсмограммы (в частности, о той новой фазе, которая, по данным [652, с. 276], была обнаружена на сейсмограммах Гегечкорских землетрясений и которая "является продольной волной, порожденной особенностью геологического строения Гегечкорского района"), об объеме очага и т.п., сохраняют свою силу, но несколько видоизменяют геологический и физический смысл интерпретаций наблюдений. В частности, снимается тот парадокс, который всегда смущал: с одной стороны, говорится, что очаг — плоскость, т.е. бестелесное понятие, с другой — что у него, у очага, есть объем. Вероятно, близкими к истине были М. Бот и С. Дуда [794], определявшие очаг как объем, в котором укладываются гипоцентры всех афтершоков. Между прочим, этими авторами была предложена формула для определения объема очага  $V$  (в пределах  $5,3 \leq M \leq 8,7$ ):  $\lg V = (9,58 \pm 0,51) + (1,47 + 0,14) M$ .

В этом случае объем  $V$  приблизительно оказывается следующим:  $V = 3,3 \cdot 10^7 \text{ см}^3$  при  $M=5,5$ ;  $V = 2,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^3$  при  $M=6,0$ ;  $V = 1,3 \cdot 10^{19} \text{ см}^3$  при  $M=6,5$ ;  $V = 7,4 \cdot 10^{19} \text{ см}^3$  при  $M=7,0$ ;  $V = 4,0 \cdot 10^{20} \text{ см}^3$  при  $M=7,5$ .

Замечу, что при этом несколько осложняется вопрос об использовании единого годографа. "Применение одного годографа к различным районам (речь идет о Восточном Кавказе. — Г.Г.)... приводит к плохим результатам. Поэтому необходимо построить для всех сейсмоактивных зон свои локальные годографы... либо при пользовании универсальным годографом вводить в исходные данные станций поправки" [735, вып. 3, с. 20].

Можно ли в нашей безграничной сейсмогеологической литературе найти идеи, адекватные концепции "очаг — объем"?

Вспоминается удивительная старинная работа П.В. Васильева "Сейсмичность Южной

России в связи с тектоникой" [84]. Тогда, в 1908 г., не было еще никакой сети сейсмических станций, не было ни одного сейсмологического учреждения, почти единственным источником сведений был каталог землетрясений И.В. Мушкетова и А.П. Орлова [27], не было сводок и по тектонике России. Тем не менее П.В. Васильев сумел систематизировать фактический материал по сейсмичности и согласовать его с имеющимися сведениями по тектонике. Автор пишет: "... процесс опускания и перемещения сбросовых крыльев может продолжаться, сопровождаясь более или менее интенсивными колебаниями частиц Земли"... Области, пронизанные дислокациями сбросового характера (так называет П.В. Васильев разрывы. — Г.Г.), обычно менее сейсмичны, чем складчатые" [84, с. 153]. Роль же разрывов П.В. Васильев видит лишь в экранирующем их воздействии на сейсмический луч, т.е. разрывы, "по общепринятому взгляду, ослабляют сейсмические волны или даже совершенно останавливают их распространение" (с. 152). В наше время этот вопрос детально рассмотрен И.В. Ананьиним.

Вспомним статью К.Н. Паффенгольца 1946 г. о землетрясениях долины р. Аракса. Автор пришел к тому выводу, что "существенное значение для этой сейсмической области в ее тектонической структуре имеют складки", что никаких разломов и сбросов там нет, что складки сходятся веерообразно у северного подножия горы Арарат и "здесь, следовательно, должны происходить наиболее сильные землетрясения... Причиной землетрясений данного района надо считать тектонические напряжения, возникающие при продолжающемся формировании указанных складок" [695, с. 303].

В.В. Белоусов и его соавторы имели в виду в принципе то же самое, отмечая, что искать землетрясения "по тектоническим разрывам" — занятие неправомерное [796, с. 465].

О.Д. Гоцадзе описывает расположенный на Малом Кавказе Джавахетский хребет — куполовидное, сводообразное поднятие, по середине которого, вдоль меридионального разлома, протягивается цепочка голоценовых вулканов (Абул-Самсарского хребта). Эпицентров землетрясений в полосе разрыва нет, все они концентрируются в боках поднятия. "Осевая часть хребта (т.е. та часть, где расположены вулканы и проходит разрыв. — Г.Г.) характеризуется наименьшей сейсмической активностью, участки максимальной активности располагаются по обе стороны хребта [574, с. 38]. Анализ очагов роя афтершоков привел автора к выводу, что "тектонические процессы, сопровождающиеся сейсмическими событиями... происходят в тонком седиментном комплексе мощностью 5 км. Наиболее активными являются области, примыкающие к хребту с обеих сторон" (с. 48). Автор вычисляет "активный объем среды", в котором высвобождается энергия деформации, и оказывается, что этот объем представляет собой диск или пластину объемом  $\sim 3,5 \cdot 10^8 \text{ см}^3$ . Отсюда один шаг до признания этого диска источником колебаний, но как же трудно сделать этот шаг и не апеллировать по установившемуся обычаю к разрыву, которого хотя здесь и нет, но он все же служит очагом землетрясения!

В другой работе О.Д. Гоцадзе показал, что "процесс высвобождения энергии деформаций в очаге может происходить без значительных нарушений сплошности среды" [575, с. 37].

Существенными представляются исследования, выполненные И.В. Гаретовской в 1975 г. по Армении. Рассматривая "близкие" землетрясения, регистрируемые станциями "Земля", И.В. Гаретовская приходит к следующему выводу: "... по мере дополнения схемы эпицентров новыми данными становилось все более очевидным, что слабые землетрясения не вытягиваются вдоль линий разломов кавказского и субширотного направлений... Без данных о характере напряженного состояния объемов пород объединять очаги землетрясений и относить их к тому или иному региональному глубинному разлому преждевременно. Такое объединение может только оттягивать получение правильного представления о глубинном строении региона" [562, с. 62]. Могу лишь присоединиться к этому выводу, и хотел бы подчеркнуть его принципиальное, весьма существенное значение, убийственное для гипотезы о сейсмогенной роли разрывов.

В статье [590] рассматриваются слабые землетрясения; очаги с  $K < 10$  разбросаны по территории Армении довольно хаотически (с некоторым сгущением на площади Джавахетского нагорья и в районе Еревана), и их изучение "интересно с точки зрения рассмотрения этого явления как свойства того или иного типа земной коры" (с. 67). В конце работы приводится тривиальное заключение о том, что "в ходе горообразо-

вательных процессов в отдельных участках земной коры накапливаются упругие напряжения, которые воздействуют на горные породы" (с. 68), что общеизвестно, но авторы находят следствия из этого общего факта, существенно приближающие нас к познанию механизма землетрясения.

Изящное по ясности и конкретное по выводам исследование опубликовала в 1971 г. Э.А. Джибладзе. Полагая в соответствии с представлениями Ю.В. Ризниченко, что очаг слабого землетрясения может быть моделирован сферой и что "напряжения  $\sigma$  и деформации  $\epsilon$  возрастают по мере приближения к очагу", причем "вдали от очага они преимущественно упругие, в области очага — не упругие" [582, с. 89], Э.А. Джибладзе исследовала землетрясения с  $K = 6 \div 11$ , и нашла, что размеры очагов (радиусы сфер) в зависимости от класса землетрясения меняются от 140 м (при  $K=6$ ) до 5600 м (при  $K=11$ ), что близко, между прочим, к результатам, полученным В.И. Халтуриним и соавторами для Средней Азии ( $r = 200 \div 5000$  м).

В том же духе решает проблему Э.А. Джибладзе и позже, в 1976 г. Рассматривая вопросы об энергетической характеристике кавказских землетрясений (для энергии землетрясения  $E_0$  получено выражение  $\lg E_0 = (4,6 \div 4,9) + 0,58 K$ ), о связи между энергией в очаге и интенсивностью в эпицентре, о долговременной средней характеристике сейсмического режима, о величине максимального возможного землетрясения, Э.А. Джибладзе пишет: "... при нанесении эпицентров больших землетрясений на тектоническую карту Кавказа с учетом площади подготовки землетрясения оказалось, что землетрясения подготавливаются как на одной, так и на двух, трех, а иногда и больше структурных единицах" и "... сейсмический процесс в такой области лучше описывается как объемная деформация, а не как скольжение по тому или иному геологическому разлому" [584, с. 21–22].

Докторская диссертация Э.А. Джибладзе (1976 г.) носила название "Энергия землетрясений, сейсмический режим и сейсмостектонические движения Кавказа". Автор вычисляет величину  $K_{\max}$ , сотрясаемость  $B$  и вводит понятие о сейсмостектонических движениях. Предлагается различать "непрерывное пластическое течение и разрывно-непрерывное сейсмическое течение, куда входят упругие деформации, предшествующие отдельным землетрясениям, и сами землетрясения. Сейсмическое течение горных масс — часть тектонического деформационного движения больших пространственно-временных объемов коры и верхней мантии, обязанного остаточным смещениям в совокупности очагов землетрясений".

Мне кажется, что мысли Ю.В. Ризниченко шли в том же направлении, когда он писал: "В самом деле, ведь сейсмическая энергия  $E$  выделяется уже конечно не из поверхности разрыва (! — Г.Г.) и не только из объема очага, где преобладают неупругие деформации, но и из окружающей квазиупругой области" [218, с. 13]. Правда, далее Ю.В. Ризниченко все же самым тщательным образом рассчитывает длину  $L$  очага-разрыва, даже ширину, как он пишет, "очага или разрыва в очаге  $W$ ", смещение по разрыву  $D$ . Все эти элементы нужны в том случае, если очагом считать разрыв.

Интересные идеи на этот счет имеются в работе М.В. Авдулова [1]. Автор обсуждает возможные пути реализации геодинамических процессов. "Материал приходит в движение, когда напряжения превзойдут предел прочности горных пород. Каждый толчок и движение масс вверх фиксируются на поверхности планеты в виде слабого или сильного землетрясения в зависимости от того, какая масса на какой глубине и с какой скоростью участвует в движении. С этой точки зрения землетрясения земного шара нужно рассматривать как механическое выражение процесса дифференциации земной оболочки по минералогическому составу" (с. 79).

Д.Г. Осика в 1979 г. рискнул затронуть коренные вопросы происхождения землетрясений, их связи с геохимическими и гидрогеологическими процессами и коснулся возможностей прогноза. Автор предложил ряд моделей очагов землетрясений и рассмотрел условия их формирования. Особое значение автор придает "газовому дыханию" недр Земли, роли флюидов, поднимающихся из недр, лавовому и грязевому вулканизму. Автор говорит: "... под очагами тектонических землетрясений мы имеем в виду определенные объемы<sup>1</sup> земной коры и верхней мантии Земли (они пропорциональны силе формирующихся землетрясений), вовлекаемые в систему сверхфоновых

<sup>1</sup> Курсив мой. — Г.Г. Отмечу, что в работе [211] придается фундаментальная сейсмогенерирующая роль деформациям типа эллипсоидных ячеек, ограниченных сдвиго-раздвигами.

напряжений, обусловленных разуплотнением вещества астеносферы и продуктами их дегазации и которые ограничены размерами субвертикальных восходящих потоков эндогенных газов и воды и их смесей с флюидами метаморфического и осадочного происхождения, границы которых на дневной поверхности вписываются в ареалы возникновения прогнозных геохимических, гидрогеодинамических и геотермических аномалий" [216, с. 109]. Фраза несколько тяжеловата, но в тектоническом смысле своем она, по-видимому, решает вопрос в нужном направлении. Что касается геохимического аспекта, могу напомнить о высказывании В.И. Вернадского о том, что основы сейсмогенезиса заложены в геохимии. К сожалению, тема эта слабо разработана в нашей литературе; оригинальная статья Д.Г. Осипки является одной из нечастых попыток подойти к вопросу именно с позиций геохимических. Авторы иллюстрируют свои идеи довольно сложной схемой.

О.Ш. Варазанашвили говорит, что и "сейчас вряд ли кто-нибудь рассматривает очаг сильного землетрясения как точку, но реальные размеры и ориентировка очагов до сих пор мало учитываются в существующих методах сейсмического районирования" [543, с. 257]. Работа О.Ш. Варазанашвили основана на предположении о трехмерном очаге. Автор составил таблицу основных очаговых зон (в зависимости от магнитуды) и карту "основных очаговых зон наблюдаемых землетрясений Кавказа". К сожалению, дальше в статье очаг землетрясения все же рассматривается "как односвязная область, внутри которой заключены первичные необратимые деформации, развившиеся в процессе землетрясения (основной и вторичный разрывы)" и вычисляются "линейные" размеры очагов в зависимости от *M*. Другими словами, автор не довел своих рассуждений до логического конца, снова обратился к разрывам и важную идею о трехмерном очаге тем самым дезавуировал.

Г.В. Егоркина и соавторы [207] отмечают "отсутствие теоретической и методической основы изучения глубинных условий сейсмических явлений" [207, с. 206] и затем, обращаясь к геофизике, дают "схему эпицентров сильных землетрясений и рельефа поверхности Мохоровичича" [Там же, с. 209]. Авторы приходят к выводу, что "очаги крупных землетрясений приурочены к определенным блокам земной коры и располагаются вблизи (! — Г.Г.) зон крупных глубинных разломов" [Там же, с. 210]; обсуждают напряжения в очагах землетрясений, особенности новейшей тектоники, скорость сейсмических волн и сетка глубинных разломов (для Малого Кавказа). Авторы решились "с полной уверенностью утверждать, что нет никакого соответствия между положением очаговых зон и тектоническими структурами (разломы, складки, узлы их пересечения). Эти связи гораздо сложнее и не столь очевидны, как их обычно представляют" [Там же, с. 223]. Думаю, что в общем это правильно, но, к сожалению, и в этой работе проскальзывает указание на сейсмогенную роль разрывов ("... форма изосейст строго контролируется сетью глубинных разломов", с. 210 и т.п.).

Д.Н. Рустанович и Н.В. Шебалин пишут о Дагестанском землетрясении 14.05.70: "...землетрясение привело в движение всю зону, ступенчато опускающуюся к юго-востоку от Сулакского выступа к Капчугайскому грабену" [732, с. 141]; затем рассматриваются подвиги крыльев разрывов в очагах двух главных толчков. Вообще говоря, этого и достаточно: активность знаменитого Дагестанского клина Н.С. Шатского [777, с. 216] инструментально подтверждена. Но авторы, обращаясь далее к динамическим параметрам, устанавливают ориентировку разрывов и т.п. Что же, традиция этого требует.

Интересно, что близкие к этому результаты были получены в те же годы дагестанскими авторами — Р.А. Левковичем и другими, которые пишут: "...очаги сильных землетрясений, локализованные в субстрате в пределах Дагестанского клина, пространственно не связаны с разломной тектоникой и тяготеют к осевым частям изометрических блоков (! — Г.Г.); соответственно роль разломной тектоники сводится к тому, что она создает контуры сейсмогенерирующих блоков" [563, с. 158].

Вполне определенные идеи в том же направлении высказывает Н.В. Чигарев [234]. Используя материалы по глубинам гипоцентров сильных землетрясений Средней Азии (изолинии равной глубины гипоцентров), Н.В. Чигарев выделяет так называемые сейсмогенетические блоки (с поперечными размерами от 35 до 150 км). Вот выдержка из статьи Н.В. Чигарева в сборнике "Электромагнитные предвестники землетрясений" 1982 г. (под ред. М.А. Садовского): "Полученные границы блоков не совпадают с известными поверхностными границами зон глубинных разломов, с которыми чаще всего

пытаются сопоставить преимущественное распределение эпицентров. Все крупные зоны тектонических разломов пересекают как сейсмогенетические блоки, так и "асейсмичные блоки", в которых не отмечены сейсмические события" (с. 61). Жизнь блоков, их динамика и определяют собою основные черты сейсмического режима.

Я привожу эти многочисленные примеры потому, что они кажутся мне в теоретическом отношении очень существенными, они решают проблему природы очага более широко, более правильно, более перспективно, чем односторонняя, куца, ведущая в тупик разрывная концепция. Близкие к этому идеи лежат в основе исследований многих других сейсмологов [221, 231, 232 и др.]

В последние годы большое значение приобретают комплексные всесторонние исследования сейсмоопасных регионов, в особенности в связи с проблемой прогноза землетрясений. Испытываются все мыслимые методы геологии, геофизики, сейсмологии; рельеф, альпийские, новейшие и современные движения, их характер, амплитуда, возраст, механизм, складкообразование, глыбовая (блоковая) тектоника, гравитационные и магнитные аномалии, геотермическое поле, физические свойства "сейсмического поля", геохимические (в том числе гидрогеохимические) процессы, строение коры, литосферы, мантии, все аспекты сейсмического режима, моделирование геодинамических полей — таковы объекты комплексных исследований. Механизм очага служит и объектом и целью исследований. Тектонические разрывы всех типов наряду с другими элементами тектоники входят, естественно, в этот комплекс, но не в качестве самостоятельных феноменов, обладающих воображаемой "магической" силой, а в роли точно определенной границы более или менее активных блоков; блоки и служат основным инициатором сейсмичности.

Примером комплексного анализа сейсмотектонических соотношений могут служить многие главы монографии "Сейсмическое районирование территории СССР" [304], например глава 22 (с. 183—194), "Киргизия". Ее авторы — К.Д. Джанузаков, Б.И. Ильясов, В.И. Кнауф, В.Г. Королев, О.К. Чедия. В этой главе правильно расставлены акценты, и вопросы сейсмичности рассматриваются на материале комплекса геолого-геофизических и сейсмотектонических данных: учитываются особенности глыбовой тектоники активных блоков, рельеф подошвы коры, гравитационные аномалии, свойства "сейсмического слоя", возраст движений, амплитуда новейших движений и т.д. и в том числе разрывы как границы более или менее активных блоков, но именно последние накапливают и излучают сейсмическую энергию.

Как же быть в этой ситуации с разрывами, в особенности глубинными, к окрестностям которых несомненно тяготеют гипоцентры многих сильных землетрясений? Вот именно, к окрестностям. В этих ситуациях излучает энергию не разрыв "сам по себе", не трещина, не пустота, а крылья разрыва, амплитуда смещения которых близ разрыва часто бывает значительной (на общем фоне разнообразных деформаций активного блока).

В заключение приведу цитату из монографии Ф. Стейси 1972 г.: "Очаг землетрясения — это область внутри Земли (область, не разрыв! — Г.Г.), из которой распространяются упругие волны... При рассмотрении механизма землетрясения будет подразумеваться существование очага в виде некоторого объема... По области, испытавшей деформации, можно судить об объеме горных пород, из которых освободилась накопившаяся упругая энергия... Представление о возникновении разрыва, за которым следует скольжение с трением по поверхности разрыва, пригодно только для неглубоких землетрясений". [194, с. 86] "... Высвобождаемая энергия пропорциональна объему очаговой области, из которого черпается упругая энергия" [194, с. 96].

Приведем несколько примеров.

Зангезурское землетрясение 27.04.31 (Армения),  $M = 6,3$  [31, с.114]. В Закавказье, севернее долины Аракса, расположен Зангезурский хребет. Весной 1931 г. он оказался ареной разрушительного землетрясения. Обширная 8-балльная зона охватила тогда всю центральную часть хребта, т.е. всю площадь выхода гранодиоритов крупного массива эоценовой неогинезии; по периферии встречались кое-где небольшие пятна 9-балльной интенсивности. Автору данной книги довелось изучать это землетрясение на месте. Я видел тогда причину землетрясения в том, что хребет, т.е. слагающий его батолит, весь целиком в процессе продолжающегося поднятия, так сказать, "отряхивается" [569, с. 23]. То было давно, но у меня не появилось оснований отказываться от этого не совсем геологического термина ("отряхивается"). В том же году наблюдалось много афтершоков, в том числе 12.05 с  $M = 5,3$ , в пределах того же эпицентра. Здесь же 1.09. 68 возникли новые толчки с  $M \approx 5$  уже в южной части батолита. Так что процесс продолжается.

Кстати, вспоминается грандиозное землетрясение 15.01.34 в Индии, когда "... в течение ... семи-

десятилетнего периода поверхность западной полосы Северной Индии между Гималаями и Гангом непрерывно поднималась со скоростью 18,2 мм/год, и линия максимального поднятия проходит как раз через эпицентральный район того землетрясения" [215, с. 63].

Землетрясение 5.10.48 в Ашхабаде (Туркмения),  $M = 7,3$  [31, с. 183]. Вероятно, многие помнят это землетрясение осени 1948 г., охватившее северные предгорья Копетдага (Туркмения). Тогда, в 40-х годах я был склонен переоценивать сейсмогенную роль тектонических разрывов и, поскольку Главный Копетдагский надвиг проходит несколько в стороне от Ашхабада, не видел большой опасности для города. Позднейшие исследования показали, что здесь активен весь блок передового Предкопетдагского прогиба, вся осадочная толща, зажата между Главным надвигом, двумя поперечными глубинными разломами и кровлей "консолидированной коры", что весь блок сместился к северу в горизонтальном направлении почти на 2 метра, но что сам главный надвиг признаков оживления почти не показал.

Н.В. Шебалин [235] подчеркивал для этого случая вертикальную составляющую смещения, Д.Н. Рустанович [884] — горизонтальную; пожалуй, оба были правы, поскольку здесь были в подъем, и перекос, и горизонтальное смещение и даже поворот блока.

Между прочим, в свое время мы были удивлены полным отсутствием каких бы то ни было внешних признаков активности Главного Копетдагского надвига. Надвиг длиной 50 км, с амплитудой 5 км — поразительно свидетельствует о неограниченной мощи эндогенных сил Земли — и "молчит"! Таким же "молчанием" в сейсмическом отношении отличаются и другие зоны надвигания в разных местах. Речь идет не о древнейших каледонских покровах, как в Грампианских горах Норвегии, не о древних герцинских шарриажках типа Уральских, где это понятно, а о сравнительно молодых альпийских надвигах и покровах Апеннин, Альп, Динарид, Карпат, Кавказа, Туркмении. Они грандиозны, но их время прошло. Они в основном эоценовые, а четвертичная и современная тектоника развиваются по иному плану.

А.В. Пейве и В.Г. Трифонов в статье "Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы" (Природа, 1981, № 8) указывают на сейсмическую активность так называемых пластин, этого атрибута новой глобальной тектоники. Вероятно, правильно, но "пластина" и является одной из разновидностей блоков литосферы.

В Скопле 26.07.63 произошло землетрясение с  $M = 6,0$ . При этом сильно пострадали селения в долине р. Вардара (Македония), в том числе г. Скопле. В изучении этого землетрясения принимали участие советские специалисты Д.Н. Рустанович и Н.В. Шебалин. Разрез, составленный для плейстоценовой области этого землетрясения Д.Н. Рустановичем и Д. Хадзиевским [958], может служить убедительным подтверждением концепции сейсмогенной роли активных блоков.

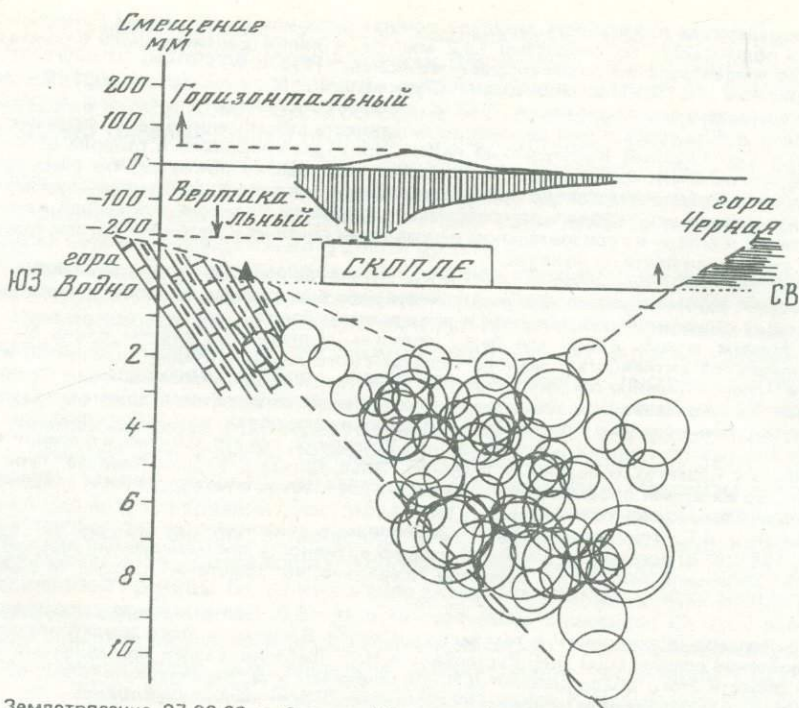
Город Скопле расположен в долине р. Вардара, зажаты между двумя горными массивами — горы Черная и Водно. В тектоническом отношении это классический грабен. Оказалось, что эпицентры многочисленных повторных толчков равномерно рассеяны по всей площади грабена (особенно в его западной части) и отнюдь не тяготеют к ограничивающим грабен сбросам; на сбросах, собственно, нет ни одного гипоцентра; то же и в разрезе (рис. 4.9). Очаг главного толчка — это весь грабен целиком, испытывающий погружение, особенно его западная половина, а инструментальный гипоцентр — это лишь некоторый условный "центр тяжести" блока-очага. Так я склонен интерпретировать тот разрез [804, 958].

Постоянное, но малой скорости опускание центрального блока грабена отмечает, по данным Мэрича и Петровича, Ю.А. Мещеряков [214, с. 95]. Последние югославские данные показывают, что процесс погружения грабена по наблюдениям 1967—1974 гг. продолжается и что по-прежнему весь блок проявляет активность. Грабен "начинен" гипоцентрами афтершоков.

И в заключение — Ташкентское землетрясение 25.09.66 с  $M = 5,1$  [31, с. 268]. На рис. 4.10 показана очаговая область яйцеобразной формы, находящаяся под центральной частью города. Амплитуда вертикального перемещения пород правого крыла разрыва на глубине около 8 км достигала 50 см, в результате чего на поверхности земли появилось всхолмление почвы с амплитудой 3,5 см [230]. Как указано в известной монографии "Ташкентское землетрясение..." [60], "очаг землетрясения моделируется ограниченной ... площадкой разрыва" (с. 53). Практически ни один гипоцентр не лежит на сместителе этого разрыва, все очаги афтершоков сконцентрированы в восточном крыле разрыва, т.е. заполняя часть погруженной, продолжающей расти Каржантауской антиклинали (см. рис. 4.10), как ясно показали В.И. Уломов и его коллеги в работе [230]. Картина ясная, и тем не менее в монографии ... все тот же сакраментальный разрыв!

Здесь существует один вопрос: что понимать под термином "тектонический сейсмогенный разрыв"? Многие авторы пишут "разрыв", но, может быть, подразумевают контакт блоков, различных по строению и тектонической жизни, т.е. шовную зону, иногда большой ширины и сложности, состоящую, в свою очередь, из серии раздробленных блоков. Или, быть может, под этим условным термином многими сейсмологами понимается не просто разрыв (как одно из понятий структурной геологии), а свидетельство, т.е. одна из деталей, контрастных движений активных блоков? Думаю, что во многих случаях дело обстоит именно так. В таких случаях следует ясно объяснять значение употребляемых терминов.

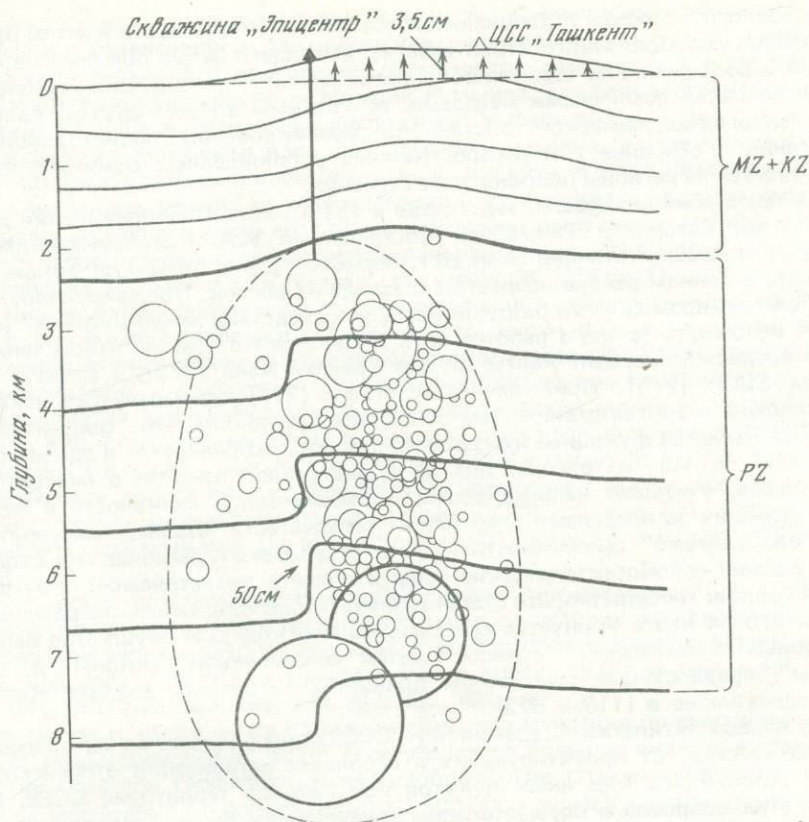
Итак, источником подземного удара, т.е. непосредственной причиной землетрясения, его очагом, служит не тектонический разрыв как таковой, а более или менее крупный блок земной коры или верхней мантии, находящийся под напряжением эндогенного происхождения и сбрасывающий часть этого напряжения путем внезапной деформации или кратковременного смещения всей массы блока со столь же внезапным прекраще-



Р и с. 4.9. Землетрясение 27.06.63 в Скопле (Югославия). Проекция гипоцентров афтершоков (кружки) на разрез по линии, нормальной к простиранию Вардарского грабена, через зону эпицентра и смещения поверхности по геодезическим данным (по [824])

нием этого процесса и переходом в новое состояние равновесия. Потенциальная энергия напряжения при этом переходит в кинетическую энергию деформации — удара.

При неглубоком очаге это может быть простая, прямая, продолжающаяся развиваться складка (антиклиналь) в толще неогена (землетрясения в Андижане 1902 г., в Гудермесе 1950 г.); или такая же складка (в толще мезозойских отложений), осложненная поперечными взбросами (Ташкентское землетрясение 1966 г.); или косые складки (в меловых отложениях), осложненные продольными чешуйчатыми надвигами (Файзабадское землетрясение 1930 г.). При более глубоком очаге источником может быть группа складок новейшего этапа развития в отложениях, выполняющих межгорную депрессию (Аракатское землетрясение 1840 г.); или продолжающийся опускаться грабен (землетрясение в Скопле 1963 г.); или наложенная погружающаяся депрессия (синклиналь) типа линзы (землетрясения в Токио 1923 г.; Гегечкори 1957 г.); или целый блок земной коры (ограниченный по краям крутыми разрывами) с признаками как вертикальных, так и горизонтальных смещений (землетрясения в Танго 1927 г., Мино-Овари 1891 г.); или блок в пределах передового прогиба, ограниченный со всех сторон (в том числе и в подошве) разломами различного типа с проявлениями как вертикальных, так и горизонтальных движений, вызванных давлением со стороны соседнего складчатого сооружения (альпийского возраста), надвинутого на прогиб (Ашхабадское землетрясение 1948 г.); или воздымающийся блок, сложенный массивом гранитоидной неинтрузии с признаками криптовулканических процессов (Зангезурское землетрясение 1931 г.); или активный тектонический "клин", сложенный мезозойскими отложениями и далеко продвинутый в поле развития более молодых отложений (Дагестанское землетрясение 1970 г.); или, наконец, при еще более глубоких очагах система дугообразных деформаций, сопровождающих крутой изгиб простираний альпийских складчатых сооружений с заметными неоднородностями в верхней мантии (Карпаты 1970 г.; Памирские землетрясения). Безграничен набор конкретных деталей сейсмогеологической обстановки, деталей, объединенных одним общим свойством — наличием признаков новейших "современных" интенсивных и контрастных тектони-



Р и с. 4.10. Ташкентское землетрясение 26.04.66 (Западный Тянь-Шань) (по [230])

ческих движений [204, 205, 206, 212, 217, 220, 236]. Геологически картина ясна, но построение математической модели представляется в настоящее время задачей довольно трудной (см., например, работу [212], где дается физическая интерпретация с математической обработкой сейсмических данных о природе очага в соответствии с теоретическими исследованиями В.И. Смирнова, С.Л. Соболева и Е.А. Нарышкиной).

## Глава 5

### СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

#### 5.1. СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ (СР)

**Общее сейсмическое районирование (ОСР).** Конечным практическим итогом исследований в области региональной сейсмологии должен явиться прогноз землетрясений, точнее, ответ на три вопроса: где следует ожидать появления землетрясений, какой силы (интенсивности) они могут достичь и когда произойдут? Ответ на вопросы "где?" и "что?" — прерогатива сейсмического районирования. Ответ на вопрос "когда?" — задача в высшей степени сложная, самостоятельная, отдельная; рассмотрим ее вкратце несколько ниже, в 5.2.

Проблема СР возникла в 30-х годах нашего столетия, в период первых пятилеток, в связи с началом крупного капитального строительства: промышленного, жилищного, транспортного, гидротехнического и т.п. Возникла надобность в определении норматив-

ного ("исходного") уровня потенциальной сейсмической опасности и затем разработке норм и правил сейсмостойкого строительства, имеющего целью обеспечение сохранности зданий и сооружений и безопасности для населения при будущих землетрясениях. Задача СР решается различными методами, но главным во всех случаях является выяснение геолого-геофизической обстановки возникновения происходивших ранее землетрясений ("обучение") и распространение установленных сейсмогеологических закономерностей на регионы подобного же строения.

Именно так в принципе решал задачу еще в 1918 г. И.А. Преображенский для северных предгорий Северного Тянь-Шаня. Составленная И.А. Преображенским "Схема сейсмичности полосы от станции Отар до г. Верного" (ныне Алма-Ата) показывает, что сейсмичность в данном районе возрастает с запада на восток. Под сейсмичностью автор понимал "степень возможности разрушительных последствий землетрясений" [287].

Следует напомнить также о работах Д.И. Мушкетова в том же направлении в 30-х годах. Он предложил вариант карты СР для Средней Азии [276], а затем и для всей территории СССР [275]. Приложенная к статье [275] сейсмоструктурная схема СССР составлена в соответствии с тем основным принципом, что "сейсмичность всех частей Союза является функцией их геотектонических особенностей и связи последних между собой" (с. 10). В те годы еще не существовало понятия о неотектонике, и Д.И. Мушкетов, учитывая наличие высокой сейсмической активности в некоторых областях, лежащих за пределами альпийской складчатости, отдавал приоритет последней как "возбудителю" сейсмичности и во внеальпийских регионах. На своей карте автор показывает сейсмоструктурные зоны и области землетрясений в V—VII, VII—IX и IX—X баллов. Любопытно, что статья названа "Опыт сейсмического районирования СССР", а итоговая карта именуется сейсмоструктурной. Д.И. Мушкетов выделял на карте главные сейсмические "области", затем сейсмические "районы" и, наконец, "эпицентры", предвосхищая тем самым принципы системного анализа. Карта была воспроизведена также в [113, с. 672].

В начале первой пятилетки Академия наук СССР стала получать во все возрастающих количествах запросы от проектирующих и строящих организаций относительно сейсмических условий тех или иных пунктов или районов территории СССР. Научная разработка этих вопросов и осуществление консультаций были возложены на Сейсмологический институт Академии наук СССР (СИАН), организованный за год до начала первой пятилетки (ныне Институт физики Земли АН СССР). Первые шаги в этом направлении показали, что проведение обоснованных экспертиз требует предварительной систематизации огромного материала, накопленного за 100—200 лет, но необходимо было организовать службу инструментальных наблюдений, т.е. создать разветвленную сеть сейсмических станций. Наконец, надлежало изучить, по возможности подробно, геологические условия возникновения землетрясений и на этой основе попытаться обнаружить какие-то закономерности в распределении сейсмических сил на территории нашей страны.

Академия наук СССР развернула исследования во всех этих направлениях, и к концу второй пятилетки, т.е. к 1937 г. работы, так сказать, первой очереди были завершены. Другими словами, появилась возможность удовлетворять требования проектирующих организаций в отношении оценки сейсмического режима той или иной территории в минимальные сроки и со значительной долей определенности. Практически результаты этих исследований выразились в составлении карт сейсмического районирования территории СССР, первая из которых была опубликована в 1937 г.; она была использована при составлении официальных норм сейсмостойкого строительства [249—251, 267, 268].

Перечисленные выше карты отличались от разнообразных сейсмических (эпицентральных, сейсмостатических, изосейсмальных и т.п.) тем, что в них была заложена идея о тесной обусловленности сейсмических и геологических данных, т.е. идея о зависимости землетрясений от геологической истории и геологического строения каждого конкретного региона. Конечно, неполнота исходных данных, как геологических, так и сейсмических, и неразработанность теоретических представлений в области сейсмо-тектоники не могли не сказаться на достоверности синтеза, но все же те ранние карты могут, по-видимому, расцениваться в качестве первых попыток подхода к вопросу о прогнозе в отношении сейсмогеографии, т.е. места возможного возникновения будущих землетрясений и их интенсивности. Тогда подчеркивалось, что распределение и интен-

сивность тектонических землетрясений находятся "в функциональной зависимости от распределения и интенсивности тектонических движений (любого типа) современного этапа развития альпийского орогенеза. Сейсмической активностью в равной степени характеризуются альпинотипные дислокации Румынии, глыбовые структуры (глубинные складки) Тянь-Шаня, радиальные дислокации Прибайкалья, специфические структуры Тихоокеанского побережья Азии, разнообразные мелкие тектонические нарушения Кавказа и т.п. Распределение и интенсивность землетрясений в каждом самостоятельном сейсмическом районе зависят от распределения и взаимосвязей крупных структурных единиц района, от общего плана его строения. Распределение очагов мелких землетрясений зависит непосредственно от тектоники поверхностных слоев коры — от складчатости палеозойских, мезозойских и третичных отложений" [250, с. 7].

С тех пор проблема сейсмического районирования и сейсмостойкого строительства становится делом государственного значения, что выражается, в частности, в издании различных документов союзного и республиканского масштаба, обязывающих проектирующие организации к внедрению в практику строительства ряда сейсмопрофилактических мероприятий, уменьшающих опасность повреждения зданий от землетрясений.

В 1947 г. В.Ф. Бончковский [240] в обзорной статье дал описание состояния и значенности проблемы СР и привел карту СР территории СССР в масштабе 1 : 25 000 000.

К тому же году относится диссертация Г.П. Горшкова "Тектонические землетрясения и сейсмическое районирование территории СССР". Позже Г.П. Горшков не раз возвращался к этой теме как для территории СССР, так и других стран [252, 260, 262, 263 и др.].

В 1957 г. Совет по сейсмологии АН СССР издал под редакцией Е.Ф. Саваренского специальную брошюру [266], где даны сведения по истории исследований в области СР, перечислены учреждения, занимающиеся этой проблемой и поставлены очередные задачи. В 50-х годах и позже появилось много других работ на тему о СР [118, 237, 239, 246, 248, 271, 280—282, 295, 300, 303, 305, 306 и др.].

Особое значение имеет книга "Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР" [373], где уделяется большое внимание геологии, геоморфологии, геодезии, геофизике, инженерной геологии, строению земной коры.

Карты СР масштаба 1 : 5 000 000 или 1 : 2 500 000 строятся в целях установления для каждого пункта величины ожидаемой сейсмической балльности, вернее, той нормативной балльности, которую рекомендуется учитывать при строительстве, и выражаемой именно в баллах как мере интенсивности подземных толчков или колебаний. К сожалению, понятие о балле отличается некоторой неопределенностью физической характеристики, что влияет в какой-то мере на точность исследований.

Что касается нормативных документов, официально регламентирующих характер мероприятий по защите построек от разрушения при землетрясениях, то соответствующие издания с сопровождающими их картами СР и списками географических пунктов (с указанием для каждого из последних цифр нормативной балльности) таковы: [278, 286, 308 и др.]. Ряд аналогичных изданий опубликован в союзных республиках: в Армении, Грузии, в Крыму и т.п. Последнее издание строительных норм и правил для сейсмических районов (СНиП II-7-81) опубликовано в 1982 г. Стройиздатом.

Согласно программе научно-технических работ ГКНТ Совета Министров СССР и АН СССР (1970 г.) были организованы исследования, конечной целью которых должна была стать новая карта СР территории СССР. Исполнение работ было поручено Институту физики Земли АН СССР как головной организации. В работе участвовали соответствующие институты Сибирского отделения АН СССР, Дальневосточного научного центра АН СССР, Академий наук союзных республик, Министерства геологии СССР и его территориальные управления, Госстрой СССР (ЦНИИСК), некоторые университеты (в том числе московский) и другие учреждения. Координация работ осуществлялась Межведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР. Работа велась на протяжении нескольких лет.

В итоге были получены следующие результаты.

1. Составлен новый каталог сильных землетрясений территории СССР (с древнейших времен до 1975 г.), изданный под редакцией Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина [31].
2. Монография по сейсмической сотрясаемости (с атласом карт по всем регионам), изданная под редакцией Ю.В. Ризниченко [47].

3. Коллективная монография по сейсмическому районированию территории СССР, изданная под редакцией В.И. Бунэ и Г.П. Горшкова [304], с картой СР масштаба 1 : 20 000 000 (рис. 5.1, вкл.), а также, отдельно, карты СР: масштаба 1:2 500 000, получающая индекс СР-78 (оригинал хранится в ИФЗ АН СССР), и 1:5 000 000.

4. Строительные нормы и правила (издание 1982 г.), составленные ЦНИИСК им. Ку-черенко Госстроя СССР.

Новая карта СР (СР-78) заметно отличается от аналогичных прежних: при ее составлении использован новый богатый материал по сейсмичности, геофизике, геологии; в равной мере учитываются как сейсмологические, так и геологические данные; дальнейшее развитие получила методика комплексного анализа всех материалов, чему способствовало издание методических рекомендаций по СР [273]; показаны участки, в пределах которых могут возникать очаги ( $M \geq 6$ ) землетрясений (зоны "ВОЗ") — по геологическим и геофизическим данным; показана средняя повторяемость землетрясений той или иной интенсивности, начиная с  $I_i \geq 7$  баллов, с помощью индексов при показателях интенсивности (см. рис. 5.1).

Карта СР-78 была одобрена Комиссией по сейсмическому районированию (председатель комиссии Г.П. Горшков) МСССС, принята редакционной коллегией по карте СР-78 (председатель редколлегии М.А. Садовский) и Президиумом АН СССР. 15.06.81 карта утверждена Госстроем СССР в качестве нормативного документа с введением в действие взамен прежних изданий карты СР с января 1982 г.

Особо нужно отметить, что работа по составлению карты СР-78 велась при самом активном участии сейсмологов, геологов, геофизиков, строителей союзных республик; всюду оказались в наличии специалисты нужной квалификации, и они стали основными непосредственными исполнителями всей работы и авторами соответствующих региональных глав в итоговых изданиях [31, 47, 304].

Отмечу, что, как показывает опыт, каждая карта СР со временем нуждается в модернизации. Карта СР-78 сейчас действует, но уже нужно думать о новых методиках, новом содержании будущей карты СР и заранее готовиться к предстоящей работе.

Следует разработать методику учета частоты, или повторяемости, сильных землетрясений. В карте нормативного значения фактор частоты учитывается путем некоторого снижения исходной балльности до расчетной при малой частоте сильных землетрясений (раз в сотни или тысячи лет). Нормативная карта по сути своей оказывается вероятностной. Как указано в [304, с. 96]: "... в каждой из выделяемых зон могут возникать землетрясения более высокой интенсивности, но вероятность возникновения таких землетрясений весьма мала. Этим определяется вероятностный характер карты нормативного назначения". Ашхабадское и Газлийское землетрясения лишней раз подтвердили справедливость этого указания. Риск встретиться слишком дорогим. Отсюда возникает задача составления карты максимальных, теоретически ожидаемых (на основании геологических соображений) интенсивностей, к которым и следует подготовиться заранее. Эта задача отнюдь не является неразрешимой.

В некоторых странах также проведена работа по сейсмическому районированию: все социалистические страны, некоторые развивающиеся и капиталистические обладают картами СР. Но местами, особенно в капиталистических странах, проблема учета сейсмической опасности решается иначе — методом страхования зданий с выплатой владельцам некоторой доли от ущерба, нанесенного землетрясением. Вопрос безопасности населения отходит в этом случае на второй план.

**Детальное сейсмическое районирование (ДСР).** В последнее время в проблеме СР возникло новое направление — детальное сейсмическое районирование (ДСР), осуществляемое в масштабе 1 : 500 000 или близком к тому, т.е. занимающее некоторое промежуточное положение между общим СР (ОСР) и микросейсмическим районированием (МСР). В постановлении Всесоюзного совещания по вопросам ДСР (Симферополь, октябрь 1977 г.) говорится: "Детальное сейсмическое районирование есть определение совокупности ожидаемых сейсмических воздействий на территории проектирования и строительства важнейших народно-хозяйственных объектов, проводимое в масштабах от 1 : 1 000 000 до 1 : 200 000" [293, с. 6—7].

Со временем, по всей видимости, детальное сейсмическое районирование будет обладать своими собственными методами исследования и будет давать свои собственные варианты решений, но, думается, уместно ставить вопрос о более точном и конкрет-

ном определении специфических особенностей ДСР, о его отличии от ОСР; вопрос этот правомерен, поскольку окончательных решений по нему пока нет. Тем не менее литература о ДСР уже появляется; ограничусь упоминанием о таких изданиях, как [91, 264, 293]. В последнем сборнике содержится большое число как методических, так и региональных статей.

**Микросейсмическое районирование (МСР).** В нашей стране в деталях разработан вопрос о так называемом сейсмическом микрорайонировании (МСР), которое выполняется для отдельных населенных пунктов, строительных площадок и т.п. "Уточнение сейсмичности площадки строительства в зависимости от геологических условий производится на основе карт сейсмического микрорайонирования, осуществляемого согласно специальной инструкции" [308, с. 3]. Под геологическими условиями в данном случае подразумеваются именно местные условия, т.е. состав, качество, строение грунта, рельеф местности, гидрогеологическая обстановка и т.п.

В СНиП 1982 г. указано, что "интенсивность и повторяемость следует принимать по картам сейсмического районирования СССР" (с. 3, п. 1–6) и что "определение сейсмичности площадки строительства следует производить на основании сейсмического микрорайонирования". И затем перечисляются неблагоприятные в смысле реакции на сейсмические воздействия факторы: крутизна склонов более  $15^\circ$ , близость активных сбросов, сильная просадочность грунтов, наличие обвалов, осыпей, пльвунов, карст, сели и т.п. В таблице дается подробная характеристика грунтов I–III категорий и их влияние на сейсмический эффект. Грунты I категории (скальные) понижают фоновую сейсмичность, доводя ее до расчетной, на 1 балл; грунты III категории (пески рыхлые, гравелистые, мелкие, пылеватые, водонасыщенные, глинистые слабой консистенции и т.п.) повышают фоновую сейсмичность на 1 балл, доводя ее до расчетной; при грунтах II категории (скальные выветрелые, крупноблочные, пески плотные и песчаники малоувлажненные и т.п.) величина расчетной балльности не изменяется по сравнению с фоновой. Имеется большая литература по вопросу о МСР [242, 279, 291, 292, 294, 301, 302, 305, 309, 965 и др.].

**Сейсмостойкое строительство.** Материалы исследований по сейсмическому районированию (ОСР, ДСР, МСР) учитываются, естественно, в практике сейсмостойкого строительства. Удорожание строительства в целях обеспечения сохранности сооружений и жизни человека составляет 2–4% от обычных расходов на строительство на каждый балл (в условиях 7–9 балльной сейсмичности). Карта "СР-78" по сравнению с предыдущей несколько расширяет площадь 7- и 8-балльных зон, но несколько сокращает площадь 9-балльных зон. Таким образом, расходы на антисейсмические мероприятия сохраняются (с учетом невысокой точности расчетов) приблизительно в прежних объемах.

Литература по специальным вопросам сейсмостойкого строительства довольно обширна [238, 269, 272, 278, 285 и др.]. Имеются периодические издания и бесчисленное количество статей, особенно в республиках Средней Азии и Кавказа. Опубликованы материалы многих совещаний по вопросу о нормах, правилах, приемах сейсмостойкого строительства. Более старые издания Н.Н. Ботвинкина 1933 г., Г.В. Попова — 1934 г., А.Г. Назарова, А.Л. Чураяна — 1935 г., В.О. Цшохера — 1935 г., В.О. Цшохера, В.А. Быховского — 1937 г., М.Я. Пильдиша — 1950 г. сыграли большую роль в разработке основ учения о сейсмостойком строительстве. Большое развитие получили вопросы инженерной сейсмологии, "взрывной" сейсмологии, "возбужденной" сейсмичности [243, 244, 297, 298]. Вопросы эти стоят несколько в стороне от нашей основной темы. Касаться их не будем.

В итоге можно сказать, что проблемы сейсмического районирования — общего (ОСР), детального (ДСР), микросейсмического районирования (МСР), а также инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства — имеют не только научное, но и существенно практическое значение.

## 5.2. О ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Отмечу прежде всего, что литература по вопросу о прогнозе землетрясений довольно обширна. Уже в 1954 г. вышел в свет сборник трудов Геофизического института АН СССР "Проблемы прогноза землетрясений" [288]. Бюллетень № 1 Совета по сейсмологии, 1955 г., в значительной мере также был посвящен проблеме прогноза [241]. Исследования по прогнозу землетрясений появились в тематических планах Академии наук,

в сущности, после Ашхабадского 1948 г., и, особенно, Ташкентского 1966 г. землетрясений. К концу шестидесятых годов оказалось уже возможным составить библиографический указатель изданий по прогнозу [289].

В 1953 г. Г.А. Гамбурцев [247], перечисляя факторы, которые "могут иметь значение для прогноза времени возникновения землетрясений" (с. 12) и анализируя каждый из них, пришел к выводу, что "до настоящего времени ни по одному из перечисленных пунктов не удалось получить определенных результатов" (с. 13). Тем не менее, заключал Г.А. Гамбурцев, "при интенсивной совместной работе успех в разрешении поставленной проблемы, несомненно, будет достигнут" (с. 14).

В 1967 г. М.А. Садовский сказал ясно и с оптимизмом: "Наука будет предсказывать землетрясения" [299, с. 3].

Семидесятые годы ознаменовались появлением немалого числа сборников и монографий по проблеме прогноза, т.е. по поискам различных по своей природе предвестников землетрясений, опробованию и разработке методов соответствующих исследований — физических, геологических, статистических и т.п. [245, 277, 283, 288, 310]. Была переведена на русский язык и издана монография Т. Рикитакэ [296]. Появилось множество отдельных статей (и диссертаций), в частности работы Ю.А. Мещерякова, А.А. Никонова, В.П. Солоненко, С.А. Федотова.

В 1971 г. Академия наук СССР приняла программу работ по поискам предвестников землетрясений — обширную, комплексную, но достаточно осторожную в смысле формулировки ожидаемых результатов: "Предполагается, что систематические наблюдения за геофизическими полями на протяжении 5—10 лет по возможности... позволят накопить необходимый материал по связи геофизических полей с проявлением сейсмичности..." [290, с. 38].

В 1973 г. в Ташкенте был проведен симпозиум по поискам предвестников землетрясений; в 1980 г. — всесоюзное совещание в Алма-Ате на тему: "Результаты исследований по прогнозу землетрясений". Внимание вопросу о предсказании землетрясений уделялось и за рубежом, в частности на сессиях ЮНЕСКО в апреле 1979 г., в сентябре 1981 г., июле 1981 г.

Вспоминается старинная, забытая статья А.Е. Лагорио (1887 г.) "О землетрясениях и предсказывании их" [270]. Автор полагал, что основной причиной землетрясений, именно "дислокационных" как наиболее важных и частых, служат "кряжеобразовательные процессы". "Предсказание, — писал А.Е. Лагорио, — сознательно должно всегда основываться на полном знании причинной связи касательно данной области явлений... Если бы нам были вполне известны и ясны кряжеобразовательные процессы и их ход в отдаленном и близком прошедшем, то дело было бы проще. Но в этом отношении далеко не все ясно. И поэтому, не говоря о настоящем, и в ближайшем будущем нет никакой возможности предсказывать землетрясения..." Автор подчеркивает: "Предсказать же точно землетрясение и местность его нет и тени возможности... Но, — резюмирует автор, — унывать не следует, так как деятельная разработка всех областей геологической науки идет все далее и далее... И русским ученым предоставляется в полной мере для разработки этих вопросов чудесный материал и обширнейший простор от гор Балканских до Памира, Кузнь-Луны и Камчатки" [270, с. 11—13].

Хорошая статья. Объективная, осторожная. И уже в то время было ясно, что в основе "разработок" по прогнозу должны лежать ясные представления из области сейсмогеологии, чего, к сожалению, нет во многих современных программах по прогнозу.

И печально, что совсем пессимистическую точку зрения изложил недавно (1974 г.) сейсмогеолог В.П. Солоненко: не так, говорил он, важно знать, когда произойдет землетрясение, как где оно будет и какой силы достигнет: "Жизненно важно не предсказать точное время, когда будет разрушение города, а построить его там и так, чтобы он не был разрушен" [307, с. 177].

Странная вещь: происходит мощное, грандиозное землетрясение, т.е. постепенно накапливается, а затем освобождается колоссальное количество энергии, а предвестников, которые могли бы предупреждать о надвигающейся катастрофе, вроде бы нет! Не может этого быть: предвестники, конечно, есть, но как их обнаружить? По каким признакам, какими методами? И нужно не отказываться от поисков предвестников, а искать их и на этой почве предвидеть будущее проявление сейсмической опасности.

И вот поиск идет в разных направлениях. Сначала, естественно, возникает мысль о физических процессах, протекающих в недрах Земли. В толще пород мантии и коры на-

капливается потенциальная энергия, растут напряжения, следовательно, изменяются физические свойства вещества — плотность, упругость, скорость упругих колебаний, другие параметры. Нельзя ли заметить эти изменения, изучить их темп, подметить какие-то опасные ситуации? Этому посвящен сборник [310], показывающий разнообразие аспектов проблемы и путей подхода к ее решению.

Трудностей много. "Эта проблема занимает умы человечества уже несколько десятилетий, хотя достигнутые успехи весьма скромны. Отсутствие сколько-нибудь законченной теории физических процессов возникновения землетрясений, полная невозможность активного вмешательства исследователя в изучаемое явление, неожиданность события и ряд других факторов усложняют решение этой и без того трудной задачи", — говорил М.А.Садовский в [310, с. 3]. Но отсутствие законченной теории физических процессов, связанных с возникновением землетрясений, я бы сказал больше: наличие широко распространенной, но необоснованной гипотезы о связи землетрясений с тектоническими разрывами, гипотезы, лежащей в основе многих современных исследований в области сейсмологии, тормозит работу, уводит ее в сторону ложных путей и не приводит и не может привести к положительным результатам.

Тем не менее конкретные результаты исследований [310] в ряде случаев приводят к интересным и обнадеживающим выводам. Я отметил бы в первую очередь работы по изучению напряженного состояния и упругих свойств пород в период подготовки землетрясения в его очаге (работы И.Л.Нерсесова и его коллег по Талгарской и Гармской обсерваториям и ФЗ АН СССР). Постепенное накопление напряжений, т.е. процесс подготовки очага землетрясения, сопровождается изменением упругих свойств вещества, что ведет к изменению скорости сейсмических волн, искусственных или естественных, проходящих через будущий очаг. Изменяется не только скорость  $V_P$  или  $V_S$ , но и отношение этих скоростей  $V_P : V_S$ . Систематические наблюдения за этими изменениями позволяют наметить и место будущего очага, и время ожидаемого толчка. В таком направлении успешно ведутся исследования и, кажется, приводят к обнадеживающим результатам.

Затем возникла интересная идея концентрации всесторонних комплексных исследований на специально отобранных, заведомо сейсмоопасных полигонах, которые были созданы во многих союзных республиках и вскоре дали новые результаты [284]. Правда, в предисловии к указанной книге констатируется (это 1974 г.), что "в настоящее время рано еще говорить о возможности прогноза времени землетрясения" (с. 4), в частности, и по той причине, что нельзя считать удовлетворительной связь сейсмологических исследований, чисто сейсмологических концепций, с естественной основой сейсмологических процессов, с положениями об их геологической природе.

Международный симпозиум, проведенный силами МСГС, МАСФНЗ, МКППЗ и Академией наук УзССР при активном участии МСССС и ИФЗ АН СССР, привлек к себе большое внимание специалистов и показал широту программы исследований, выполняемых в разных формах, по прогнозу землетрясений [283]. Следует отметить, что плодотворными оказались научные международные связи, например СССР и США, в данной проблеме. Во многих случаях были получены первые интересные результаты. Особенно интересен доклад от Института вулканологии ДВНЦ АН СССР С.А.Федотова и соавторов [265] о долгосрочном и краткосрочном прогнозе землетрясений на Камчатке. С.А.Федотов разрабатывает этот вопрос с 1965 г. В основу положен тщательный статистический анализ фиксированных ранее событий. Выявлена известная периодичность в появлении сильных землетрясений в условиях единого в тектоническом отношении сейсмоопасного региона Курил и Камчатки. Экстраполяция установленных положений на ближайшие годы позволяет авторам дать прогноз места, силы и времени будущих землетрясений: "...в настоящее время предсказываются вероятные места будущих землетрясений с  $M \geq 7\frac{3}{4}$ , вероятные годы с  $M \geq 7$ , а также магнитуды землетрясений, которые ожидаются, с вероятностью 0,5 в течение пятилетних интервалов времени в различных участках сейсмической области у берегов Камчатки, а также другие характеристики сейсмичности" (с. 53). Прогноз удовлетворительно оправдывался в период семидесятых годов.

Другое направление исследований — разработка диффузионно-дилатационной гипотезы развития очага землетрясения; думаю, что гипотеза, вообще говоря, надуманная и излишняя, хотя она и получила известный отклик в докладах.

К 1978 г. относятся две книги: монография В.И.Мячкина [277] и сборник [245].

Первая посвящена систематическому изложению теории строения и развития очага на фоне представлений о лавинно-неустойчивом трещинообразовании и так называемой дилатансии. В работе много интересных идей и предложений, но, к сожалению, имеются и спорные места, к последним относится положение о том, что "физика очага землетрясения — это физика разрушения горных масс в условиях земных недр. Очевидно, что очаг землетрясения как процесс быстрого распространения разрыва не может быть понят и физически описан без выяснения условий его возникновения и исчезновения" (с. 20). Нет, это не "очевидно", это вопрос по меньшей мере дискуссионный. Если пользоваться аргументацией автора (с которым мы во всех деталях обсуждали этот вопрос), то, очевидно, что физика очага землетрясения — это не физика "разрушения" горных масс, и не "быстрое распространение разрыва"; и то и другое — явления, сопутствующие землетрясению (и притом вовсе не обязательно), т.е. следствие тектонических процессов, таким же следствием которых являются и землетрясения. Подробнее рассмотрен этот вопрос в разделе 4.2.

Во второй книге [245] широко использованы методы вычислительной сейсмологии, статистический анализ, эвристические алгоритмы, ЭВМ, математика, спектральный анализ колебательного процесса, асимптотические методы и т.п. — это все хорошо, и, по-видимому, полезно, но недостаточный учет геологических факторов во всех этих приемах обработки исходных данных очевиден, и это заметно снижает достоинства работы.

Интересный опыт анализа и предсказания землетрясений обсуждался недавно на совещании Европейской сейсмологической комиссии (1979 г.) по докладу китайских ученых. Выполненный ими анализ основан на идее о связи динамических характеристик очагов землетрясений с новейшими тектоническими движениями, при выявлении которых используются как наблюдения из космоса, так и представления в области глобальной тектоники плит [825].

Книга Т.Рикитакэ, известного японского сейсмолога, "Предсказание землетрясений", 1979 г. [296], касается многих методов исследования с особым акцентом на возможностях и результатах таких методов, как геодезические измерения деформаций земной поверхности и непрерывные инструментальные наблюдения за движениями земной коры, в чем японские геофизики достигли серьезных успехов. Рассмотрены и многочисленными другими методами. Книга написана ясным, живым языком и содержит обильный фактический материал. Автор в итоге полагает, что имеющиеся результаты позволяют "надеяться на предсказание, если не всех, то некоторых землетрясений уже в ближайшем будущем" (с. 10). В 1968 г. в краткой заметке по вопросу о прогнозе землетрясений [261] я имел основание сказать, что "не все безнадежно в поисках путей к решению задачи о предсказании землетрясений. Более того, намечаются, пусть осторожно, пусть не всегда успешно, но определенно намечаются какие-то пути, следуя которым можно надеяться на успех" (с. 34).

Что же в итоге? Есть ли надежда в ближайшее время найти достоверные предвестники приближающегося сильного землетрясения? На какие методы из многих опробованных следует в основном опираться? Чтобы приблизиться к решению задачи прогноза землетрясений, этой труднейшей задачи естествознания, надлежит осуществить следующие мероприятия.

1. Разработать наиболее достоверную с точки зрения физики и геологии модель очага тектонического землетрясения. Следует оставить широко распространенную, но ложную концепцию "очаг — разрыв" перейти к более правильной, логичной и перспективной модели "очаг — объем". С помощью последней модели можно получить реальное представление о геологической обстановке и физических условиях развития механизма очага землетрясения, о методах интерпретации инструментальных сейсмометрических наблюдений, о теоретическом распределении сейсмических сил (макросейсмическое поле, сейсмическое районирование) и в конечном итоге приблизить возможность прогноза землетрясений.

2. Этап всесторонних комплексных исследований по прогнозу землетрясений как этап проведения пробных поисковых исследований, этап, по-видимому, необходимый, но ведущий к значительному распылению средств и неоправданному сохранению некоторых ложных и второстепенных путей, в данное время следует заменить этапом целенаправленных, сконцентрированных исследований по зарекомендовавшим себя направлениям. Следует решительно избавиться от тематики, искусственно приспособленной

к проблеме прогноза и лишь весьма косвенно относящейся к ней (или совсем не относящейся).

3. В основу программы по прогнозу землетрясений следует решительнее, чем до сих пор, внести геолого-геофизические представления о природе землетрясений и механизме развития очага землетрясения и соответственно пересмотреть сеть прогностических полигонов, сузить их площадь, установить участки реальной сейсмической опасности ближайшего будущего и сконцентрировать необходимые исследования на этих участках.

Среди методов исследования, которые можно считать перспективными и которые следует развивать и далее, назову следующие.

1. Изучение физических свойств, в первую очередь упругих, вещества недр вероятного очага, изменения этих свойств в период подготовки землетрясения, в первую очередь скорости распространения упругих колебаний. Можно считать установленным достаточно твердо, что изменение скоростей в пределах потенциального очага происходит, и можно попытаться наметить те их экстремальные значения, которые сигнализируют о приближении момента землетрясения.

2. Изучение деформаций рельефа дневной поверхности на участках потенциально-опасных очаговых зон методами геодезии (и другими инструментальными методами). В случае сильных коровых землетрясений изменения рельефа наблюдаются достаточно отчетливо (даже визуально), и можно ожидать адекватных изменений и до землетрясения, в период подготовки последнего. Наблюдения нужно вести систематически, повторяя их время от времени.

3. Изучение статистических закономерностей в хронологии землетрясений в строго ограниченных рамках тектонически квазиоднородных регионов. В таких регионах при постоянстве сейсмического режима довольно ясно проявляется периодичность сильных землетрясений, что позволяет решать задачу как долгосрочного, так и краткосрочного прогноза (с известным приближением, естественно).

4. Изучение новейших и современных движений земной коры, как вертикальных, так и горизонтальных, всеми методами неотектоники, геоморфологии, геологии, установление основных тенденций развития этих движений, соотношение их с движениями альпийского возраста. Установление по этим материалам сейсмоопасных зон.

5. Изучение некоторых геофизических полей (в основном гравиметрического во всех редукциях, в особенности изостатических) и изменение их параметров во времени; при этом следует обратить особое внимание на достижение необходимой точности наблюдений и достоверность выводов.

Проблема прогноза землетрясений трудна, но ее нельзя считать неразрешимой. "Наука будет предсказывать землетрясения" [299, с. 3].

### 5.3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы по сейсмичности, по геологии и геофизике позволяют в настоящее время попытаться сформулировать некоторые общие положения сейсмотектонического порядка — общие по всей территории страны (I часть данного издания) — и более частные и конкретные, касающиеся отдельных регионов (II часть). Можно, мне кажется, сделать следующие выводы:

1. Подавляющая часть землетрясений относится к категории тектонических. Лишь малая часть от всех землетрясений, фиксируемых на данном этапе развития Земли, может быть отнесена на счет других процессов — магматического, вулканического, космического, экзогенного, антропогенного и др.

2. Первоисточником тектонической, а вместе с тем и сейсмической энергии служат геодинамические процессы, протекающие во всей толще мантии Земли и земной коры — именно напряжения, возникающие в итоге суммарного действия медленно изменяющихся гравитационных, геотермальных и ротационных сил. Количественные соотношения между перечисленными факторами в первом приближении поддаются расчету. Основная роль принадлежит, по-видимому, внутриатомным силам в веществе мантии. Вряд ли можно исключить роль земного ядра, его влияние на геодинамику внешних оболочек планеты, но расчет этого влияния пока затруднителен.

3. Большая часть очагов землетрясений располагается в наружной половине земной коры (до 25 км). С глубиной количество очагов землетрясений быстро падает, что, по-видимому, связано с возрастанием способностей твердой среды к пластическим дефор-

мациям на больших глубинах под воздействием всестороннего давления (веса вышележащих пород).

4. В географическом отношении землетрясения распространены крайне неравномерно: равнины на континентах и глубоководные со спокойным рельефом дна части океанических впадин (талассократоны) содержат весьма мало очагов землетрясений; горные страны и участки контрастного рельефа дна океанов несут на себе основную часть очагов землетрясений.

5. В геологическом отношении землетрясения оказываются связанными в первую очередь с участками проявления интенсивных новейших (в том числе современных) тектонических движений (различных по направлению) и деформаций (разнообразных по форме). Среди них можно условно выделять вертикальную и горизонтальную составляющие смещений.

6. Новейшие движения, а следовательно, и сейсмичность проявляются по-разному в зависимости от реальной геологической обстановки.

Сейсмоопасными являются: эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста; эпиплатформенные орогены с интенсивным проявлением процессов четвертичной активизации; современные рифты, как материковые, так и океанические; зоны Заварицко-го—Беньофа, сопровождающиеся глубоководными желобами и знаменующие собой переход от континента к океану (Тихоокеанский тип взаимоотношений мегаструктур земной коры). Все перечисленные типы мегаструктур характеризуются отчетливым проявлением новейших и современных тектонических движений (неотектоника).

7. В меньшей степени сейсмические явления присущи зонам мезозойской складчатости; самой слабой сейсмичностью отличаются древние платформы, как материковые, так и океанические, с самым слабым проявлением новейших и современных движений (хотя нельзя сказать, что они совсем лишены сейсмических проявлений).

8. Повышенной сейсмичностью характеризуются участки утолщенной земной коры с глубиной поверхности Мохоровичича более 40–50 км и со значительными контрастами в рельефе подошвы коры.

9. Повышенной сейсмичностью отличаются не только участки интенсивных новейших движений, но, как правило, и зоны повышенных значений модулей горизонтальных градиентов вертикальных движений при  $\text{grad } V \geq 8 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$ .

10. Повышенной сейсмичностью характеризуются области проявления современного вулканизма, высоких геотермальных, а также геомагнитных аномалий, хотя в этом отношении имеется и немало исключений.

11. Повышенной сейсмичностью отличаются участки крутых поворотов простираения альпийских складчатых сооружений (по сравнению с прямолинейными участками), а также места пересечения складчатых зон альпийского возраста крупными, глобального значения линеаментами (линейными зонами повышенной мобильности коры; подобные линеаменты часто оказываются поперечными по отношению к альпийским складчатым зонам).

12. Повышенной сейсмичностью отличаются участки высоких значений аномалий силы тяжести, особенно изостатических, в том числе трансформированных на высоту в 50 км над уровнем моря.

13. В большинстве случаев сейсмичность свойственна участкам коры, испытывающим напряжения субгоризонтального сжатия при стрессе, перпендикулярном к направлению альпийской складчатости или, реже, растяжения (в современных рифтах). Наличие наклоненных фокальных зон с глубокими очагами удовлетворительно объясняется в рамках закона скалывающих напряжений, проникающих до глубин в сотни километров.

14. Механизм очага тектонического землетрясения сводится к следующему: потенциальная энергия упругого состояния вещества постепенно накапливается в крупных массивах коры или верхней мантии; когда напряжения превысят прочность пород или сопротивление трения, происходит внезапное смещение массива (блока) пород, и столь же внезапная остановка с переходом потенциальной энергии упругого напряжения в кинетическую энергию деформации. Этот момент и сопровождается землетрясением, причем энергию излучает каждая материальная частица испытавшего деформацию блока, т.е. трехмерная масса блока (но не точка, не одномерная линия, не двухмерная поверхность тектонического разрыва любого типа). Другими словами, очаг землетрясения — это не разрыв среды, это удар, сбрасывание энергии при внезапной остановке процесса смещения или деформации определенного объема пород (складка, группа складок,

блок, массив, определенная материальная трехмерная масса пород). Деформация блока выражается смещением всей его массы или перераспределением упругих напряжений с изменением плотности и объема пород. Деформация может выражаться и крипом, без землетрясения.

15. Нередко наблюдается тяготение гипоцентров землетрясений к тектоническим разрывам, в том числе к зонам глубинных разломов. Именно к зонам: на сместители разрывов гипоцентры, как правило, не попадают, они (основной толчок и гипоцентры афтершоков) занимают определенный, более или менее крупный объем в зоне разрыва (его крылья и весь объем активно смещающегося блока). Тектонический разрыв для своего образования требует затраты какой-то доли энергии, т.е. он уменьшает общую энергию землетрясения. Отделяя собой блоки с различной динамикой, разрыв облегчает реализацию смещения активного блока, но этим роль разрыва в основном и ограничивается. Энергия излучается крыльями разрыва. Амплитуда смещения крыльев вблизи разрыва (особенно при смещении их в противоположные стороны) может достичь значительной величины, что и создает ложное представление о разрыве как источнике колебаний. Очаг землетрясения — это весь объем испытывавшего деформацию блока, а гипоцентр — это условная точка, "центр тяжести" деформированного блока.

16. Для землетрясений с мелкими очагами без труда обнаруживается их связь с развитием отдельных тектонических структур, фиксируемых геологическими методами.

17. Наблюдается, по-видимому, более или менее правильная повторяемость, т.е. периодичность сильных землетрясений, особенно глубокофокусных, возникающих в условиях сравнительной изотропии свойств вещества. При мелких очагах, связанных с усложненной структурой приповерхностных частей коры, т.е. развивающихся в условиях анизотропной среды, периодичность проявляется весьма нечетко, здесь предпочтительнее говорить о так называемой сотрясаемости, т.е. о средних периодах повторения подземных толчков.

18. Сильные землетрясения происходят гораздо реже слабых, что наглядно выражается графиком повторяемости (с его обычным наклоном около 0,45). Определение максимальной, возможной в данных геологических условиях величины землетрясения (максимальной магнитуды) представляет важную, но трудно разрешимую задачу сейсмологии.

19. Выявление мест возникновения будущих землетрясений и их интенсивности является основной задачей общего сейсмического районирования (ОСР), которое осуществляется путем совместного анализа сейсмических, геологических и геофизических данных. Официальной картой ОСР (с 1982 г.) служит карта СР-78.

20. Следует различать карты возможных максимальных землетрясений и карты сейсмического районирования; последние служат нормативным документом, позволяющим регулировать степень сейсмопрофилактических мероприятий при строительстве зданий и прочих сооружений, и учитывают низкую вероятность очень сильных землетрясений. Уточнение исходной сейсмичности, т.е. переход от исходной сейсмичности к расчетной, производится путем детального СР или микросейсморайонирования.

21. Прогноз землетрясений, т.е. предсказание времени возникновения сильных землетрясений представляет собой исключительно трудную задачу современного естествознания. Поиски предвестников сильных землетрясений приводят к обнадеживающим результатам и позволяют оптимистически смотреть на возможность решения проблемы прогноза землетрясений. Поиски предвестников — сейсмологических, физических, геологических — следует и дальше вести широким, но целенаправленным фронтом, особенно силами прогностических полигонов.

В целом, как писал в свое время А.П.Орлов [120, вып. 2, с. 97], "Землетрясения... не могут считаться непосредственной абсолютной причиной относительных изменений в уровне почвы, точно так же и наоборот, но... оба явления нужно считать... соотносительными".

### Глава 6

#### СЕЙСМОТЕКТОНИКА КАРПАТСКОГО РЕГИОНА (Молдавия, Западная Украина, Восточные Карпаты)

Большая часть Карпатской горной системы располагается за пределами границ Советского Союза. Но сильные землетрясения румынских Карпат служат источником колебаний, далеко проходящих в северо-восточных направлениях и по территории СССР, они иногда ощущаются на всей площади Молдавии, на Украине и даже в Европейской части России вплоть до Волги; вместе с очагами, лежащими в пределах советской территории они создают тот сейсмический фон, который можно рассматривать только с учетом сейсмической деятельности собственно Карпат.

##### 6.1. ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Эпицентральные карты представляют основу всех дальнейших рассуждений. Они в разной степени детальности публиковались многими авторами; напомним о некоторых.

Одна из самых ранних [352] представляет выкопировку из старинной карты Ф.Монтессю де Балора 1906 г. [812] и сохраняет лишь исторический интерес. На карте С.В. Евсеева 1954 г. [330] показано гораздо больше эпицентров (за время 1790–1952 гг.); здесь отчетливо проявляется высокая активность района Вранча, хотя немалое количество эпицентров появляется и в других местах. В ежегодных каталогах карпатских землетрясений, зарегистрированных Сейсмологическим центром АН УССР, публиковались карты эпицентров на каждый год: с 1955 по 1969 г. [338] и с 1970 по 1979 г. [358]. В качестве примера можно указать на карту Е.А.Сагаловой для 1954–1955 гг. [356]; здесь появляются уже сведения о глубине залегания очагов землетрясений, в основном 50–150 км, в отдельных случаях меньше (к востоку от зоны Вранча). Историей изучения землетрясений в Румынии занималась И.В.Батюшкова [312]. Лаконичная статья была опубликована С.В.Евсеевым и соавторами [331], опубликовавшими карту эпицентров и две карты изосейст для землетрясений 1912 и 1930 гг. Более солидная статья, с попыткой установить связи между сейсмичностью и глубинным строением земной коры, принадлежит Т.Б.Добреву и Ю.К.Щукину [324]. Рельефно показана зона концентрации глубоких очагов западнее зоны Вранча на карте А.В.Друмья и соавторов [327].

С. Roman [820] на своей карте расположения "промежуточных" очагов показал положение "сейсмической зоны", ориентированной по азимуту СВ 35° касательно к дуге Карпат с очагами на глубине от 50 до 200 км, правда, подобная ориентировка "сейсмической зоны", если судить по той карте, улавливается с трудом.

Еще один вариант карты эпицентров землетрясений (с энергией  $E \geq 10^{11}$  Дж за 1952–1972 гг.) предложен Е.А.Сагаловой [357]. Здесь подтверждается СВ–ЮЗ ориентировка зоны концентрации эпицентров глубоких землетрясений и намечена полоса того же направления для эпицентров коровых землетрясений.

Наконец, на "Карте эпицентров землетрясений района Вранча" П.Н.Николаева и Ю.К.Щукина [185] указаны глубины очагов землетрясений и проведены изолинии подошвы очаговой зоны; легко обнаруживается "зональное распределение очагов" с уменьшением их глубины в восток-юго-восточном направлении. Не могу не отметить, что эта работа [185], вообще говоря, отличается богатством фактического материала и оригинальностью геодинамических построений. Рассмотрены такие вопросы, как распределение гипоцентров и сейсмической энергии по глубине (вплоть до 200 км), распределение областей возможных максимальных сотрясений, ориентация нодальных плоскостей,

Таблица 6.1  
Землетрясения Карпатского региона с  $M \geq 6$ , 1800–1980 гг.  
(по [31, с. 37–54; 16])

Дата землетрясения	Эпицентр		Глубина очага	$M$	$I_0$ , балл	Район землетрясений
	$\varphi$ , с.ш.	$\lambda$ , в.д.	$h$ , км			
26.10.1802	45,7	26,6	150	7,4	9	Вранча, Румыния
17.11.1821	45,7	26,6	150	6,7	7–8	"
1.07.1829	47,5	22,2	35	6,2	7	Орадя, Румыния
26.11.1829	45,7	26,6	150	6,9	8	Вранча, Румыния
15.10.1834	47,6	22,3	32	6,8	8	Орадя, Румыния
23.01.1838	45,7	26,6	150	6,9	8	Вранча, Румыния
27.04.1865	44,5	29,5	20	6,4	8	Черное море
25.12.1880	45,7	26,6	150	6,2	7	Вранча, Румыния
17.08.1893	45,7	26,6	100	6,1	7	"
10.09.1893	45,7	26,6	100	6,1	7	"
31.08.1894	45,7	26,6	150	6,5	8	"
6.10.08	45,8	26,5	150	6,8	8	Вранча, Румыния
25.05.12	45,8	27,2	40	6,3	8	Фокшаны, Румыния
25.05.12	45,7	27,2	40	6,2	6–7	" (афтершок)
25.05.12	45,7	27,2	40	6,2	6–7	" (афтершок)
26.01.16	45,4	24,6	21	6,4	8	Вне пределов карты
1.11.29	45,9	26,5	150	6,6	7	Вранча, Румыния
29.03.34	45,7	26,5	150	6,9	8	"
5.09.39	45,9	26,5	150	6,1	6	"
22.10.40	45,9	26,5	150	6,2	7	" (форшок)
10.11.40	45,8	26,8	150	7,3	9	"
7.09.45	45,7	26,6	100	6,5	7–8	"
9.10.45	45,6	26,8	90	6,2	7	" (афтершок)
29.05.48	45,9	26,7	150	6,9	6–7	Вранча, Румыния
4.03.77	45,8	26,8	120	7,1	9	"

скоростные разрезы в глубинах мантии, поле тектонических напряжений и кинематические модели коры и верхней мантии. В этой же работе помещена оригинальная карта, названная "Макросейсмический эффект землетрясений Вранча". В форме изолиний авторы показали "плотность глубинных сейсмогенных дислокаций по макросейсмическим данным". Содержание понятия о "плотности сейсмогенных дислокаций" остается не совсем ясным, но выводы, к которым приходят авторы при анализе этой карты, возражений, пожалуй, не встречают: "...плоскости дислокаций в пределах единой фокальной зоны расположены по касательной к дуге Альпийских горноскладчатых сооружений Восточных Карпат. Область максимальных сотрясений смещена к ВЮВ от эпицентральной зоны" (с. 64), в чем выражена специфика направленного излучения энергии из глубинных очагов.

Одна из последних по времени публикаций эпицентральных карт была подготовлена коллективом специалистов в рамках выполнения Балканского сейсмологического проекта ЮНЕСКО [816]. Карта содержит сведения о землетрясениях 1901–1974 гг. с  $M \geq 5,0$  и  $h = 1 \div 200$  км. Еще раз подтверждается факт концентрации очагов сильных землетрясений в изгибе Восточных Карпат с единичными случаями более слабых толчков в других местах.

К 1976 г. относятся две важные работы: Н.Я.Степаненко, где затронуты вопросы сейсмичности вообще и сейсмической сотрясаемости региона; и Б.А.Борисова и Г.И.Рейснера [315] — с акцентом на вопросах сеймотектоники и попыткой расчета максимальной возможной магнитуды.

Одной из позднейших была эпицентральная карта Карпатского региона, приложенная к каталогу [31]. Для нее были приняты обозначения, одинаковые для всех карт из [31]. В каталог [31] не вошло последнее сильное землетрясение 4.03.77; ему посвящена монография [337], в том числе статья А.В.Введенской и соавторов, работы многих румынских авторов. Кстати, замечу, что аналогичное сильное землетрясение 10.11.40

с тем же очагом также вызвало в свое время большой интерес и получило обширный литературный отклик (в том числе [343, 364]).

Особое направление региональной сейсмологии представляет собой, как известно, анализ интенсивности (в баллах) колебаний на дневной поверхности. На Карпатах значительной областью распространения колебаний обладали глубокие землетрясения зоны Вранча; для них составлено некоторое количество карт изосейст и для отдельных землетрясений, и с тем или иным суммированием эффекта. Опубликованы карты изосейст сильных землетрясений 1790, 1802, 1829, 1834, 1835, 1838, 1842, 1893, 1884, 1896, 1904, 1908, 1912, 1934, 1940, 1966, 1977 гг. Не буду их здесь воспроизводить, они могут быть легко найдены в работах [329, 343, 344, 359 и др.]. Интенсивность  $I_0$  землетрясений 1802, 1940 (10.11) и 1977 гг. достигала в эпицентре 9 баллов.

Общая, т.е. "сводная" карта изосейст всех сильных землетрясений для советской части региона, опубликована Р.М.Сигаловой [359]; в некоторых случаях (1790, 1934, 1940 гг.) — на юго-западе Молдавии и в районе Кагула — колебания достигали 8 баллов; 7-балльные колебания охватывали почти всю территорию МССР. Нельзя не отметить удивительного постоянства в смысле локализации сейсмической деятельности, очага района Вранча, откуда исходили все эти колебания. Другого такого примера, пожалуй, и не найти (может быть, район Шемахи?).

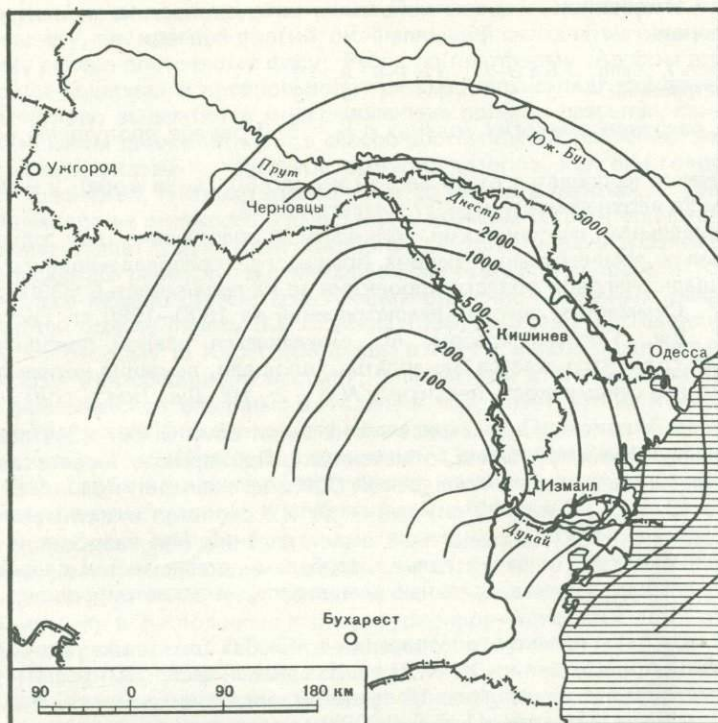
Интересная попытка районирования территории Молдавии и прилегающих областей "по зонам сейсмической активности" была предпринята С.В.Медведевым [344]. По своей идее карты С.В.Медведева близки к более поздним картам "сейсмической сотрясаемости". По всей видимости, в приграничных районах Молдавии интенсивность землетрясений может достигать 8 баллов.

Несколько иной вид имеют карты, как их называют авторы, "сотрясаемости (в изолиниях) средней повторяемости  $B$ ", составленные значительно позже и построенные на более полных материалах А.В.Друмья и соавторами [327] для землетрясений 5, 6, 7 и 8 баллов. Последние подсчеты на эту тему были проведены коллективом молдавских и украинских сейсмологов, работавших под руководством Ю.В.Ризниченко [47]. Приведу в качестве иллюстрации такую карту для  $B_8$  (рис. 6.1). Как видно, в пограничных с Румынией районах землетрясения 7-балльной интенсивности происходят раз в 100 лет в Молдавии и 1 раз в 500 лет в Закарпатье; 8-балльные — 1 раз в 200–500 лет в Молдавии.

Некоторые карпатские землетрясения были подвергнуты анализу для выяснения механизма смещений в очаге [334]. Для землетрясений с  $h > 100$  км, т.е. для очагов зоны Вранча, выяснилось, что, как правило, "плоскости действия" напряжений почти вертикальны, что напряжение сжатия  $P$  "действует почти горизонтально", а напряжение растяжения  $T$  — почти вертикально. Что касается направления сжатия или растяжения, то оно меняется от места к месту, но для большинства случаев направление главных осей сжатия ( $\sigma_3$ ) нормально к простиранию складчатых структур Восточных Карпат [185, с. 74].

Особый интерес представляет опыт изучения катастрофического Карпатского землетрясения 4.03.77. Монография "Карпатское землетрясение..." [337] содержит всестороннее описание этого события. Местоположение эпицентра землетрясения —  $45^{\circ} 8' \text{ с.ш.}, 26^{\circ} 8' \text{ в.д.}$ , в районе Вранча (Румыния). Очаг на глубине около 100 км, магнитуда  $M = 7,1$ , интенсивность  $I_0$  до 9 баллов. Землетрясение ощущалось на огромной площади, в том числе на большей части европейской территории СССР; в некоторых местах интенсивность колебаний заметно ослаблялась (например, западнее Новгорода или к северу от Таганрога), что можно объяснить, как полагает И.В.Ананьин, наличием неоднородностей в коре и мантии, которые контролируются "живущими" зонами разломов, погашающих колебания. Анализ сейсмограмм показывает, что в данном случае мы имеем дело с явлением мантийным, при котором разрыв в очаге не выходит на земную поверхность [337, с. 193]. Тем не менее, расчет поля напряжений выполнен в предположении о наличии разрывов (для главного толчка и афтершоков). Составляющие динамических напряжений даются в [337, с. 114]. Напряжения сжатия нормальны к Карпатской дуге в месте ее наиболее крутого изгиба, а смещение отвечает типу крутого надвига (если принять гипотезу "разрывного" происхождения землетрясения). Впрочем, те же параметры остаются, даже если предполагать смещение масс в зоне очага без всякого разрыва, в условиях того же напряженного состояния дуги Карпат.

Хотелось бы еще упомянуть о монографии "Карпатский геодинамический полигон"



Р и с. 6.1. Сейсмическая сотрясаемость  $B_8$  Карпатского региона [47]

[316], которая содержит новейшие сведения, касающиеся многих аспектов геодинамики Карпат. Рассмотрены такие вопросы, как геолого-геофизическая обстановка в регионе, современные движения земной коры, вариации геомагнитного поля, поля напряжений сжатия и растяжения, геотермика, сейсмический режим. Указывается на то, что в Закарпатье имеются две сейсмоопасные зоны: Сигет-Тячевская и Берегово-Мукачехо-Ужгородская, где согласно карте  $K_{max}$  не следует ожидать землетрясений с энергией в очаге более  $10^{14}$  Дж (8–8,5 баллов). Заметим, что восприятие текста этой работы (и некоторых других) затруднено тем, что на картах отсутствует сетка географических координат и не указан масштаб. В диссертации А.А.Романа (1979 г.) была предпринята попытка количественной оценки сейсмической опасности.

Большое внимание уделили землетрясению 1977 г. зарубежные сейсмологи, например N. Ambraseys [810] и в особенности румынские (например, [912]).

## 6.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧНОСТИ

В целом обзор материалов по сейсмичности показывает, что Карпаты в этом отношении обладают некоторыми специфическими чертами; главная из них, большого практического значения, состоит в наличии очага сильных ( $M \approx 7,0$ ) землетрясений площадью около 3 тыс. км<sup>2</sup> в районе Вранча на глубине 100–150 км при некотором числе мелких очагов более слабых землетрясений в толще коры, рассеянных на всей площади складчатых сооружений Карпат, особенно в Закарпатье. В первую очередь нужно, очевидно, попытаться выяснить происхождение того, главного очага, который определяет в основных чертах сейсмический режим данного региона. Список сильных землетрясений за 1800–1980 гг. приведен в табл. 6.1 и на рис. 6.2.

Как видно, Восточные Карпаты отличаются высокой сейсмической активностью: за 180 лет здесь отмечено 23 землетрясения с  $M = 6,0 \div 6,9$  и 3 землетрясения с  $M = 7,1 \div 7,4$ .

Количество землетрясений в зависимости от интенсивности в эпицентре  $I_0$ , меняется в такой пропорции:

Интенсивность $I_0$ , балл	6 и 6-7	7 и 7-8	8	9
Число землетрясений	5	11	9	3

Вероятно, сведения о многих толчках с  $I_0 = 6-7$  баллов пропущены историческими описаниями.

Глубина очагов колеблется от 20 до 150 км: до 50 км (в коре) — 9 землетрясений, глубже 50 км (в верхней мантии) — 17 землетрясений.

Значение удельной сейсмической мощности  $N_m$  рассчитано для объема очаговой области сильных землетрясений района Вранча, где преобладающие глубины очагов 150 км. Площадь очаговой области (проекция ее на поверхность)  $\sim 3000$  км<sup>2</sup>, объем — 450 000 км<sup>3</sup>. Суммарная энергия землетрясений за 1800—1980 гг. составляет около  $20\,000 \cdot 10^{12}$  Дж. Таким образом,  $N_m$  оказывается равной приблизительно  $250 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год). Что касается Закарпатья (площади, лежащие южнее линии Львов—Черновцы), то там сейсмичность невысока:  $N_m < 2 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год).

“Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР” [31] содержит сведения о 170 сильных землетрясениях, отмеченных в Прикарпатье (советская часть Карпат и Прикарпатье, т.е. территория Молдавской ССР и юго-запада Украинской ССР) за время с 1091 по 1974 г., из них 35 случаев — до XV столетия включительно, а на XIX—XX вв. приходится около 130 заметных землетрясений. Нет надобности говорить, что подобное несоответствие вызвано только пробелами статистики в далеком прошлом, особенно для слабых толчков; сильные землетрясения регистрировались, естественно, полнее.

В табл. 6.1 включены только землетрясения с  $M \geq 6,0$  (см. также рис. 6.2, 6.3). Землетрясения с  $M \geq 7$  происходили в XI—XIII вв. со средней частотой 1 раз в 110 лет, в XIX—XX вв. — 1 раз в 60 лет. В целом за 10 столетий они возникли в среднем один раз лет за 70. В данном масштабе карты (1 : 5 000 000) не удается показать распределение эпицентров в деталях, и потому основной участок такого сгущения эпицентров выделен сплошным пятном (косая штриховка). Центр тяжести этого пятна приходится на точку с координатами  $\varphi = 45,7^\circ$  с.ш. и  $\lambda = 26,6^\circ$  в.д. (район Вранча, Румыния). В пределах площади этого строго ограниченного пятна (около 3000 км<sup>2</sup>) располагается около 20 эпицентров отдельных землетрясений с  $M = 6,1 \div 7,4$ , в том числе 3 эпицентра с  $M \geq 7$ , включая землетрясения 10.11.40 и 4.03.77.

И.И.Вилип, описавший землетрясение 25.05.12 [316], дал координаты его эпицентра:  $46^\circ 0'$  с.ш.,  $27^\circ 2'$  в.д. (по каталогу [31, с. 48] —  $45^\circ 8'$  с.ш.,  $27^\circ 2'$  в.д. при  $h = 90$  км и  $M = 6,3$ ) и заметил, что эпицентральная область занимала значительную поверхность (не точку!), отражая, по-видимому, конфигурацию очага значительной площади (в проекции на поверхность).

К востоку от зоны Вранча располагаются эпицентры нескольких более мелких очагов:  $h = 40-50$  км, поблизости от зоны Вранча и  $h \approx 20$  км — далее к юго-востоку. В северо-западном направлении в пределах самого антиклинория и Трансильванской и Венгерской впадин глубины очагов также невелики — около 30 км.

### 6.3. ТЕКТОНИКА ВОСТОЧНЫХ КАРПАТ

**Вопросы тектоники.** Геологическое строение Карпат, в том числе Восточных, с акцентом на вопросах тектоники рассматривалось многими авторами, советскими и румынскими. Остановлюсь лишь на тех работах, которые по своему содержанию близко подходят к нашим специальным задачам.

Одна из ранних работ принадлежит М.В.Муратову [346]. Автор изложил свои взгляды на геологическую историю Восточных Карпат и описал их современное строение. Выводы автора легли в основу многих последующих исследований. Многие из положений М.В.Муратова были использованы в работе А.А.Богданова (1949 г.), а также А.А.Богданова и соавторов [313]. В последней авторы излагают историю геологических исследований с начала XIX до 40-х годов XX в., упоминая и первоначальную, 1947 г., схему тектоники М.В.Муратова [346], который выделял в качестве главнейших элементов строения Карпат и смежных районов следующие зоны: зоны мегантиклинория Восточных Карпат (зоны внутренних палеозойских ядер, внутренняя и внешняя подзо-

ны северо-восточного крыла мегантиклинория); неогеновые впадины — Венгерскую и Трансильванскую (на юго-западе) как части Паннонского срединного массива; Прикарпатскую впадину, т.е. краевой прогиб, окаймляющий складчатые сооружения Карпат по их внешнему северо-восточному фасу; Русскую платформу. Авторы приводят большой фактический материал и воспроизводят ряд тщательно подготовленных разрезов, на которых отчетливо выделяются многочисленные пологие разрывы, свидетельствующие о горизонтальном движении масс в северо-восточном направлении. Анализ фактического материала и указанных разрезов вынудил авторов, как они говорят, "развенчать" гипотезу шарьяжей, господствовавшую в то время в работах по тектонике Карпат. В дальнейшем все же оказалось, что остается возможность интерпретировать геологическое строение Карпат в духе идей покровной тектоники, даже в более резкой степени, чем это допускалось ранее, что и отмечали позже те же исследователи.

Затем появилось немало статей, трактующих строение отдельных участков Карпат. Среди таких статей отмечу работу В.И.Славина [360], описавшего Паннонский массив, по отношению к которому L. Kober [808] еще в 1921 г. использовал термин *Zwischengebirge* (Межгорье или срединный массив); элементами этого массива являются Венгерская и Трансильванская впадины. В.И.Славин указывает, что на кайнозойском этапе своего развития, в том числе в четвертичном периоде, Паннонский массив не раз испытывал вертикальные колебательные движения с дифференциацией его структуры и что эти движения, особенно в местах пересечения массива с зоной альпийской складчатости, возбуждают очаги "крупных и глубоких землетрясений" [356, с. 81].

В 1966 г. появилась работа В.Е. Хаина и В.И. Славина [371] о тектонике Карпат. Авторы подчеркивают следующие особенности строения этой части северной ветви Средиземноморского альпийского пояса: четко выраженную дугообразную форму; резкую асимметрию в расположении структурно-формационных зон; относительную краткость периода собственно геосинклинального погружения за время мела и юры; почти исключительно миогеосинклинальный характер альпийского развития; интенсивность процессов, ведущих к формированию флиша; широкое развитие "шарьяжных явлений", заставляющих квалифицировать Карпаты в качестве покровно-складчатого сооружения; наличие резких различий в структуре и развитии "отдельных сегментов" системы" (с. 13–14).

Интенсивные складкообразовательные процессы на протяжении альпийского этапа развития проявлялись не раз; в частности, нужно выделять раннеорогенную стадию (ранний и средний миоцен), к которой относится главная фаза формирования шарьяжей, и позднеорогенную стадию (поздний миоцен—антропоген), с господством вертикальных положительных движений. Одновременно формируется Предкарпатский передовой прогиб с мощным "молассовым выполнением" (с. 19).

Существенным для нас является вывод, что "форма и главнейшие особенности альпийской Карпатской системы во многом унаследованы от структурного плана герцинского и даже более ранних тектонических этапов" (с. 28), хотя в некоторых местах заметна перестройка структуры, в частности за время между геосинклинальным и орогенным этапами, что приводит, например, к срезанию доальпийских структур фронтом альпийских надвигов. Что касается идеи о пологих разрывах, то "в настоящее время огромная роль явлений шарьяжа в строении Карпат не вызывает сомнений ни у кого", и Карпаты "вполне заслуживают... наименования покровного сооружения" (с. 29). Шарьяжи односторонне направлены от Паннонского массива к платформенному обрамлению, они затрагивают и флишевые толщи, и процесс их образования отличается разновременностью и многофазностью. Детальные исследования позволяют оценить амплитуды горизонтальной составляющей движений "пластин" (глыб фундамента) цифрой в 80 и более километров. Образование всех типов карпатских шарьяжей происходит "в обстановке сжатия фундамента геосинклинальной системы" с одновременным растяжением Паннонского массива и полосы передовых прогибов" (с. 32). Отсюда общее воздымание Карпатского складчатого сооружения в позднеорогенной стадии и опускание срединного Паннонского массива с одновременным проявлением вулканизма (в неогене).

Одна из последних работ, касающихся тектоники Карпат, принадлежит В.Е. Хаину и соавторам [350]. Авторы приводят результаты анализа палеотектонических соотношений и подчеркивают значение напряжений растяжения, особенно в пределах срединных массивов. Со временем растяжение стало заменяться сжатием, источником которо-

го являлись, в частности, процессы смещения Вардарской зоны (Югославия) к северо-востоку. Основные особенности тектоники Карпат рассматриваются авторами в свете идей "мобилизма" с возможностью перемещения флишевых зон в горизонтальном направлении на расстояние около 180 км [970], хотя, как отмечают авторы, такая схема встречается пока ряд возражений. Близки к идеям, изложенным в [350], представления С. Roman [820]. Ярко представлены идеи мобилизма в его современной интерпретации в работе Z. Balla [792].

Многие авторы касались проблем тектоники западной (советской) части В. Карпат: О.С. Вялов, И.Д. Гофштейн, Д.П. Найдин, А.А. Богданов, М.Г. Ломизе, М.В. Муратов, С.Г. Рудаков, В.Е. Хаин и многие другие. В принципе тектоника западной части аналогична тектонике восточной, но имеются и существенные отличия: вместо дугообразных здесь преобладают прямолинейные (в плане) простирания и интенсивность тектонических движений, в том числе и позднеорогенных, здесь заметно ниже, чем в восточных частях. Меньшее значение приобретает и магматическая деятельность. Рельеф здесь более сглажен, и его абсолютные отметки ниже [313].

Важные сведения о геологии, тектонике, о геологическом развитии Карпат можно почерпнуть из работ [345, 347, 348, 349, 351, 375] и многих других.

Учитывая материалы предыдущих исследователей, автор данной книги подготовил схему расположения главнейших элементов тектоники Карпат и смежных с ними участков (рис. 6.2), выделив элементы-блоки (границы между ними сняты с тектонической карты Евразии 1966 г. [138], с дополнениями по Международной тектонической карте Европы 1962 г. и материалам Балканского сейсмологического проекта [816, с. 260]). Карта сопровождается схематическим разрезом, выполненным в том же масштабе, при соотношении горизонтального и вертикального масштабов 1:1.

Таким образом, в итоге можно констатировать, что Карпаты представляют одно из звеньев северной ветви Средиземноморского альпийского подвижного пояса. Этап геосинклинального развития с накоплением мощных толщ осадков подошел к завершению в конце мела, после чего преобладавшие в геосинклинали отрицательные вертикальные движения земной коры сменились положительными. К концу миоцена наступило общее осушение бассейна.

В результате развития складчатости и последующего за ней орогенного этапа возникло горноскладчатое сооружение Карпат — мегантиклинорий, сложенный вблизи поверхности отложениями преимущественно мелового возраста с породами палеозоя и докембрия в ядре. Общее воздымание продолжалось и позже, сопровождаясь, особенно в тылу складчатой зоны, некоторой активизацией магматической деятельности. Предмиоценовый и раннемиоценовый этапы интенсивного складкообразования сопровождались формированием пологих надвигов, разделяющих ряд перемещавшихся в северо-восточном направлении пластин.

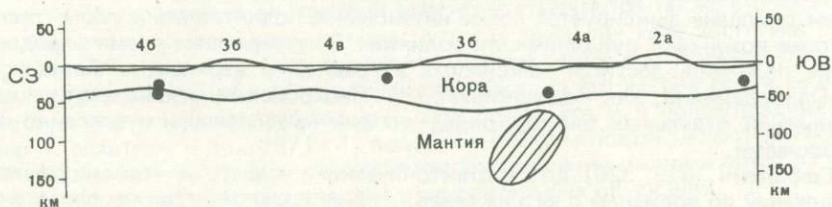
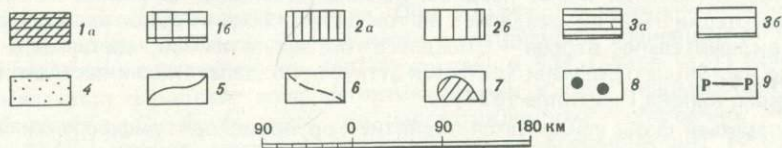
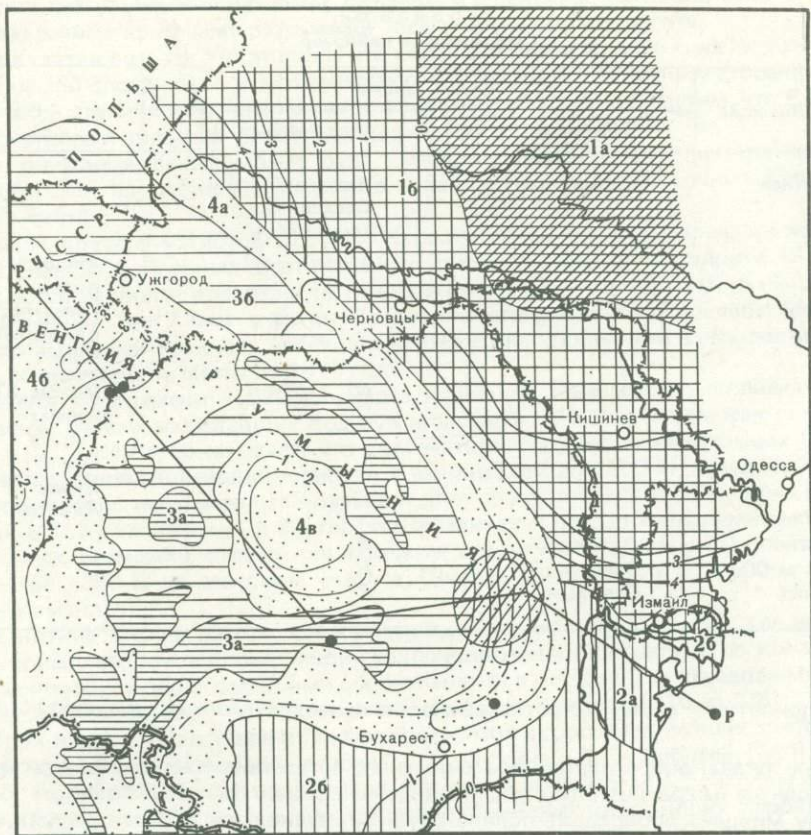
В плане Карпаты образуют крупную дугу с резким изгибом простираний в юго-восточной части: от юго-восточных через меридиональные к западным (с севера на юг).

По внешней окраине формирование Карпатского горно-складчатого сооружения сопровождалось возникновением Предкарпатского прогиба. Заполненный преимущественно молассаами прогиб обладает неодинаковой глубиной погружения фундамента; максимальная глубина — более 7 км — достигается перед фронтом наиболее крутого изгиба Восточных Карпат, к востоку от Вранча.

С противоположной, тыловой стороны одновременно с краевым прогибом на внешней стороне образовались Венгерская и Трансильванская впадины как части Паннонского срединного массива. Здесь на протяжении альпийского этапа преобладала тенденция к опусканию, но позже проявились и положительные движения, что привело к заметной дифференциации срединного массива. К эпохе новейшей активизации относится зона Апусени — перемычка между Трансильванской и Венгерской впадинами, приподнятый фундамент Паннонского срединного массива. В одной из работ С.Г. Рудаков [354] подчеркивает аналогию в структуре и домезозойском развитии гор Апусени и Мармарошского массива, что отвечает идее об общности древнего фундамента обеих зон — складчатой зоны Карпат и Паннонского срединного массива.

**Вопросы неотектоники.** Особое значение для наших специальных целей имеют данные по новейшим и современным тектоническим движениям.

Прежде всего напомним, что начало новейшего этапа в развитии земной коры обычно датируется началом миоцена. В целях большей ясности в дальнейшем изложении приве-



Р и с. 6.2. Схема расположения основных элементов тектоники Карпат и смежных участков и эпицентры сильных землетрясений

1 — области дорифейской складчатости (Скифская платформа): 1а — Украинский кристаллический массив, 1б — платформенный чехол Украинского кристаллического массива; 2 — область герцинской складчатости: 2а — нижний и верхний структурные ярусы нерасчлененные ( $O-C_1$ ) — Добруджийский выступ, 2б — платформенный чехол эпипалеозойской платформы — Валахская (Мезийская) впадина; 3 — область альпийской (средиземноморской) складчатости — мегантиклинорий Западных, Восточных и Южных Карпат; 3а — выступы основания, сложенные породами докембрия и палеозоя, 3б — верхний структурный ярус ( $K_2-N_1^1$ ); 4 — орогенный альпийский структурный ярус — впадины: 4а — Предкарпатский краевой прогиб ( $N-O$ ), 4б — Венгерская (Закарпатская) внутренняя впадина, 4в — Трансильванская внутренняя впадина

5 — стратоизогипсы по подошве плиоцена (мощность осадочного чехла в пределах зон 1б, 2б, 4а, 4б, 4в, в км); 6 — основной тектонический шов (глубинный разлом, региональная флексура); 7 — место очагов сильных землетрясений ( $6,1 < M < 7,4$ ;  $h < 150$  км); 8 — эпицентры землетрясений с  $6,2 < M < 6,8$ ,  $20$  км  $< h < 50$  км; 9 — линии разреза

Таблица 6.2  
Стратиграфия кайнозоя

Система (период)	Отдел (эпоха)		Ярус
	Голоцен	Современный	
Четвертичная $Q$ 1 млн. лет	Плейстоцен	Верхний $Q_3$ Средний $Q_2$ Нижний $Q_1$	
Неоген $N$ 25 млн. лет	Плиоцен	$N_2$	Апшерон Акчагыл Куяльник Киммерий Понт
	Миоцен	$N_1$	Мэотис (Паннон) Сармат Тортон Гельвет Бурдигал Аквитан
Палеоген $P$ 60 млн. лет	Олигоцен	$P_3$	
	Эоцен	$P_2$	
	Палеоцен	$P_1$	

ду общепринятую схему стратиграфического подразделения кайнозойской эры (табл. 6.2).

Основные складкообразовательные движения, создавшие Карпаты как складчатую зону, приходится на границу олигоцена и миоцена (савская фаза Г. Штилле).

К началу миоцена происходит полное осушение флишевой области Карпат и затем формирование пенеплена. Более поздние, именно новейшие, движения Т.Ю. Пиотровская (в диссертации 1966 г.) разделяет на три фазы: первая продолжалась с бурдигала до тортон включительно; вторая — с позднего тортон по паннон; третья — с позднего паннона и до настоящего времени (включая аттическую, валахскую и пасаденскую фазы орогенического канона Г. Штилле [831]).

В начале третьей фазы усиливается поднятие гор, происходит дифференциация движений по поперечным зонам, в результате чего появляются признаки блоковой тектоники. В позднем плиоцене фиксируется новое интенсивное поднятие всего горного сооружения, местами возникают вулканические излияния. В четвертичное время продолжается нарастание поднятий, достигая максимума в среднем и верхнем плейстоцене, т.е. в  $Q_2-Q_3$ . Одновременно, как подчеркивает Т.Ю. Пиотровская, усиливается неравномерность движений отдельных блоков, определяемых продольными и особенно поперечными разломами.

И.Д. Гофштейн [319, 320] для неотектонического этапа отмечает миграцию складчатых движений со временем с юга на север: ранние фазы (на границе палеогена и неогена) проявлялись в Закарпатской впадине, Мармарошском массиве, внутренней флишевой зоне; более поздние движения захватывали главным образом Внешнюю флишевую зону и Предкарпатский передовой прогиб.

Для советской части Карпат Е.Н. Фельдбарг [370] составил карту новейших структур. На ней выделены в пределах горного сооружения: область дифференцированных новейших движений с преобладанием поднятий — Внешние флишевые Карпаты, Внутренние флишевые Карпаты, Мармарошский кристаллический массив; область дифференцированных новейших движений с преобладанием опусканий — Боржавско-Болотисенско-Черемошская депрессия, Центральная Карпатская депрессия, Закарпатский внутренний прогиб; область слабых дифференцированных движений с преобладанием поднятий — Русская платформа; область слабых дифференцированных движений с преобладанием опусканий — Предкарпатский передовой прогиб, Паннонская впадина.

Показаны также глубинные разломы, разрывы и флексуры. Наконец, выделены блоки коры, разделенные крупными разрывами; всего таких блоков десять.

В конце статьи автор констатирует, что новейшая структура региона "характеризуется значительной сложностью и мозаичностью, отражающей специфику строения нижележащих этажей альпийского комплекса и фундамента" (с. 32). Заметим, что Е.Н. Фельдбарг рассматривает только вертикальные движения.

Схема, описанная выше, может быть, излишне сложна и не отличается четкостью, но в общем дает все же представление о новейшем развитии Восточных Карпат (в их советской части).

Для зоны крутого изгиба Восточных Карпат (район Вранча) характерно сочетание участков разнонаправленных вертикальных движений. Здесь, на широте  $46^\circ$ , близко соприкасаются наиболее поднятые части мегантиклинория (до 2,5 км) и наиболее глубоко опущенные (до 7 км) участки Предкарпатского краевого прогиба. Таким образом, горизонтальный градиент новейших вертикальных движений здесь достигает максимальных значений: не менее  $5 \cdot 10^{-9}$  год $^{-1}$ .

Последняя по времени (1979 г.) карта новейшей тектоники выполнена большим коллективом ученых, работавших под руководством Н.И. Николаева как главного редактора [103]. Карта показывает, что складчатому сооружению Восточных Карпат отдают, естественно, новейшие поднятия с амплитудой до 1500 м, передовой же Предкарпатский прогиб испытывал за новейший этап опускания до 3000 м, тоже и в Закарпатье, т.е. в Трансильванской и Венгерской впадинах. Гораздо меньшими амплитудами вертикальных движений отличаются соседние структуры Восточно-Европейской платформы — до +300 м на северном участке (Львов-Тернополь) и до -500 м на южном (Одесса—Измаил).

Более низкие цифры даются для прилегающей территории Румынии, где на нижнюю границу новейшего этапа принят иной геохронологический интервал, но контраст между приподнятыми горноскладчатыми сооружениями и опущенным передовым прогибом сохраняется с наибольшим погружением на меридиане Фокшан [816, с. 128].

Большой интерес представляет "схема градиентов скорости новейших тектонических движений Карпато-Балканского региона" Ю.К. Щукина и Т.Д. Добрева [380], где ясно показано, что область максимальных для региона значений  $\text{grad } v_m$  располагается в изгибе дуги Восточных Карпат, т.е. там, где расположен очаг крупнейших Карпатских землетрясений.

**Современные тектонические движения.** Они выражаются главным образом в вертикальных перемещениях блоков земной коры с амплитудой, зависящей от тектонического местоположения данной точки. И.Д. Гофштейн и В.И. Симов [321] констатировали, что складчатая флишевая зона мегантиклинория Карпат, Мармарошский массив, Раховский массив, Скибовая зона, т.е. мегантиклинорий собственно, испытывают "современные" движения, положительные, несколько превышающие 10 мм/год; а в депрессиях — Закарпатский внутренний прогиб — отмечаются также в общем положительные движения, но меньшего размаха; кое-где здесь они едва достигают 8 мм/год. Цифры, конечно, скромные (для сравнения укажем, что в асейсмичном Донбассе они того же порядка), и разница между ними невелика, но все же она есть и ее нельзя отнести на счет погрешностей наблюдений, тем более, что и в более поздних работах, например (Гофштейн и др., 1971 г.), подобные выводы подтверждаются. Наибольшие по абсолютной величине градиенты современных движений располагаются на участках, где граничат между собой зоны поднятий и относительных опусканий.

В первой из указанных работ отмечается, что со временем, на протяжении четвертичного периода, вертикальные движения затухают; что их скорость неожиданно оказывается довольно заметной на изолированной площади близ Львова (10,5 мм/год), чему авторы находят некоторое геологическое объяснение; что эпицентры "наиболее сильных и наиболее частых карпатских землетрясений" приурочены "к сеймотектоническим линиям, которые характеризуются наибольшими значениями градиента движений" [321, с. 37], например линии, совпадающие с границей гор и Закарпатского внутреннего прогиба, где градиент доходит до  $10^{-8}$  год $^{-1}$ . "Некоторые другие сеймотектонические линии Закарпатья также обнаруживают связь с зонами контрастных вертикальных колебательных движений" — линии Ужгород—Мукачево, Мукачево—Берегово (с. 32).

Опасаясь того, что в этих предложениях содержится больше желаемого, чем реального; слишком мало эпицентров и слишком неясна их территориальная приурочен-

ность, чтобы уверенно сформулировать подобный вывод. В этой связи стоит напомнить работу [361], в которой на основании совпадения эпицентров с линеаменами делается аналогичный вывод о наличии "важнейших сейсмоструктурных линий" (с. 29). Однако при более объективном взгляде оказывается, что эти самые "сейсмоструктурные линии", если опираться только на эпицентры, можно передвигать как угодно (может быть, за исключением линии Гуменно—В. Бычков). Не хочу оспаривать выводы, изложенные в упомянутых выше работах, но должен подчеркнуть желательность поисков дополнительных подтверждений сделанного, достаточно ответственного заключения. И прежде всего хотелось бы иметь максимально полную и точную карту эпицентров землетрясений, в том числе и слабых, тем самым установить степень достоверности и возможности использования имеющихся карт, например [330, с. 58] и др.

Близкие по абсолютной величине амплитуды современных движений отмечены на Карпатах румынскими геодезистами [816, с. 130]. На карте новейшей тектоники СССР [104] показаны цифры гораздо более низкие.

#### 6.4. ВОПРОСЫ ГЕОФИЗИКИ

**Строение земной коры.** При отборе вариантов строения земной коры (рельефа подошвы коры) автор данной книги воспользовался материалами А.А. Борисова [154] с более поздними дополнениями Н.А. Беляевского и Б.С. и И.С. Вольвовских [160], а также одной из работ В.Б. Соллогуба и А.В. Чекунова [193]. К сожалению, следует отметить, что выбрать наиболее достоверный вариант строения поверхности Мохо для Восточных Карпат не просто из-за серьезных разногласий в рисовке изолиний; вероятно, нужно ждать от геофизиков новых, более достоверных сведений по данному вопросу. То же относится и к рисовке трасс глубинных разломов и даже к пониманию смысла последних. Впрочем, несмотря на значительные успехи советской геофизики в этом отношении, примерно в аналогичном положении находятся и другие интересующие нас регионы.

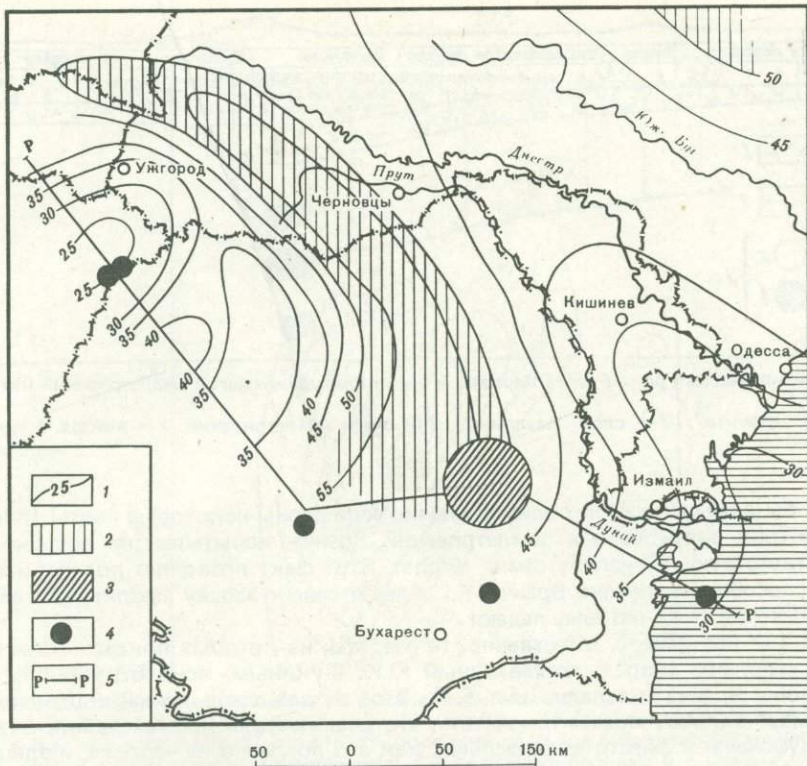
Достаточно отчетливо выделяется узкая полоса повышенной мощности коры (до 55 км), отвечающая фронтальной части мегантиклинория Карпат, вероятно, с таким же изгибом изолиний поверхности Мохоревича, как и в самих Карпатах (рис. 6.3). На северо-востоке региона, от г. Черновцы до г. Киева, располагается площадь, занятая чехлом палеозойских и мезозойских, а также кайнозойских отложений юго-западного крыла Украинского кристаллического массива, с медленным увеличением мощности коры к юго-западу и к северо-востоку.

В обеих тыловых впадинах мощность коры близка к тому, что обычно наблюдается на платформах (30—35 км), то же для Валахской впадины. Массив Добруджи в конфигурации изолиний поверхности Мохо не выражен; впрочем, здесь особенно ощущается отсутствие достаточно надежных наблюдений на этот счет.

Резкие изменения мощности земной коры, как правило, сопровождаются оживлением сейсмической деятельности, но в данном случае этот фактор действует недостаточно отчетливо. Полосы сравнительно высоких градиентов наклона поверхности Мохо как будто отвечают северо-восточным и юго-западным ограничениям мегантиклинория Восточных Карпат, а в зоне очагов Вранча изолинии подошвы коры испытывают изгиб, аналогичный изгибу простираения в самих Карпатах [173], но нельзя сказать, что все это выглядит убедительно, хотя и не противоречит общим представлениям.

Интересным и в известной мере неожиданным свойством тектонического устройства Восточных Карпат является блоковое строение коры, что вырисовывается из анализа рельефа поверхности Мохо с учетом распределения продольных и поперечных глубинных разломов. Поперечные направления, осложняющие альпийские складчатые зоны Средиземноморского подвижного пояса, отмечаются и на Балканах, и в Восточных Карпатах [326, 373 и др.]; некоторые исследователи считают возможным говорить о зависимости между блоковой тектоникой и проявлениями сейсмичности. Мне кажется, что пока еще нет полной уверенности в справедливости такого заключения, но оно не противоречит ситуации и в других сейсмоопасных регионах.

В этой связи большой интерес представляют для нас попытки некоторых геологов и геофизиков составлять вертикальные разрезы через всю толщу коры с указанием расположения блоков и глубинных разломов, а также в некоторых случаях и очагов землетрясений.



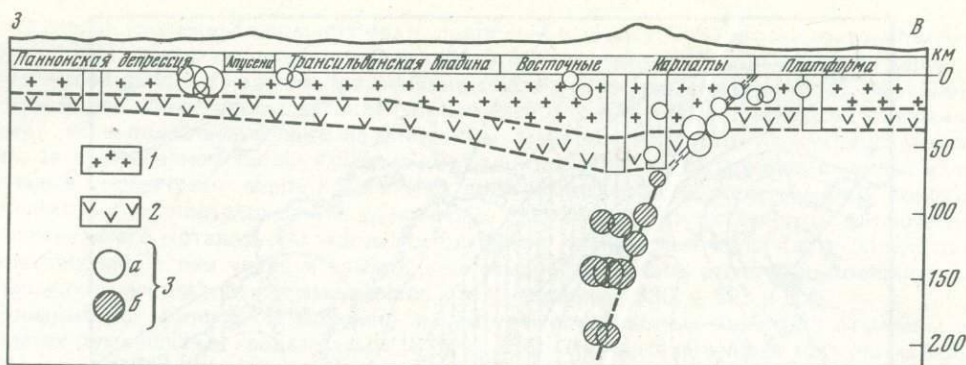
Р и с. 6.3. Рельеф подошвы земной коры (ниже уровня моря, в км)

1 — от 25 до 50 км; 2 — более 50 км; 3 — эпицентральная область сильных землетрясений с очагами в верхней мантии; 4 — эпицентры сильных землетрясений с очагами в земной коре; 5 — линия разреза (см. также рис. 6.4)

В качестве примера приведу описание юго-западной части разреза из работы [362]. На разрезе хорошо виден полого погружающийся к юго-западу чехол осадочных пород Украинского щита, глубоко опущенный (до 7–10 км) передовой Предкарпатский прогиб альпийского возраста, энергично смятые слои мегантиклинория Восточных Карпат с признаками движения на северо-востоке, Закарпатский прогиб, утолщение коры под мегантиклинорием и четко выраженные субвертикальные глубинные разломы, окаймляющие мегантиклинорий. Разрез дает общее представление о соотношении основных элементов тектоники, но в нем не показаны очаги землетрясений и отсутствуют попытки интерпретации геофизических данных в духе новой глобальной тектоники. Аналогичный, но гораздо более схематичный разрез был опубликован D. Senaş [835]. Более динамичным является разрез, выполненный D Radulescu и соавторами [832], с глубинными разломами, наклоненными к юго-западу.

Можно ли считать, что наличие глубинных разломов усиливает потенциальную сейсмическую активность? Вопрос сложный. У нас нет отчетливых и независимых критериев тектонической и сейсмической активности глубинных разломов. Зоны, тяготеющие к глубинным разломам, расположенным в районах высокой неотектонической подвижности, как правило, сейсмичны. Но в какой степени несет за это ответственность собственно разлом и как разломы поведут себя в других местах — это неясно; их роль, скорее всего, пассивна — лишь как границ более или менее активных блоков; именно блокам принадлежит инициатива в возбуждении сейсмических событий.

Восточные Карпаты “пронизаны” глубинными разломами, разделяющими их складчатую структуру на ряд полос и блоков. Недостатка в таких разломах нет (хотя их подлинная глубинная сущность во многих случаях совсем не доказана). Главный из них, отделяющий Русскую плиту от складчатого сооружения Восточных Карпат, несет



Р и с. 6.4. Схематический разрез через Карпаты и местоположение очагов землетрясений (по Ю.К. Щукину, 1965 г.)

1 — слой "гранита"; 2 — слой "базальта"; 3 — очаги землетрясений: а — в коре, б — в мантии

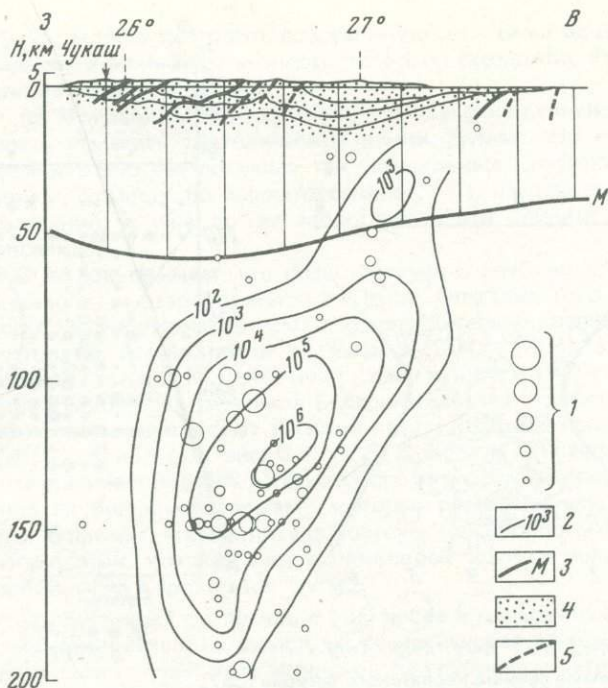
на себе (я бы сказал, несет на своих крыльях, если верны некоторые карты [330, 361]) ряд эпицентров значительных землетрясений Вранча, испытывая на востоке крутой изгиб, соответствующий изгибу самих Карпат. Этот факт позволяет подчеркивать сейсмические способности района Вранча, но далее к северо-западу амплитуда и сейсмологическое значение этого разлома падают.

Интерес для нас имеют, естественно, те разрезы, на которых показаны очаги землетрясений, например разрез, составленный Ю.К. Щукиным, ясно отразившим наклон очаговой зоны Вранча к западу (рис. 6.4). Этот разрез, столь ясный по существу, еще раз поднимает вопрос: можно ли считать, что очаги землетрясений действительно так строго приурочены к сместителю разрыва, как это показано на чертеже, и одновременно можно ли считать, что такая картина свидетельствует о реальности процесса субдукции, погружения Восточно-Европейской платформы под Карпатское складчатое сооружение? Я полагаю, что погружение украинско-молдавских участков коры платформы под кору складчатой зоны допустить трудно, хотя напряжения, вызывающие деформацию, распространены на большую глубину.

В 1969 г. Г.П. Горшков и соавторы [335] предложили разрез очаговой зоны Вранча (рис. 6.5). Здесь не только очаги, но и изолинии удельной сейсмической мощности  $M_m$  отчетливо указывают на падение под большим углом очаговой зоны к западу. Этот же разрез был позднее воспроизведен Т.П. Добревым и Ю.К. Щукиным [322], а затем Н.Н. Николаевым и Ю.К. Щукиным [185]. Тогда же Е.А. Сагалова [357] подготовила совсем иной разрез — с двумя гипоцентрными "конусами", сложенными своими вершинами, с узким "поясом" между ними (рис. 6.6, а). Полученная Е.А. Сагаловой картина близко напоминает собой ту схему, которая была дана Г.П. Горшковым [169] для глубоких землетрясений Северо-Восточного Афганистана (рис. 6.6, б) и которая свидетельствует, по-видимому, о господстве в обоих этих регионах напряжений (и, следовательно, деформаций) сжатия в горизонтальном направлении.

Если первые разрезы могут быть увязаны с идеями новой глобальной тектоники плит, то последние ближе отвечают тривиальному "конусу давлений" (закон скальвающих напряжений) при одностороннем сжатии, что и было отмечено Г.П. Горшковым для Северо-Восточного Афганистана и Северного Памира. Е.А. Сагалова [357] отмечает, что выявленные ею особенности глубинной структуры "аналогичны границам конусов давления и разрушения в поле одностороннего горизонтального сжатия, контролируемом законом скальвающих напряжений" (с. 77). Впрочем, Е.А. Сагалова одновременно приводит другой разрез, который говорит как будто о том, что Карпатская дуга отвечает многим признакам типичных структур островного типа. Оба разреза приводятся "для сравнения", оставляя, очевидно, поле для дальнейшей дискуссии.

Что же — эффектная субдукция или классическая контракция? Распределение напряжений и следующих за ними очагов землетрясений, мне кажется, не противоречат ни той ни другой интерпретации, но все же классические идеи и обычный закон скальвающих напряжений представляются здесь менее искусственными и, следовательно, более веро-



Р и с. 6.5. Сейсмоэнергетический разрез зоны Карпатских землетрясений [335]

1 — очаги землетрясений с подразделением по магнитуде (сверху вниз:  $M \geq 7,5$ ;  $6,5 \leq M \leq 7,5$ ;  $5,5 \leq M \leq 6,5$ ;  $4,5 \leq M \leq 5,5$ ;  $M < 4,5$ ); 2 — изолинии удельной сейсмической мощности в  $10^{-12}$  эрг/(см<sup>3</sup> · с); 3 — поверхность Мохоровичича; 4 — осадочные породы; 5 — разрывные нарушения

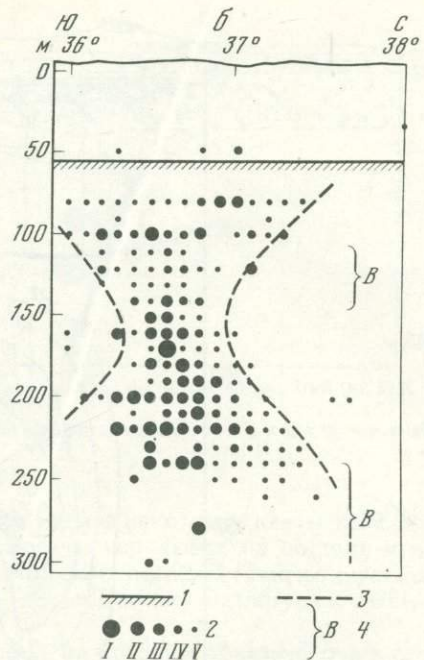
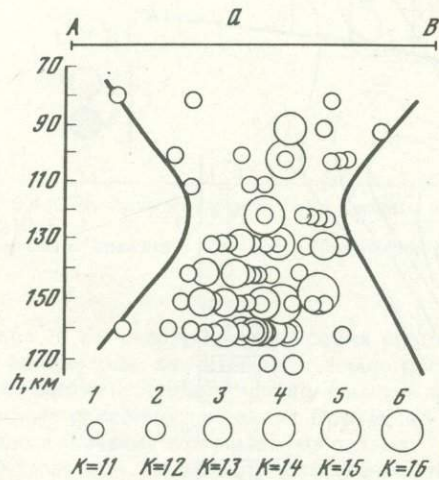
ятными. Общее сжатие в горизонтальном направлении может, я бы сказал, дать эффект "субдукции", но "субдукции" не вещества, а напряжений; другими словами, скальвающие напряжения будут проявляться преимущественно вдоль одной из поверхностей (в Карпатах — падающей к юго-западу) по соображениям геологическим, в условиях реальной геологической обстановки, по всей толще очаговой зоны, но к механическим перемещениям континентальной коры под складчатую зону они вряд ли приведут. Подробнее о затруднениях, с которыми встречаются попытки интерпретации структуры Карпат с позиций новой глобальной тектоники, говорится в [336, с. 18–19].

В целом могу сослаться на работу А.В. Друма с соавторами [327], посвященную вопросу о сейсмической сотрясаемости Карпатской зоны, где указано, что "пространственное расположение Карпатских очагов (землетрясений. — Г.Г.) хорошо координируется с современными движениями и строением земной коры в этой части Карпат" (с. 47). Вывод, вероятно, правильный, но имея в виду относительно невысокие, не слишком выразительные значения горизонтальных градиентов этих движений, а также противоречивые данные о строении коры, особенно для пограничных юго-восточных участков региона, следует в целях большей достоверности сопоставления продолжать подобные исследования.

Проблеме строения земной коры и близким к тому вопросам посвящено большое число работ, отмечу среди них [199, 314, 345, 353, 355, 362, 363, 366, 367].

**Глубинные разломы.** Существенное значение в сейсмогеологическом отношении обычно придается так называемым глубинным разломам.

В структуре мегантиклинория Восточных Карпат зафиксировано, вообще говоря, большое количество тектонических разрывов различного типа и масштаба. Некоторые из них разделяют "пластины", строящие согласно идеям "новой глобальной тектоники плит" все складчатое сооружение Карпат, или же отвечают понятию "обычных" надвигов и шарриажей, сопровождающих покровы альпийского возраста; последние обычно отличаются пологими сместителями и по возрасту относятся чаще всего к эоцену—ран-



Р и с. 6.6а. Вертикальное сечение Карпатского региона [357]

1-6 — энергетический класс землетрясения (от  $K = 11$  до  $K = 16$ )

Рис. 6.6б — разрез через фокальную зону "промежуточных" землетрясений Северо-Восточного Афганистана по меридиану  $70^{\circ} 30'$  в.д. [169]

1 — поверхность Мохоровичича; 2 — очаги землетрясений I-V групп интенсивности (по [4]); 3 — границы фокальной зоны; 4 — волновод

нему миоцену; вероятно, именно поэтому они в большинстве случаев никак не проявляют себя в сейсмическом отношении. В других случаях (и об этом обычно говорят геофизики) разрывные нарушения, или, в более широком смысле, шовные зоны, обладают крутым падением, и наиболее крупные из них могут быть отнесены к категории "глубинных".

Одна из ранних работ, трактующих о глубинных разломах Карпат, принадлежит О.С. Вялову [317]. Ссылаясь на ряд своих предыдущих работ (1954–1963 гг.), О.С. Вялов констатирует наличие глубинных разломов, в основном северо-западного простирания, разделяющих последовательно платформу, внешнюю и внутреннюю зоны Предкарпатского прогиба и Карпатское поднятие, а также ряд аналогичных разломов в Закарпатье. Далее автор, указывая на "важность" глубинных разломов вообще, подчеркивает, что они не могут быть использованы для целей тектонического районирования; последнее отражает момент "когда сформировалась уже вся складчатая структура, когда, в частности в Карпатах, глубинные разломы и внутренние поднятия погребены под складками или покровами" (с. 24) позднейшей фазы движения. По всей видимости, замечание справедливое, но оно находится в некотором противоречии со следующим положением того же автора: "...очевидно, — пишет О.С. Вялов, — именно с глубинными разломами связаны глубокофокусные землетрясения" (с. 22). Геологи и геофизики по традиции, выработанной уже давно, с легким сердцем говорят о такой связи, но она далеко не всегда очевидна и без специального анализа приобретает черты некоторой привычной декларации. Так, в работе [361] намечены "важнейшие сейсмогенетические линии" (с. 52), в том числе Закарпатский глубинный разлом, Береговская серия блоков, "Вашковская сеймотектоническая зона", линия молодых разломов четвертичного возраста Ужгород—Мукачево—Берегово, хотя правомерность именно такой трассировки этих сеймотектонических зон весьма проблематична: пользуясь только эпи-

центрами землетрясений, можно построить совсем иную сеть (и не одну) так называемых сейсмостектонических линий, достоверность которых, возможно, кроме первой из вышеуказанных, будет не слишком велика.

В одной из работ по Молдавии [368] указано, что изучение данных по землетрясениям дает возможность наметить тектонические линии. Думаю, что такая позиция в известной мере порочна. Было бы логичнее так называемые "тектонические линии" выделять независимо от "данных по землетрясениям", т.е. на основании собственно тектонических соображений, а уже потом сопоставлять эти "линии" с эпицентрами или очагами землетрясений.

Между прочим, О.С. Вялов замечает, что представления о глубинных разломах были "первоначально" выдвинуты и разработаны А.В. Пейве. Опасаюсь того, что А.В. Пейве может не согласиться с таким утверждением, ибо действительно впервые эти понятия, применительно к тектонике, использовали V. Hobbs в 1904 г. [806], а затем L. Kober в 1921 г. [808]. Известная статья А.П. Пейве на эту тему вышла в 1945 г. [187].

Одним из важнейших глубинных разломов Восточных Карпат является тот, который отделяет Карпатский мегантиклинорий от Русской плиты и отвечает осевой части Предкарпатского передового прогиба (см. рис. 6.4). Т.Б. Добрев и Ю.К. Щукин [325, с. 48] относят его под наименованием Восточно-Карпатского к разломам "первого порядка", т.е. к тем "собственно глубинным разломам", которые пересекают всю земную кору и верхнюю часть мантии. Отметим, что амплитуда Восточного Карпатского разлома растет с северо-запада на юго-восток, что в юго-восточной своей части он испытывает крутой поворот, повторяя собой изгиб Карпатской "дуги".

В реальности других глубинных разломов, в том числе и поперечных, также вряд ли можно сомневаться, но конкретный их смысл, их геологическая роль могут быть очень различными. Поведение сместителей этих разрывов на глубине остается, как правило, неясным, ориентировка в пространстве, т.е. наклон, также. О совпадении этих разрывов с эпицентрами землетрясений (о чем охотно пишут некоторые авторы) говорить еще рано, тем более, что и определения координат эпицентров далеки от точности.

Убедительнее выглядят такие построения, как, например, у В.Н. Зайцевой и Т.Ю. Пировской [333], которые отмечают активность некоторых разломов на неотектоническом этапе развития региона: "Глубинные продольные разломы — Береговский и Утесово-Мармарошский, ограничивающие прогиб (Закарпатский. — Г.Г.) на севере и на юге — были активными на протяжении всей истории прогиба" (с. 175). Из поперечных наиболее активным на протяжении всей истории был Мукачевский разлом северо-восточного простирания. Если указанный вывод получен на основании геологических наблюдений, независимо от сейсмологических, то его можно использовать в интересах сейсмостектоники (но следует постоянно иметь в виду, что активны, собственно, не разломы, а массивы коры, разделенные этими разломами).

Позднейшие работы по глубинным разломам принадлежат А.В. Чекунову и В.Г. Кучме [372—374].

**Данные гравиметрии.** Анализ поля силы тяжести, как известно, позволяет судить о строении земной коры, а также о состоянии ее масс, т.е. о степени ее уравновешенности в гравитационном поле Земли. Вопрос о компенсации масс земной коры — важнейший вопрос геодинамики, но окончательное решение задачи о характере вертикального распределения компенсации, т.е. о том, равномерно ли она изменяется с глубиной или концентрируется близ поверхности  $T$  ( $T$  — поверхность изостатической компенсации), остается открытым. Так или иначе, но судить о степени компенсации (по схеме Пратта—Хайфорда или Эри—Хейсканена), вероятно, уже можно.

Вопрос этот в применении к советской части Карпат рассматривался в работе С.В. Евсеева и Р.М. Сигаловой [332]. Авторы составили карту сейсмической активности в единицах 10-го энергетического класса (что соответствует 4—5 баллам) с отнесением расчетов к одному году и площади  $10^3$  км<sup>2</sup>, а также карту локальных аномалий силы тяжести ( $\geq 2,5$  мГал) и отмечают "почти полное совпадение зон повышенной сейсмической активности с зонами повышенных локальных аномалий" (в аномалиях Буге. — Г.Г.) (с. 19), что хорошо видно в юго-восточной части Закарпатья. В северо-западной части эта закономерность практически не проявляется. Впрочем, и на юго-востоке абсолютное значение аномалий невелико, так что отмеченная связь пока не может считаться установленной надежно.

В более поздней работе — диссертации Э.С. Евсеевой (1978 г.), изучавшей конфигу-

рацию изостатического геоида — отмечалось, что на территории Восточных Карпат возможной причиной современных вертикальных движений являются "изостатические силы". В других местах, в том числе на территории Закарпатского прогиба, преобладает влияние "тектонических сил".

Интересные сведения даются в статье В.И. Сомова и соавторов [365], но, к сожалению, в столь лаконичной форме, что конкретные выводы извлекаются из статьи с трудом. Авторы указывают на то, что "гравитационное поле Карпат повторяет структуру основных тектонических элементов структуры" (с. 177), что "соблюдается четкая дифференциация плотностных неоднородностей" [Там же], и проводят многомерный корреляционный анализ геолого-геофизико-геодезических данных, в том числе гравиметрических, но за исключением сейсмических.

**Геотермическое поле.** Можно ли судить о степени потенциальной сейсмичности по величине теплового потока  $Q$ , подходящего из глубоких недр Земли к поверхности? Однозначного ответа на этот вопрос пока нет. Казалось бы, что повышенное значение  $Q$  должно сопровождаться перераспределением масс, появлением каких-то неоднородностей и в мантии, и в коре, может быть, даже конвекцией масс и как следствие повышением уровня сейсмической деятельности. Наблюдения показывают, что в целом дело обстоит именно так, но имеется огромное количество исключений, и процессы эти, геотермический и сейсмический, идут отнюдь не синхронно. В частности, на Карпатах эта схема подтверждения не находит или обнаруживается, но в крайне слабой форме.

В работах Т.С. Лебедева и соавторов [342], а затем Р.И. Кутас и В.В. Гордиенко [341] было показано, что на фоне нормального по величине потока — около  $1,0 \text{ мккал/ (см}^2 \cdot \text{с)}$ , характерного, скажем, для Русской платформы, юго-западнее, т.е. в Предкарпатье, наблюдается некоторый рост значений потока — до  $\sim 2$  единиц в центральных частях мегантиклинория и в Закарпатском прогибе. Далее, что "формирование Закарпатского прогиба и накопление осадков не сопровождалось изменением глубинного теплового потока" (с. 40). Авторы последней работы указывают, что "прогибание земной коры, осадконакопление, вертикальные перемещения отдельных блоков, образование надвигов, вулканизм и другие явления не вызывают существенных изменений глубинного теплового потока" (с. 41). Правда, тут же авторы отмечают, что "намечается взаимосвязь между повышением теплового потока и формированием складчатой системы на месте геосинклинального прогиба" (с. 41), но из материалов статьи этот вывод никак не следует и объясняется, по-видимому, своеобразным пониманием авторами сущности самого геосинклинального процесса, к которому формирование срединного массива относится только косвенно.

В другой работе [415], уже для Крыма, те же авторы констатируют существование некоторой зависимости потока  $Q$  от возраста складчатости: чем моложе складкообразовательные движения, тем выше значение  $Q$ , достигающее до  $2,2-3,0$  единиц. Для участков древней стабилизации величина  $Q$  закономерно снижается, достигая в пределе некоторого стационарного значения (около  $1,3$  единиц), мало изменяющегося от места к месту и обусловленного действующими внутренними источниками (распад радиоактивных протонов в глубоких недрах Земли). Дополнительные источники тепла, возникающие в молодых складчатых зонах, приводят к перепадам такого уровня, что вызванные ими термонапряжения могут, пожалуй, превысить предел прочности пород, что должно привести к тектоническим последствиям (с. 78). Конечно, желательно иметь расчеты и найти убедительные примеры региональных сопоставлений; так, рост значения  $Q$  в Карпатах к юго-западу противоречит утверждению о том, что складчатость со временем мигрировала в противоположном направлении, т.е. к северо-востоку.

Последние данные в этом отношении [797] показывают очень сложную картину. Высокие значения теплового потока (более  $110 \text{ мккал/м}^2$ ) отмечают, например, впадину Тирренского моря, но одновременно предельно низкие значения (менее  $20$  единиц) характерны для аналогичной по строению коры впадины Черного моря. Невысокие значения характерны для всей Восточно-Европейской территории и межгорных впадин типа Куринской или Рионской (Колхидской), но повышенные значения отмечаются одновременно в Паннонском срединном массиве или на Ставропольском плато. Таким образом, общие закономерности уловить трудно, и можно ограничиться пока лишь тем выводом, что в целом Альпийский пояс в отличие от платформы характеризуется большей дифференцированностью теплового поля и относительно повышенными его значениями. Конкретная же связь поля с сейсмическими процессами требует, очевидно, особых исследований, выходящих за пределы нашей работы.

**Общие соображения.** Прежде всего хотелось бы заметить, что проблемы возможной связи землетрясений Карпатского региона с геологической обстановкой, т. е. проблемы сейсмотектоники в том или ином виде рассматривались много раз, во многих работах отечественных и зарубежных ученых, проводивших исследования в Карпатах.

Касаясь ранних работ, можно отметить статью [368], в которой автор, перечисляя молдавские землетрясения (с 1901 г. и поныне), полагает, что "в результате изучение данных по землетрясениям дает возможность наметить тектонические линии, делящие всю территорию Бессарабии на ряд блоков, имеющих различные движения по отношению к центру Земли" [368, с. 62]. Подобная позиция, т. е. апелляция к землетрясениям как индикаторам тех или иных особенностей тектоники, как я уже отмечал, представляется неправомерной. Желательно сначала выявить тектонические формы независимо от материалов сейсмических, а затем уже переходить к анализу сейсмотектонических соотношений.

Другой пример — работа [330]; ее автор составил "схематическую сейсмотектоническую карту" Восточных Карпат, на которой эпицентры землетрясений (за 1790—1952 гг.) совмещены с некоторой тектонической основой. Думается, что "сейсмотектоническая" карта не должна быть "арифметической" суммой сейсмологических и тектонических материалов. Скорее она должна быть некоторым синтезом основных сейсмотектонических соотношений, графическим выражением интерпретации этих соотношений со своей особой системой обозначений (легендой).

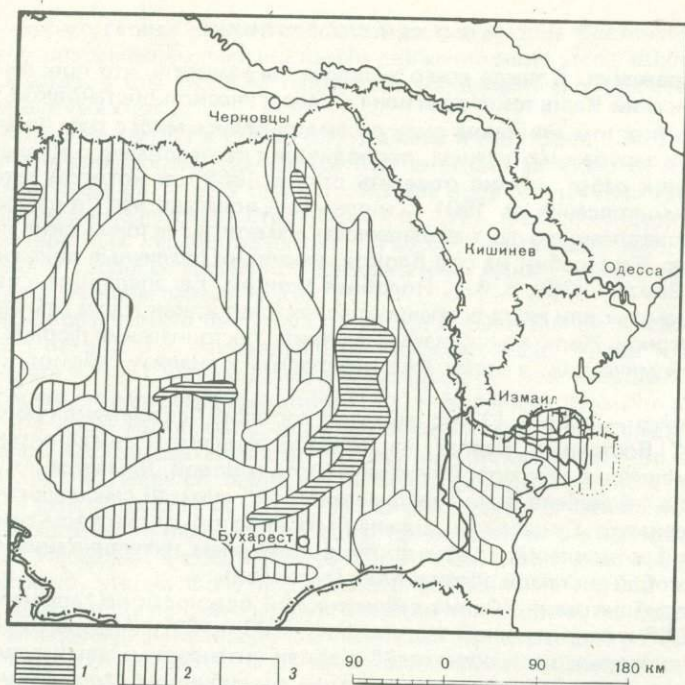
В 1964 г. опубликована "Схема сейсмической опасности по геологическим данным Молдавской ССР и сопредельной территории" [328, с. 35]. Авторы отмечают, что предположение "некоторых исследователей" о связи интенсивных землетрясений с глубинными разломами не подтверждается данными о глубинном строении и что "основные эпицентры приурочены к линиям тектонических нарушений и обусловлены общими закономерностями геологического развития этого региона и тектоническими подвижками в зонах контрастных сочленений вдоль основных геологических структур (с. 36). Изложение несколько туманное, но в графическом выражении вывод этот приобретает черты реальности, особенно в том упрощенном виде, который представляют более поздние карты: "Схема сейсмической опасности по геологическим данным" [329, с. 192] или "Сейсмотектоническая карта с эпицентрами сильных землетрясений" [329, с. 186].

На карте "Сопоставление глубинного строения Карпато-Балкан с сейсмичностью" Т. Б. Добрева и Ю. К. Щукина [323] отчетливо выделяется активная очаговая зона Вранча, в пределах которой интенсивность некоторых подземных толчков оценивалась в 10 и более баллов (при  $h > 50$  км), и показан ряд эпицентров более слабых толчков к востоку от этой зоны. Авторы совмещают очаги землетрясений с изолиниями подошвы земной коры, причем отчетливо наблюдается приуроченность очагов к участкам утолщенной коры. Известен другой вариант этой карты тех же авторов [325] — "Схема глубинного строения земной коры, расположения основных гравитационных ступеней и эпицентров сильных землетрясений". Здесь также отчетливо выражено увеличение мощности земной коры под осевой частью Карпатского мегантиклинория и одновременно показаны трассы "гравитационных ступеней", причем зона концентрации глубинных очагов сильных землетрясений пересекается линией такой ступени регионального значения. Обращение к глубинному строению земной коры и к гравитационным материалам можно только приветствовать.

Еще одна "Сейсмотектоническая схема" Закарпатья, по [361], возвращает нас к прежнему принципу — непосредственного наложения эпицентров землетрясений на некоторую тектоническую основу с выделением "важнейших" сейсмотектонических линий" (линий, надо заметить, не вполне ясного смысла),

Отмечу еще диссертацию А. В. Друмя (1973 г.) с интересно обоснованными выводами сейсмотектонического содержания и многочисленные работы Ю. К. Щукина: [376—378] и его диссертацию 1979 г.

Ограничиваясь приведенными примерами, я хотел бы еще сослаться на многочисленные исследования румынских ученых J. Atanasiu, G. Demetrescu, D. Enescu, T. Josif, G. Petrescu, C. Radu, C. Stefanescu, а также участников Балканского сейсмологического проекта ЮНЕСКО L. Constantinescu, I. Cornea, V. Lazarescu [816, с. 117—143].



Р и с. 6.7. Сейсмогенетическая карта Балканского региона. Зоны возможного возникновения очагов землетрясений в Румынии (составители И. Корнев, В. Лазареску, ред. Г.П. Горшков, масштаб 1:4 000 000 [950])

1 — возможное местоположение очагов сильных землетрясений (по данным геофизики); 2 — возможное местоположение очагов землетрясений средней силы; 3 — возникновение очагов землетрясений большой или средней силы не ожидается

Авторы последней работы проводят всесторонний анализ условий возникновения землетрясений и описывают карту сейсмической опасности, в том числе и для Карпат, по комплексу данных: геологических, геофизических, о строении и развитии земной коры и т.п. Использование широкого спектра исходных данных и целеустремленность анализа позволяют считать эту карту весьма интересным опытом комплексного геолого-геофизического сейсмотектонического анализа. Имеется и другой, упрощенный вариант этой карты (рис. 6.7).

Остановлюсь несколько подробнее на вопросе о геологической обстановке, которая обусловила существование и активность замечательного очага частых и сильных землетрясений района Вранча, поскольку этот очаг в основном формирует сейсмический режим ("сейсмический климат", по выражению Ю.В. Ризниченко) и советской части Карпатского сейсмоопасного региона.

Как уже отмечалось, очаги землетрясений в регионе распределены весьма своеобразно: мелкие очаги, лежащие в коре, ограничиваясь обычно 6—7-балльным эффектом на поверхности, разбросаны по всей площади мегантиклинория, но преимущественно в Закарпатье — естественно, ибо эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста, как правило, сейсмогенны. Очаги же разрушительных землетрясений занимают узколокализованный объем в верхней мантии (3 тыс. км<sup>2</sup> по площади) на глубине около 100—150 км (в районе Вранча, Румыния). В данном участке совмещается ряд факторов тектонического значения, которые в целом могут обусловить указанную исключительную по яркости локализацию и высокую интенсивность сейсмических сил.

Прежде всего обращает на себя внимание факт крутого изгиба всех складчатых и разрывных деформаций альпийского возраста в пределах юго-восточной части Восточных Карпат; изгиб повторяется и в рельефе подошвы земной коры. В работе [172] было показано, что дугобразные складчатые зоны альпийского возраста обладают более высоким по абсолютной величине уровнем потока сейсмической энергии,

чем прямолинейные участки орогенов. На Карпатах осуществляется крутой поворот альпийских простираний на  $135^\circ$ . Это — одно (может быть, важнейшее) обстоятельство.

Другой фактор сейсмогенетического значения, тоже не менее существенный, заключается в том, что в районе Вранча и к востоку от него новейшие вертикальные движения достигают по абсолютному значению максимального размаха движений: в пределах дуги мегантиклинория — поднятие с амплитудой до 3 км; в пределах краевого прогиба — опускание до 7–10 км, т.е. больше, чем где бы то ни было на простирании прогиба. Другими словами, относительное смещение превышает 10 км и соответственно велик горизонтальный градиент скорости новейших вертикальных движений:  $\text{grad } v$  — до  $8 \cdot 10^{-9}$  год $^{-1}$  и более. По данным монографии [337, с. 12], градиент скорости новейших тектонических движений в зоне наиболее крутого изгиба Карпатской дуги достигает наибольших размеров по сравнению со всеми другими участками региона, превышая значение  $5 \cdot 10^{-9}$  год $^{-1}$ .

Иногда говорят, что  $\text{grad } v$  никак не связан с уровнем сейсмической деятельности. Это неверно. Как общие закономерности проявления на территории СССР новейших движений (и их градиентов) и сейсмических зон, так и детальные исследования, теоретические и региональные, выполненные по этому поводу А.А. Борисовым, М.В. Гзовским, В.Н. Крестниковым, Л.И. Нерсесовым, Н.И. Николаевым и многими другими, с несомненностью показывают, что прямая зависимость между  $\text{grad } v$  и сейсмичностью существует и проявляется достаточно ярко. И есть все основания считать, что наличие такого перепада в размахе положительных и отрицательных вертикальных движений, как здесь, однозначно указывает на высокую степень сейсмической опасности.

Еще одна особенность — тот факт, что зона перехода от поднятия к депрессии сопровождается возникновением глубинного разлома крупного значения, именно Восточно-Карпатского. О нем уже говорилось. Его амплитуда растет в направлении с северо-запада на юго-восток, т.е. в направлении к зоне Вранча, и он испытывает тот же изгиб, который характерен для мегантиклинория в целом. Близ трассы разлома (близ!) располагается очаговая зона глубоких землетрясений. Можно ли думать в этой связи, что разлом оказывает какое-то влияние на активность зоны очагов? Очаги лежат на глубине 100–150 км. Доходит ли разлом до этой глубины? Мы не знаем. Но, во всяком случае, совпадение этих двух элементов геодинамики Карпат не противоречит идее об их генетической связи. Я говорю об этом с осторожностью, ибо не хотелось бы впасть в ту же логическую ошибку, которую я уже отмечал: на основании картины распределения гипоцентров в плане рисуют разрывы, а потом говорят о якобы установленной связи этих разрывов с гипоцентрами — в некотором роде замкнутый круг, выйти из которого не так-то просто.

Далее, может быть, стоит обратить внимание на возможную роль, в смысле усиления сейсмической угрозы, поперечных тектонических линий. В Восточных Карпатах имеются поперечные разрывы, с которыми львовские авторы связывают (слишком охотно!) многие неглубокие очаги землетрясений. Что касается предполагаемого поперечного линеамента, который по аналогии с другими альпийскими дугами должен бы рассекать дугу Восточных Карпат пополам, то ясного выражения он не достиг. Иногда считается, что наличие магматических пород в ядре Вранчской дуги (Мармарошский массив и связанные с ним выходы) является одним из проявлений такого поперечного в данном случае субширотного) линеамента. Настаивать на этом мнении трудно, так как магматические породы находятся несколько в стороне от трассы предполагаемого линеамента.

И, наконец, есть еще одно обстоятельство, подчеркнутое недавно Ю.К. Щукиным [379], который говорил об одной из систем региональных глубинных сейсмогенных структур "Альпо-Карпато-Динарского и Балканского регионов" — именно о системе Сицилия—Скутари—Печ—Вранча, "выделенной независимо по геологическим и сейсмогеологическим данным". Это структурное направление "служит четким разделом двух крупных блоков литосферы с разной интенсивностью современных геодинамических процессов" (Щукин, диссертация 1979 г.): мощность и характер проявления активного сейсмогенного слоя, скоростные и плотностные свойства литосферы и пр. "Выделенная зона активных деформаций верхней мантии контролирует сейсмический режим глубоких очагов Вранча и Сицилии, расположенных на краях этой зоны". Ясное дело, трудно разыскивать признаки, которые могут помочь выделению такой мегаструктуры, но они, напоминая собой по масштабу и формам проявления такие линеаменты,

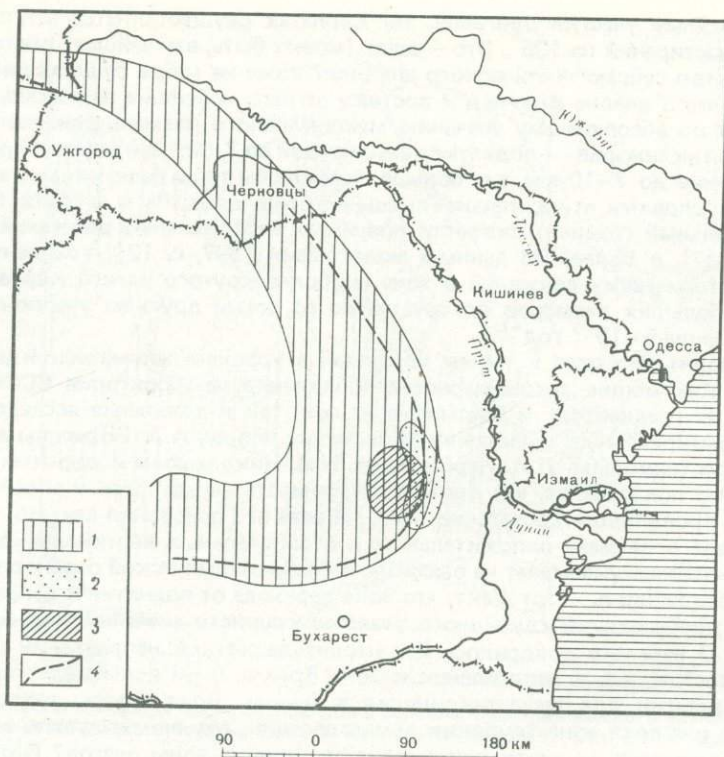


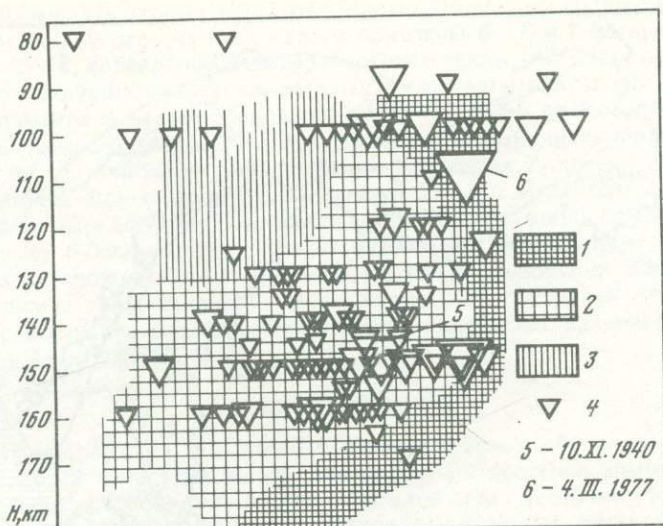
Рис. 6.8. Схема соотношения основных сейсмотектонических факторов

1 — дугообразный изгиб складчатых сооружений альпийского эпигеосинклиналиного орогена Восточных Карпат, смежного Предкарпатского прогиба и подошвы земной коры; 2 — участок максимального погружения Предкарпатского передового прогиба; 3 — местоположение эпицентров сильных "промежуточных" землетрясений; 4 — главный глубинный разлом

как Иракско-Кавказский (район Багдада—оз. Урмия—Арагат—Джавахетское нагорье—Казбек—Ставропольский выступ—Ергени) или Омано-Уральский (Оман—Копетдаг—Аральское море—Урал—Новая Земля), не кажутся нереальными и, может быть, действительно контролируют в какой-то мере ту удивительную временную "перекличку", которую подметил, исследуя сейсмический режим мантийных очагов Вранча и Тирренского моря, В. Карник (V. Karnik) [807]. Вопрос о реальности такого мегалинеамента обсуждался на заключительном симпозиуме участников Балканского сейсмологического проекта ЮНЕСКО в г. Дубровнике в апреле 1974 г., на совещании участников того же проекта в Болгарии и Румынии; мне кажется эта идея весьма привлекательной.

Таким образом, основными факторами сейсмогенетического значения в данном регионе служат: крутой изгиб в плане всех элементов складчатой структуры Восточных Карпат; высокая контрастность новейших вертикальных движений в зоне перехода от высоко поднятых блоков мегантиклинория к глубоко опущенным блокам передового прогиба на траверсе Вранча; наличие Восточно-Карпатского глубинного разлома; влияние гипотетического, глобального по своему значению линеамента Сицилия—Вранча (рис. 6.8).

Отмеченные особенности в их совокупности могут, по-видимому, объяснить локализацию и интенсивность очагов землетрясений в районе Вранча. Но не следует упускать из вида то обстоятельство, что эти очаги лежат под корой, т.е. уже в мантии, на глубине 100–150 км. Другими словами, именно в мантии концентрируются напряжения, приводящие как к землетрясениям, так и к другим явлениям в земной коре; последняя, естественно, отражает так или иначе процессы, протекающие в мантии. Под Карпатами "мантия раздроблена гораздо сильнее, чем кора, амплитуда смещений в ее основании по сравнению с фундаментом особенно велика..." Возбужденные участки



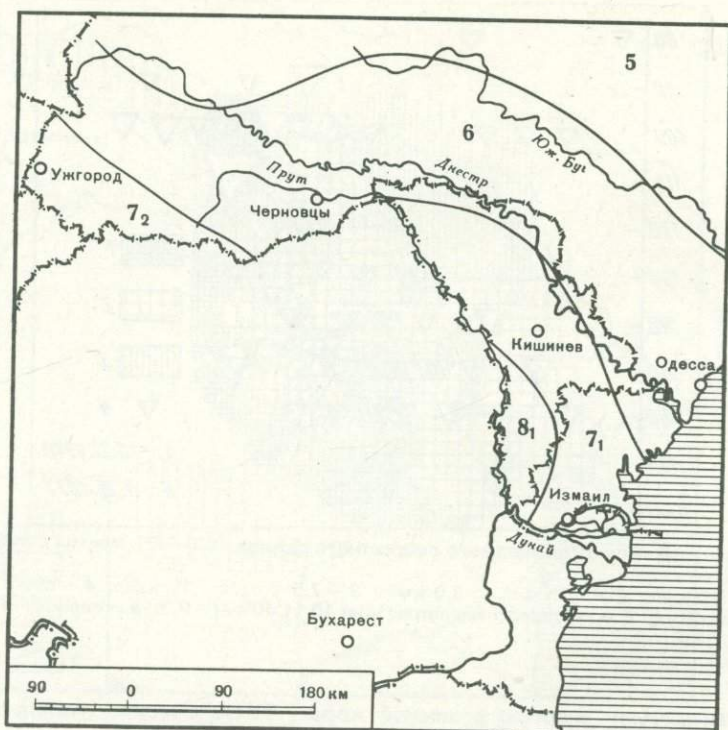
Р и с. 6.9. Сопоставление вертикального скоростного разреза (СЗ—ЮВ) мантии с очагами землетрясений зоны Вранча [339]

1 —  $v_p > 8,0$  км/с; 2 —  $7,75 < v_p < 8,0$  км/с; 3 —  $7,5 < v_p < 7,75$  км/с; 4 — очаги землетрясений различных магнитуд; 5 — гипоцентр землетрясения 10.11.40 с  $M = 7,3$ ; 6 — гипоцентр землетрясения 4.03.77 с  $M = 7,1$

мантии "генерируют энергию в земной коре... Тектонические импульсы идут снизу вверх, вызывая в коре механические деформации" [372, 373].

Недавно, касаясь этого вопроса и опираясь в основном на методы ГЗС, Н.В. Кондорская, Л.Б. Славина и Ю.К. Шукин [339] зафиксировали наличие значительных неоднородностей в свойствах, строении и, вероятно, составе верхней мантии Карпатского региона. Здесь, в зоне Вранча, мантия на глубине от 100 до 180 км расчленена суб-вертикальными границами на три участка с разными скоростями упругих волн:  $v_p > 8,0$  км/с,  $7,75 < v_p < 8,0$  км/с и  $7,5 < v_p < 7,75$  км/с (рис. 6.9). Другими словами, мантия здесь характеризуется известной дифференциацией ее упругих свойств, что, возможно, вносит дополнительные осложнения в ее строение и в какой-то степени связано с наличием именно здесь, в зоне Вранча, группы сравнительно глубоких очагов. Об этом же говорилось в книге [192]: "...в пределах Карпатской складчатой системы в верхней мантии отмечаются существенные горизонтальные скоростные неоднородности... Фокальная зона глубокофокусных землетрясений в районе гор Вранча характеризуется наиболее высокими в указанной области значениями средних скоростей волн в верхней мантии, понижение которых наблюдается по направлению к Восточным Карпатам и Предкарпатскому прогибу" (с. 162). Наконец, о том же говорилось и в статье Г.В. Краснопевцевой [340], что позволило ей сделать такой вывод: "...все это создает чрезвычайно напряженную динамическую обстановку блока Восточных Карпат по сравнению с прилегающими областями, что, вероятно, и является причиной высокой сейсмической активности данного региона" (с. 33). Кстати, в упоминавшейся уже статье [339] авторы по вопросу о линементе Сицилия—Карпаты говорят: "...наиболее выразительной и принципиально новой по своему структурному положению оказалась глубинная зона активных деформаций, которую мы назвали зоной Скутари—Печ—Вранча. Она была обнаружена нами при анализе распределения характерных глубин очагов сильных землетрясений Альпо-Карпато-Динарского и Балканского региона" (с. 95).

**Сейсмическое районирование.** В заключение приведу карту сейсмического районирования территории Карпатского региона, т.е. территории Молдавской ССР и юго-запада Украинской ССР (рис. 6.10). Она представляет собой фрагмент карты СР-78 территории Советского Союза [304]. В выполнении исследовательских работ, связанных с данной проблемой, участвовал большой коллектив специалистов молдавских, украинских и центральных научных и производственных учреждений различного профиля (сейсмология, геология, геофизика, геодезия, строительное дело и т.п.), объеди-



Р и с. 6.10. Сейсмическое районирование "СР-78" [304]

Показаны границы зон нормативной балльности — 5, 6, 7, 8 баллов; вероятная повторяемость дается в виде индексов: индекс 1 — землетрясения указанной интенсивности происходят в среднем 1 раз в 100 лет; индекс 2 — один раз в 1000 лет

ненных тематическим планом научно-технических работ в области сейсмологии ГНТ СССР и АН СССР и работавших в соответствии с рекомендациями ИФЗ АН СССР по сейсмическому районированию [273]. Характеристика исходного материала и обоснование карты даются в главах 11 и 12 монографии [304]. Авторами главы 11 ("Карпаты") являются И.Д. Гофштейн, О.П. Каток, Р.С. Пронишин, Е.А. Сагалова, Ю.К. Щукин, О.И. Юркевич; главы 12 ("Молдавия") — А.В. Друмя, Т.П. Москаленко, И.Я. Степаненко. При составлении карты учитывались, естественно, материалы инструментальной статистики украинских, молдавских и румынских сейсмических станций, макросейсмические сведения за ряд веков, наблюдаемые изосейсты и данные о затухании колебаний с расстоянием, расположение зон возможного возникновения очагов сильных землетрясений (ВОЗ), глубина очагов, расчеты по сейсмической активности и сотрясаемости, строение земной коры, другие геологические, сейсмические, геофизические источники сведений.

Заметим, что карты сейсмического районирования Прикарпатья составлялись и публиковались не раз. Первая из них относится к 1937 г. [250, с. 5]. Затем специально для Карпат имеются варианты С.В. Евсеева, А.В. Друмя и др. В 1960 г. Советом по сейсмологии АН СССР был проведен в Москве семинар по сейсмическому районированию Карпат [364]. Аналогичный симпозиум по сейсмическому районированию Балкано-Карпатского региона был проведен в марте 1975 г. в Кишиневе по инициативе ИФЗ АН СССР, МСССС и Института геофизики и геологии АН МССР; в повестке симпозиума большое внимание уделялось вопросу об оценке сейсмической опасности и о сейсмическом районировании Румынии и советской части Карпат. Наконец, эти вопросы (в частности, по Карпатам) особо рассматривались на 3-м симпозиуме по проблемам геофизики Карпатского бассейна в Будапеште [318], а также в рамках выполнения Балканского сейсмологического проекта ЮНЕСКО, на заключительном совещании участников проекта (Дубровник, апрель 1973 [816]).

Не буду перечислять других вариантов карты. По своему содержанию они мало отличаются один от другого: на всех картах показаны 6-, 7- и 8-балльные зоны, и лишь на последней, СР-78, добавлены сведения о сотрясаемости [47] (см. рис. 6.12). 8-балльный эффект от будущих землетрясений следует ожидать на крайнем юго-западе УССР, к северу от Измаила и на юге Молдавии, приблизительно до Котовска, где проходит зона 8<sub>1</sub> схемы районирования. Зона 7<sub>1</sub> охватывает всю площадь Молдавии от г. Единцы на севере до оз. Алибей на черноморском побережье Украины; в этой зоне расположен г. Кишинев. Другой участок 7-балльной зоны (с индексом 7<sub>2</sub>) выделен в Закарпатье от Ужгорода до Рахова (и несколько восточнее, вдоль границы с Румынией). Зона возможных 6-балльных сотрясений окаймляет предыдущую: северная граница 6-балльной зоны проходит от г. Самбора на западе Львовской области до городов Ивано-Франковска, Хмельницкого и Винницы; от последней эта линия следует на юго-восток, вдоль верховьев р. Южного Буга и достигает черноморского побережья несколько восточнее Одессы.

## 6.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейсмическая активность Карпатского региона в целом обусловлена принадлежностью этого региона к категории эпигеосинклинальных орогенов альпийского возраста. Удельная сейсмическая мощность  $N_m$  для очаговой зоны Восточных Карпат, т.е. района Вранча, оценивается в  $250 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup>·год<sup>-1</sup>). Высокая сейсмическая активность Восточных Карпат требует специального объяснения.

Очаги разрушительных землетрясений с магнитудой  $M$  до 7,5 и интенсивностью  $I_0$  до 9 баллов в географическом отношении узко локализованы, занимая небольшую площадь, около 3000 км<sup>2</sup>, близ пункта с координатами 45,7° с.ш., 26,6° в.д. с преобладанием глубин очагов землетрясений в 100–150 км.

В тектоническом отношении Восточные Карпаты отличаются тем, что в простирании складчатости здесь наблюдается резкий поворот (более чем на 130°), что для альпийских горных сооружений, как правило, сопровождается усилением сейсмической активности.

Неотектонические движения отличаются здесь высокой интенсивностью и притом резко дифференцированы; подъем дуги Восточных Карпат (до 2,5–3 км) сопровождается опусканием смежных частей передового Предкарпатского прогиба, опусканием наиболее глубоким (до 7 км) по сравнению со всеми другими участками этого прогиба. Горизонтальный градиент скорости вертикальных движений значительно превышает здесь величину  $5 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>, т.е. новейшие движения весьма контрастны. По всей видимости, это обстоятельство также связано с особенностями сейсмичности (подобно тому, что наблюдается в Ашхабадском районе Копетдагской сейсмоопасной зоны в Туркмении).

Третья особенность заключается в том, что к Восточным Карпатам подходит северо-восточный конец крупного линейamenta весьма гетерогенного содержания, именно Сицилия—Карпаты. Эта зона характеризуется повышенной мобильностью земной коры и несет на себе значительное количество очагов землетрясений.

Наблюдаемые на поверхности и в коре особенности служат отражением динамики более глубоких зон литосферы. Различия в свойствах и осложнения в строении мантии под Восточными Карпатами недавно зафиксированы [339], что позволило П.Н. Николаеву и Ю.К. Щукину [185] констатировать: "Основной причиной изменения поля напряжений в пределах Карпатской очаговой зоны является чередование мощных слоев мантии с различными физико-механическими свойствами. Ведущим же процессом, приведшим к описанной выше сложной картине деформации, является вертикальное перемещение крупных участков мантии, связанное, по-видимому, с процессами гравитационной дифференциации вещества, например по схеме, предлагаемой Е.В. Артюшковым (1970)" (с. 82; см. рис. 10–12 упомянутой статьи).

Таковы особенности тектоники и строения литосферы в Карпатском регионе, особенности, поясняющие в какой-то мере наличие интенсивных сейсмических проявлений в данном, уникальном, очаговом районе — Восточных Карпатах. Схема сейсмического районирования советской части Карпат (см. рис. 6.10) отражает эти условия. Средняя частота разрушительных землетрясений в очаговой зоне — один раз в 70 лет, т.е. следующее сильное землетрясение здесь следует ожидать, по-видимому, в 40-х годах будущего столетия.

## СЕЙСМОТЕКТОНИКА КРЫМСКОГО РЕГИОНА

Крымское землетрясение 1927 г., которое еще сохранилось в памяти у пожилых людей, оказалось неожиданным даже для специалистов-сейсмологов.

Конечно, было известно, что в V в., в 480 г., в Крыму произошло землетрясение, при котором, согласно легенде, часть площади Херсонеса погрузилась под воды моря. Херсонес — древний цветущий город, греческая колония, центр культурной и торговой активности, насчитывавший к моменту землетрясения уже около тысячи лет своего существования. Но то было давно, 15 веков тому назад, и сведения о том не вполне достоверны.

Географ И.И. Пузанов, известный знаток Крыма, писал в 1923 г., что землетрясения здесь повторяются "в общем, не чаще, как через каждые 400—500 лет" [443].

И вот — 1927 год. Землетрясение это не было слишком сильным. В июне — 6, может быть, до 7 баллов; в сентябре — до 8 баллов. Повреждения зданий отмечались только на южном берегу полуострова, в полосе от Севастополя до Судака. Но область распространения ощутимых колебаний оказалась необыкновенно большой, охватив всю Украину.

В ряде зданий на ЮБК развалились стены, выпали углы, обрушились стены и трубы. Но, как справедливо отмечал А.В. Вознесенский [393], количество таких зданий было невелико и все они были выстроены плохо или в неудачном месте.

При землетрясении произошли многочисленные обвалы скал на горных склонах в окрестностях Ялты, Ореанды, Гурзуфа, Биюк-Ламбата, Симеиза, Алушты. Изменился дебит источников. В море наблюдались огненные вспышки — говорят, возгорались газы, поднимавшиеся со дна моря. Академику В.А. Обручеву пришлось выступить со специальной статьей: "Возможен ли провал Крыма?". Он писал: "Можно ли поручиться, что ...движения уже закончились, что они не возобновятся в более или менее близком будущем и не вызовут более крупными смещениями? Не может ли двинуться вслед за когда-то опустившейся в море частью Крымских гор еще новая, более или менее широкая полоса их, или, по крайней мере, отдельные площади южного берега по новым трещинам, параллельным старому разлому? ... Поручиться, что более или менее крупная катастрофа в Крыму не произойдет, никогда никто не может" [470, с. 13]. Знаменитый наш геолог мыслил геологическими масштабами времени и по существу дела совершенно прав.

## 7.1. ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Этап первый, описательный (до 1927 г.) — накопление макросейсмических сведений. До 1927 г. достоверных сведений о землетрясениях в Крыму было немного. Отдельные упоминания о таких событиях можно встретить в некоторых источниках географического содержания.

Так, у Геродота (V в. до н.э.) говорится, что "если зимою случится гроза, то она возбуждает изумление, как чудо. Точно так же в Скифии (Крым. — Г.Г.) считается чудом, если случится землетрясение, будет ли оно летом или зимою" [457, с. 17].

В одной древнегреческой легенде о Крыме, в противоположность свидетельству Геродота, говорится: "Я был выброшен волнами в эту страну, где почти ежедневно трясется земля и кругом на горах горят огни" [426, с. 64].

В более близких к нам по времени источниках, имеются хотя и весьма отрывочные, но уже более достоверные сведения и описания: К.Э. Гриневич, Д.Н. Дмитриев, Г. Кедрин, В.Х. Кондараки, Н. Мурзакевич, П. Паллас, В.Д. Соколов, П. Сумароков, а также Е. Muralt (1885 г.), А. Perrey (1869 г.), Ch. Steven (1832 г.) и др.

В.Х. Кондараки [411] ссылается на землетрясения 1341, 1786, 1790, 1793, 1869, 1872 гг. и другие и дает им краткие описания. Некоторые сведения о древних свидетельствах на эту тему приводит А.Ф. Слудский; он же приводит список землетрясений за 1292—1927 гг. [456, 457].

В известном каталоге И.В. Мушкетова и А.П. Орлова [27] упоминаются десять крымских землетрясений (начиная с 1790 г.). П.В. Васильев [84] показывает на своей "Сейсмической карте южной России" два случая землетрясений в Симферополе и по

одному в Евпатории, Феодосии и в одном из пунктов Горного Крыма. Отдельные указания на подземные толчки можно найти в "Бюллетенях ПЦСК" за 1902—1908, 1911—1912 гг. В целом же, как видно, специальных работ по сейсмичности Крыма до 1927 г. не было.

Землетрясения 1927 г. вызвали, естественно, много публикаций. Уже в сентябре того года, сразу же по следам катастрофы, газета "Красный Крым" подготовила специальный выпуск, так и озаглавленный — "Землетрясение в Крыму"; в выпуске — статьи П.А. Двойченко, А. Смирнова, М.М. Тетяева, И. Зильбермана, В. Немчик, В.А. Обручева, С.П. Попова, Н.И. Свистальского, С.А. Советова. В "Бюллетенях" Гидрометслужбы Черного и Азовского морей за 1927 г. давалась краткая информация о ходе событий.

При Наркомздраве РСФСР был создан Комитет содействия борьбе с последствиями Крымского землетрясения (председатель — Н.А. Семашко); комитет выпустил в свет специальное издание "Помогите Крыму" со статьями Л. Брусиловского, Н. Егорова, Н.Г. Зурмухтышвили, В. Ибрагимова, З.А. Майзеля, В.А. Обручева, Н.А. Семашко, З.П. Соловьева.

**Этап второй, аналитический (1928—1941 гг.)** — организация инструментальных наблюдений, первая попытка анализа фактических данных. Во второй половине 20-х годов в связи с широким разворотом строительства в Крыму интерес к сейсмическим явлениям заметно повысился. Внешним поводом к этому послужили сильные землетрясения 1927 г. С этого времени начинается этап систематического изучения местных землетрясений, и к настоящему моменту литература по этому вопросу накопилась уже довольно большая.

Уже в 1928 г. появилось несколько изданий. Сразу же отмечу среди опубликованных материалов сборник "Черноморские землетрясения 1927 года и судьбы Крыма" [470], подготовленный по первым впечатлениям от катастрофы, а также статью П.А. Двойченко [401]; она представляет довольно обстоятельное описание фактических данных.

Далее следует указать на небольшую статью А.Ф. Слудского [457]. Имея в своем распоряжении очень мало конкретных фактов, автор все же сумел сформулировать выводы, к которым и теперь можно в общем присоединиться. А.Ф. Слудский пишет: "1) Землетрясения в Крыму представляются обычным явлением, и Крым принадлежит к числу вполне активных сейсмических областей... 2) Крымские землетрясения носят вполне определенный тектонический характер. Землетрясения нетектонические если и бывают, то не играют существенной роли. 3) Между землетрясениями и проявлениями сопочной деятельности имеется некоторая связь, не вполне еще ясная. 4) Землетрясения Крыма относят к двум типам: один из них имеет эпифокальную область в балкано-карпатском центре, другой в области Черноморья, против южного берега Крыма... 5) Землетрясения 1927 г. не представляются совершенно исключительным событием, не имевшим аналогичных себе в истории Крыма, и не обнаруживают никаких фактов, говорящих об изменении темпа или характера медленно идущих со времени третичного периода горообразовательных процессов, а потому не могут рассматриваться как начало какого-то нового процесса, угрожающего существованию Крыма" [457, с. 23—24].

Обилие более поздних публикаций по вопросам сейсмичности лишает меня возможности остановиться на каждой работе, и я отмечу лишь некоторые из них.

Начальный период мероприятий по изучению землетрясений 1927 г. описан в статье Д.В. Соколова [460].

Усилиями Сейсмологического института АН СССР (СИАН), организованного тогда же, в 1928 г., по инициативе директора института П.М. Никифорова была развернута в Крыму сеть региональных сейсмических станций (в Симферополе, Севастополе, Ялте и Феодосии). Первая обработка инструментальных данных была выполнена Н.В. Райко [450]. Автор дает список толчков, зарегистрированных с 13.03.28 по 1.10.29, и карту их эпицентров (рис. 7.1). За координаты "всех больших Крымских землетрясений 1927 г." автор принимает пункт с  $\varphi = 44^{\circ}22'$  с.ш. и  $\lambda = 34^{\circ}30'$  в.д., т.е. эпицентр лежит в море, к юго-востоку от Ялты. Далее Н.В. Райко пишет: "Эпицентральная зона Крымских землетрясений падает исключительно на морское дно в области изобат 200—1000 м и частью на пологий склон изобат 1000—2000 м; названная зона имеет несколько вытянутую форму, как бы следующую очертаниям берега и находящуюся от последних на расстоянии 20—40 км; эпицентральная зона лежит между меридианами  $34^{\circ}$  (Симеиз)

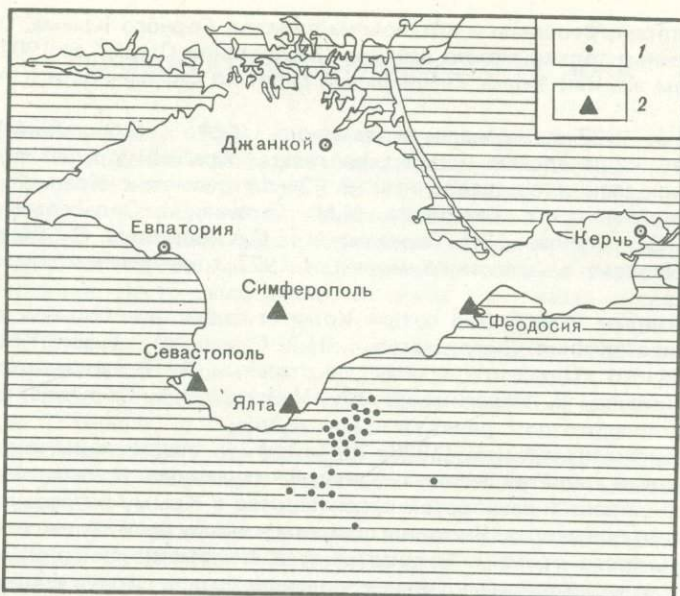


Рис. 7.1. Карта эпицентров крымских землетрясений с 28.05.28 по 31.11.29 [450]  
1 — эпицентры землетрясений; 2 — сейсмические станции

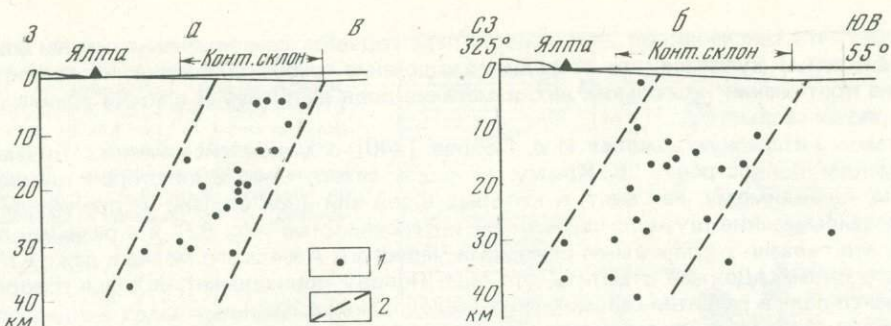
и  $34^{\circ}$ ,  $72'$  (к западу от Судака), т.е. имеет простираение в направлении ССВ—ЮЮЗ (около 80 км). Что же касается нескольких эпицентров, отошедших к югу от общей группы, то вероятнее всего предположить, что там намечается другая эпицентральная зона... Все зарегистрированные крымской сейсмической сетью местные землетрясения приходится рассматривать как афтершоки (aftershocks), т.е. землетрясения, которые возникают в земной коре в процессе постепенного приближения к состоянию равновесия, не достигнутого при ранее происшедшем там сильном землетрясении. В нашем случае для Крыма главными являются землетрясения 26 июня и 11 сентября (по местному времени) 1927 г., и потому имеется полная возможность эпицентры этих двух землетрясений, а также и других, сопутствующих им, отождествить с найденной эпицентральной зоной" (с. 10—11). Все эти соображения сохраняют силу и до сих пор. Напомню, что М.П. Репников [452, с. 9] называл эту точку "центром эпицентральной зоны" и путем статистической обработки данных по афтершокам давал координаты этого центра:  $\varphi = 44^{\circ} 19' \text{ с.ш.}$ ,  $\lambda = 34^{\circ} 29' \text{ в.д.}$ , что почти совпадает с данными Н.В. Райко.

Несколько ранее А.В. Вознесенский [393] "на основании сейсмограмм 15—17 русских и иностранных обсерваторий" получил такие координаты для обоих сильных толчков 1927 г.: 26.06— $44^{\circ} 30' \text{ с.ш.}$ ,  $35^{\circ} 50' \text{ в.д.}$ , 11.09— $44^{\circ} 30' \text{ с.ш.}$ ,  $35^{\circ} 10' \text{ в.д.}$ , что также весьма близко к данным Н.В. Райко. Обе точки находятся в области резких изменений глубин моря и "быть может, представляют собой лишь концы одной и той же линии сдига или сброса" (с. 971). В последнем каталоге землетрясений СССР [31, с. 62—63] для первого толчка 26.06 даются координаты:  $\varphi = 44,4^{\circ} \text{ с.ш.}$ ,  $\lambda = 34,4^{\circ} \text{ в.д.}$ , для второго — 11.09 —  $\varphi = 44,3^{\circ} \text{ с.ш.}$ ,  $\lambda = 34,3^{\circ} \text{ в.д.}$ . Остается лишь отдать должное точности первоначальных вычислений Н.В. Райко.

К 1931 г. относится работа М.В. Смирнова "Каталог землетрясений в Крыму" [458]. Здесь содержатся сведения о 75 землетрясениях начиная с IV в до н.э. и по 1928 г. До 1931 г. были опубликованы и другие списки землетрясений [402, 408, 457]. После 1931 г. вышли в свет статьи [421, 437, 438].

Подчеркну, что именно с 1928 г., т.е. с момента, когда начала функционировать в Крыму сеть сейсмических станций, материалы инструментальных наблюдений стали основным источником объективных сведений о местных землетрясениях. Тем самым изучение сейсмичности региона вступило в качественно новый этап.

А.Я. Левицкая [420] опубликовала список 23 землетрясений (с 1.08.28 по 1.07.32), для которых была определена по методу К. Вадати [975] глубина очага; последняя,



Р и с. 7.2. Разрезы через фокальную область Крыма: а — по профилю 3В; б — по профилю СЗ—ЮВ [398]

1 — гипоцентр землетрясения; 2 — граница фокальной зоны

как оказалось, колеблется от 9 до 41 км, причем "наиболее часто повторяются глубины от 20 до 30 км" [420, с. 26]. А.Я. Левицкая составила два разреза — меридиональный и широтный — через Ялтинскую группу очагов. Разрезы показывают, что очаговая зона имеет форму трехмерного овала с "большой осью", проходящей в горизонтальном направлении с севера на юг на глубине около 25 км.

Через 10 лет А.Я. Левицкая [398] подготовила новую карту эпицентров и уточнила глубины очагов. На этом основании Г.П. Горшков [там же, с. 257] построил два разреза, из которых видно, что очаговая зона, расположенная под морем недалеко от ЮБК, падает довольно круто, приблизительно под углом  $60^\circ$ , к северо-западу (рис. 7.2).

Напомню, что еще ранее Ф.И. Монахов, используя представление о поляризации сейсмических волн и произведя необходимые расчеты, показал, что для крымских землетрясений вектор  $F$ , т.е. направление действующей в очаге силы, "практически совпадает с направлением надвига" [431, с. 511]. В пользу подобной картины можно, как будто, найти подтверждение в новой работе Л.С. Борисенко и соавторов [383]; здесь же содержится существенное указание на "повсеместное" движение блоков (с. 56). К сожалению, авторы придадут слишком большое значение разрывной тектонике.

**Этап третий, синтетический (1945—1970 гг.)** — комплексные сейсмологические, геофизические, тектонические исследования. После пионерских работ Н.В. Райко и А.Я. Левицкой в 50-х и особенно в 60-х годах появилось довольно много работ по вопросам сейсмичности: З.И. Аранович — об энергии землетрясений; А.Ф. Костина, И.И. Попов — о микросейсмах; Г.В. Куликов, С.В. Медведев, И.И. Молодых, И.И. Попов — о сейсмическом районировании; И.И. Молодых — о влиянии инженерно-геологических условий на внешний эффект сотрясений; С.А. Капитанова — о результатах работы сети сейсмических станций; Ф.И. Монахов — о некоторых вопросах интерпретации сейсмограмм и др.

Говоря о картах эпицентров, я хотел бы отметить карту атласа [4, карта 3]. Она содержит 131 эпицентр с подразделением землетрясений по магнитуде и с указанием точности вычисления координат (все — класса А). В течение многих лет эта карта как наиболее надежная считалась основным документом, характеризующим размещение эпицентров землетрясений в Крыму. Карту составили А.Я. Левицкая и С.И. Ересько. Отмечу также работы З.И. Арановича [385, 386] об энергетической характеристике крымских землетрясений.

К 1964 г. относится диссертация З.И. Арановича с анализом результатов инструментальных наблюдений почти за 40 лет. Автор напоминает о том, что очаги землетрясений группируются преимущественно в трех районах: Ялтинско-Алуштинском (мы его именуем Центральным), Севастопольском (Западный) и Феодосийско-Судакском (Восточный) — как о том ранее говорила А.Я. Левицкая; оценивает глубины очагов (10—30 км), вычисляет энергию толчков ( $E = E_p + E_s$ ), строит график повторяемости, анализирует сейсмический режим и приходит к выводу, что в районе происходит процесс накопления напряжений, который должен завершиться к настоящему времени землетрясением с магнитудой не менее  $4,5^1$ . Наконец, З.И. Аранович

<sup>1</sup> За последующие 10 лет такого землетрясения в регионе не было, и потому, как я полагаю, энергию ожидаемого толчка следует несколько повысить. — Г.Г.

отмечает, что сейсмическая деятельность перемещается со временем к краям эпицентральной зоны; думается, что последнее заключение требует проверки, ибо столь быстрое, на протяжении нескольких лет, изменение поля напряжений с точки зрения геологии вряд ли реально.

Отмечу интересную заметку И.И. Попова [440] о микросейсмических "шумах" на Крымском полуострове. "В Крыму, — пишет автор, — со всех сторон омываемом морем, по-видимому, нет мест, в которых в той или иной степени не проявлялись бы микросейсмические шумы с переменной интенсивностью" (с. 82) и с разными периодами, что связано с волновыми режимами Черного и Азовского морей и даже Атлантического океана. Должен отметить, что И.И. Попову принадлежит, вообще говоря, выходящая роль в развитии сейсмических исследований в Крыму.

Сводка фактических данных и их анализ даются в главе "Крым" монографии по сейсмическому районированию СССР, 1968 г. [412, с. 196—213]. Ранее, в 1947 г., то же было сделано на другом, естественно, уровне в диссертации Г.П. Горшкова 1947 г.

Наиболее полный и достоверный каталог опубликован Р.Н. Морозовой и Н.В. Шебалиным [432]; авторы называют его "опытом критического каталога". Здесь приводятся сведения о 173 толчках за время с 1802 по 1967 г. На основе "совместного анализа макросейсмических и инструментальных данных" (с. 13) во многих случаях вычислена магнитуда толчков, глубины и объем очагов. Дается полная сводка (в форме каталога) фактических данных по землетрясениям.

К более поздним относятся работы [403, 439, 454].

**Этап четвертый, 70-е годы (1970—1980 гг.).** В статье [404] рассмотрены свидетельства археологии по вопросу о возможном воздействии землетрясений на древние сооружения, а также на состоянии карстовых полостей, которых немало находится в известняках Горного Крыма. Авторы подчеркивают то обстоятельство, что "в каждом конкретном случае трудно с полной уверенностью утверждать, что разрушение археологического памятника связано именно с землетрясением, а не с обычным обвалом" (с. 50). Видимо, нужно искать какие-то новые свидетельства, подтверждающие те или иные решения; в некоторых случаях, например в случае гипотетического Пантикапейского землетрясения (63 г. до н.э.) в Керченском проливе, археологические данные могли бы приобрести решающее значение.

Небольшая, но содержательная работа опубликована в 1972 г. Н.В. Шебалиным [472]. В ней имеются сведения об объемах очагов, о нижней границе очаговой зоны, о величине  $K_{\max}$ . К тексту приложен продольный разрез вдоль очаговой зоны, т.е. приближенно в широтном направлении.

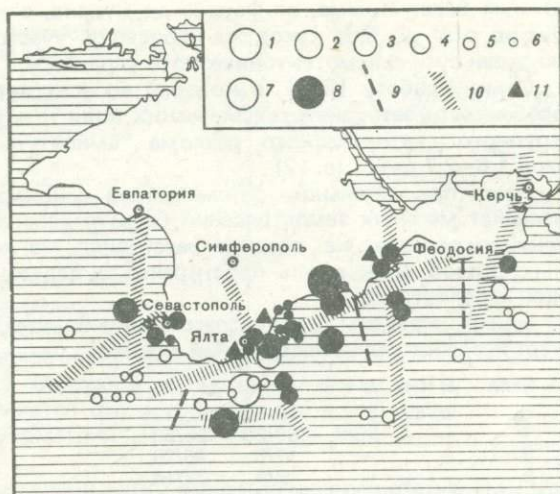
Несколько позже Н.В. Шебалин [235] опубликовал схему расположения "зон глубинных тектонических швов" и схему возможного механизма очагов землетрясений 1927 г. и их афтершоков (по Е.И. Широковой в интерпретации Н.В. Шебалина) и отметил, что "оба возможных положения плоскости разрыва... не согласуются с определением положения плоскости разрыва по макросейсмичности и афтершокам" (с. 25).

Статья А.Г. Каменобродского [406] посвящена вопросу о сейсмической сотрясаемости. Р.Н. Морозовой и Н.В. Шебалиным [432], Ю.В. Ризниченко и соавторами [454] были предложены варианты карт максимальных возможных землетрясений,  $K_{\max}$  и сейсмической сотрясаемости  $B$  для Крыма. А.Г. Каменобродский уточнил методику расчетов и подготовил новые графики повторяемости, несколько иной вариант карт сейсмической активности, возможных максимальных землетрясений и сейсмической сотрясаемости для 6, 7 и 8 баллов.

Большой интерес представляет собой коллекция специальных карт, приложенных как иллюстрация метода к книге [273]. К территории Крыма относятся следующие карты: изосейсты 7—8-балльных землетрясений и максимальные сотрясения в отдельных пунктах; эпицентры землетрясений по инструментальным и макросейсмическим данным и сейсмоопасные зоны по гравиметрическим данным; эпицентры максимальных наблюдаемых землетрясений и изолинии сейсмической сотрясаемости; историко-тектоническое районирование; новейшие тектонические движения; современные движения; сопоставление геологических критериев сейсмической опасности с распределением эпицентров землетрясений; относительная сейсмическая опасность по геологическим данным; зоны возникновения очагов сильных землетрясений; районирование по максимальным возможным сотрясениям.

Р и с. 7.3. Карта эпицентров землетрясений Крыма за 1853–1973 гг. (по [445])

1–6 – эпицентры землетрясений: 1 –  $K=16,2$ , 2 –  $K=15,3$  –  $K=14,4$  –  $K=13,5$  –  $K=12$ , 6 –  $K=11$ ; 7 – для периода 1893–1926 гг., 8 – для периода 1927–1973 гг., 9 – условные границы между зонами; 10 – глубинные разломы по геофизическим данным; 11 – сейсмические станции



В последние годы появилось немало работ крымских сейсмологов, касавшихся различных аспектов проблемы сейсмичности полуострова.

В работе [445] опубликована схема расположения эпицентров важнейших землетрясений Крымско-Черноморского региона (точнее, Крымско-Таманского) за 1853–

1973 гг., с указанием трасс предполагаемых глубинных разломов (рис. 7.3). Авторы вновь, подобно З.И. Арановичу, отмечают тенденцию для последних 100 лет "удаления землетрясения от берега в сторону глубоководных впадин со средней скоростью около 0,4 км/год и в направлении к юго-западу региона – со скоростью около 1 км/год" [Там же, с. 86]. Если эта тенденция сохранится на протяжении предстоящих трех-четырёх веков, то эпицентральная зона переместится из окрестностей Крыма к берегам Турции, что с точки зрения геологии невероятно. Поэтому я полагаю, что авторы данной работы подметили лишь некоторый частный, сугубо временной факт миграции эпицентров, и "завтра" эта "тенденция" должна превратиться в обратную.

В работе отмечается также, что очаги землетрясений "не лежат в фокальной плоскости, уходящей под материк, как предполагалось ранее" [Там же, с. 86]. Это спорный вопрос. В свое время А.Д. Архангельский говорил о сейсмических сбросах, падающих к югу; В.Б. Соллогуб проводит здесь глубинный разрыв вертикального залегания; Г.П. Горшков – очаговую зону с падением к северо-западу; Л.М. Расцветаев – серию разрывов, уходящих к северу с весьма пологим падением вплоть до горизонтального; Б.Г. Пустовитенко и А.Г. Каменобродский рисуют некоторое "облако" очагов без определенной ориентировки. Какое из мнений отвечает действительности, покажут дальнейшие исследования.

В статье [447] указывается, как и ранее, на наличие южнее Крыма пяти сейсмоактивных зон (блоков) *A, B, C, D и E* (о том же говорится в [446]). "Наибольшей сейсмической активностью характеризуется центральная часть региона (зоны *B и C*), к которой приурочена область очага разрушительного землетрясения 1927 г. с энергией  $19^{16}$  Дж". [447, с. 60].

В статье [441] рассматривается вопрос о результатах наклономерных измерений. Авторы описывают методику проведения наблюдений и результаты, полученные на пунктах, расположенных в Симферополе, Ялте, Алуште, Инкермане, на Ай-Петри, и приходят к тому заключению, что вековой ход наклонов "выделить не удалось" (с. 17) и что только повторные систематические и репрезентативные наблюдения помогут получить определенные результаты.

Б.Г. Пустовитенко и ее соавторы [446] в краткой, но стройной и логичной форме описали графики повторяемости землетрясений для Крыма, а также карты эпицентров землетрясений за 1927–1976 гг. и сейсмической активности за тот же период. Зона  $K_{max} = 16$ , судя по карте, до берега не доходит, оставаясь в пределах акватории. В другой статье [475] был рассмотрен вопрос об энергии крымских землетрясений и предложен "улучшенный вариант номограммы для вычислений энергии землетрясений Крымско-Черноморского региона, построенный с учетом различий поглощающих свойств сред на волновых трассах" (с. 48).

Б.А. Борисов и Г.И. Рейснер [390] предприняли попытку составления карты  $M_{max}$ .

Южный берег Крыма, от Фороса до Судака, отнесен к области появления возможных очагов с  $M$  до 6,5; таков же небольшой участок восточнее мыса Тарханкут — карта по своей сути сеймотектонического характера.

Отмечу работу [448], в которой во всех деталях анализируется поведение коды и особенности затухания сейсмических волн и сделан вывод о том, что при пересечении крупного тектонического разлома "амплитуды прямых сейсмических волн убывают в 1,6–2,7 раза" (с. 12).

Нами при детальном сейсмическом районировании Крыма на основании анализа изосейст местных землетрясений были подсчитаны средние скорости затухания сотрясений в регионе, т.е. средние расстояния, на которых располагаются изосейсты разных баллов (как вдоль простирающихся складчатых нарушений, так и поперек последних) от эпицентра.

Ниже приведены средние расстояния от эпицентра до изосейст ( $R$ , км) по данным карт изосейст для землетрясений Крыма

Балл	$M = 4$	$M = 5$	$M = 6$	$M = 7$
6	26/12	57/24	99/53	165/125
7	—	26/8	50/20	95/50
8	—	—	17/6	45/29
9	—	—	8/4	22/14

Здесь в числителе показано расстояние вдоль простирающихся складчатых сооружений, в знаменателе — вкрест простирающихся. Полученная таким образом конфигурация изосейсмальных зон в целом достаточно удовлетворительно отражает давно сложившееся представление о сейсмичности Крыма, но несколько неожиданным оказывается появление 9-балльной зоны на ЮБК, на пространстве от Массандры до Алушты, и сравнительно широкое поле 8-балльной интенсивности в окрестностях Алушты. Как отнестись к такому результату? Ряд соображений из области сеймотектоники заставляет полагать, что этот вывод не является случайным (наличие широкого поля 16-го энергетического класса, по данным Ю.В. Ризниченко, сейсмодислокации близ Демерджи, — по данным П.Н. Николаева). Конечно, достоверность сеймотектонических построений не столь велика, чтобы настаивать на реальности этой зоны. Скорее следует ее рассматривать как указание на несколько повышенную опасность данного участка в сейсмическом отношении, что должно найти отражение при детальном сейсмическом районировании.

Обращает на себя внимание тот факт, что изосейсты сентябрьского землетрясения 1927 г., судя по данным многих авторов, проходят на север значительно дальше, чем позволяют расчетные данные. Не завышена ли оценка интенсивности колебаний для этого землетрясения? Вопрос этот требует дополнительных исследований, как и вопрос о потенциальной сейсмической активности зон поперечных (субмеридиональных) глубинных разломов (если они существуют) — Каркинитского, Салгирско-Октябрьского, Корсаковско-Феодосийского, Орехово-Павлоградского и др. — на выходе их трасс за пределы установленных сейсмоактивных участков. У нас нет достаточных оснований для формулировки практических значимых выводов, но, по-видимому, правомерно иметь в виду роль разломов именно в таком смысле, т.е. как границ между блоками различных геодинамических свойств.

Весьма лаконичную, но богатую фактическим материалом сводку по сейсмичности региона опубликовал Ю.В. Ризниченко и соавторы [453]. Здесь даны: график распределения землетрясений по глубине очага (по [432]); разрез с З на В через очаговую зону (по [422]) — рис. 7.4: схема механизма землетрясений 1927 г., где показаны направления сжимающих и растягивающих напряжений. В [453] дана карта максимальных возможных землетрясений. Авторы отмечают, что сильные землетрясения "попадают внутрь разрешенных для них зон" (с. 227), что, заметим, естественно, ибо по этим же данным карта и составлена, а также, что "морской блок опускается, континентальный — поднимается" (с. 228) — сейсмологическое свидетельство правоты геологов А.Д. Архангельского, Е.В. Милановского, М.В. Муратова, В.А. Обручева, Н.М. Страхова, которые из геологических соображений утверждали то же самое.

Остановлюсь несколько подробнее на содержании работы [444]. Здесь даны "направления главных осей сжимающих и растягивающих напряжений, а также следы двух возможных плоскостей разрыва на земной поверхности с направлением гори-

Рис. 7.4. Проекция очагов крымских землетрясений на вертикальную плоскость, проходящую через Ялту в широтном направлении [422]

Точками показаны гипоцентры землетрясений

зонтальных сдвигов; ось сжимающих напряжений близка к горизонтальной и направлена вдоль простирания основных тектонических структур (случай маловероятный, никак не согласующийся с геологией. — Г.Г.) ... направление оси растягивающих напряжений в отношении простирания приближается скорее к поперечному" (с. 228) (также мало вероятно. — Г.Г.). Опасаюсь того, что схема эта, хотя она и поясняется двумя дополнительными чертежами "в изометрии", все же не совсем удачна.

Стоит отметить небольшую, компактную и четко ориентированную статью П.С. Кармазина [407]. Она содержит описание принципиальных сейсмогеологических установок, принятых автором при попытке решить проблему сейсмического районирования Крыма. Основным элементом здесьшей сейсмотектоники автор считает континентальный склон как геоморфологическое выражение особенностей собственно тектоники и приводит две карты — схему тектоники и карту сейсмического районирования; последняя мало чем отличается от уже давно принятых для Крыма.

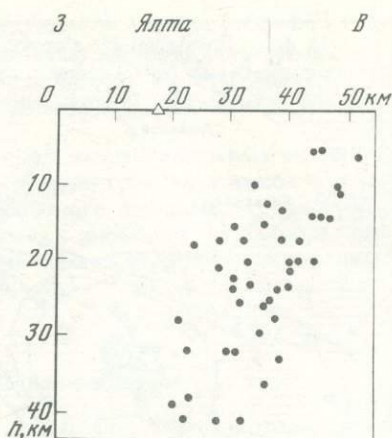
Б.Г. Пустовитенко [444] показала, что для главного эпицентрального района Крыма получаются две нодальных линии; одна из них близка по ориентировке к так называемому Салгирско-Октябрьскому субмеридиональному глубинному разлому, другая — к широтному Ялтинскому. Правда, здесь налицо такое разнообразие ориентировок тектонических линий (линеаментов), что нодальные линии любого азимута можно при желании без труда привязать к какому-либо линеаменту, особенно в условиях невысокой точности установления как тех, так и других. Но все же как первая попытка такого рода этот результат, конечно, интересен.

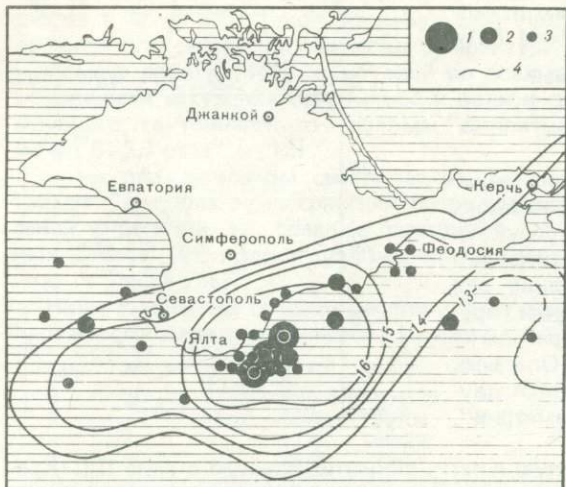
В весьма обстоятельной диссертации А.Г. Каменобродского (1976 г.) с чисто сейсмологических позиций были рассмотрены различные традиционные вопросы: список землетрясений, сейсмический режим, графики повторяемости и т.п.; построены карты максимальных возможных землетрясений, сейсмической активности (которая, как полагает автор, связана с участками высоких значений горизонтальных градиентов изостатических аномалий), сотрясаемости и т.п. Вопросы геологии автор не затрагивает.

Примерно к тому же времени относятся диссертации Б.Г. Пустовитенко (1977 г.) с интересными соображениями об особенностях сейсмического режима Крымского региона и В.Е. Кульчицкого (1978 г.) — об искажениях трасс продольных волн по наблюдениям в Крыму.

Хотелось бы отметить большое значение таких изданий 60–70-х годов, как "Геофизический сборник" АН УССР, сборники "Геологические результаты прикладной геофизики", "Сейсмологические данные по Украине", "Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкое строительство" [455], "Земная кора и история развития Черноморской впадины" [405], книгу А.В. Чекунова и его соавторов [469], а также "Сейсмические бюллетени западной территориальной зоны ЕСН (Крым, Карпаты)" за 1970–1979 гг. (издание 1982 г.).

Стоит отметить, что Крымский сейсмический регион находится в непосредственной связи с землетрясениями западной части Большого Кавказа, и в частности с Анапскими. И.В. Ананьин [384] рассмотрел сейсмичность этого участка и пришел к выводу, что здешние землетрясения "связаны с зоной движений по разломам между опускающимся дном Черного моря и поднимающимся относительно него Западным Кавказом" (с. 35), но одновременно играет роль и Анапская поперечная зона разлома, к востоку от которой кора испытывает "интенсивное поднятие", а к западу от нее (Таманский полуостров и Восточный Крым) — "относительное погружение" (Там же).





Р и с. 7.5. Эпицентры сильных землетрясений Крымского региона

1–3 – эпицентры землетрясений (по [31]): 1 –  $6,0 \leq M \leq 6,9$ , 2 –  $5,0 \leq M \leq 5,9$ , 3 –  $4,0 \leq M \leq 4,9$ , 4 – изолинии  $K_{\max}$  (по [47])

Таким образом, "к району пересечения этой системы поперечных разломов, расположенных вдоль берегов линии Новороссийск–Анапа, приурочено максимальное скопление очагов шестибалльных землетрясений" (Там же). Если это верно, то основная роль в возбуждении очагов принадлежит все же разноразличившим блокам коры, разделенным разломами, в особенности продольными, аналогично тому, как это имеет место к югу от Крыма. Кстати, Н.В. Шебалин [472] придает

такое большое значение сейсмическим способностям Западного Кавказа, и в частности Таманского полуострова, что предлагает отнести весь Таманский полуостров к зоне возможных 8-балльных землетрясений (с. 18), что, по моим представлениям, несколько преувеличено.

Одна из последних эпицентральных карт приложена к каталогу [31, с. 528], рис. 7.5. Здесь обозначения (диаметр кружка пропорционален величине  $M$ ) – общие для всех карт этого каталога; кроме того, землетрясения Крыма разбиты на три временных периода – до 1928 г., 1928–1956 гг. и 1956–1974 гг., что и показано особым знаком на оригинале.

Хотелось бы отметить статью Е.С. Штенгелова [473], в которой говорится о зонах "открытой трещиноватости", которые обнаружил автор на территории равнинного Крыма. Автор считает такие зоны следствием воздействия локальных полей "в пределах общего поля тангенциального сжатия", что позволяет якобы "существенно уточнить представление о характере распределения тектонических напряжений в орогенную и посторогенную стадии фаз складчатости, в том числе и на современном этапе" (с. 123). Однако этого "уточнения" автор не дает.

В других статьях Е.С. Штенгелов [474, 475] развивает идею о раздвижении коры, в том числе и в Крыму, и приходит к заключению, что "продолжающееся в наши дни раздвижение коры – главная, если не единственная (! – Г.Г.), причина землетрясений в пределах континентов и на их границах" [474, с. 6]. Мысль оригинальная и смелая, но опасаясь того, что сама идея о раздвижении (в ее понимании автором) нуждается в более солидном подтверждении, а основной вывод – и тем более.

**Пятый этап, 80-е годы.** Удивительно разнообразна тематика позднейших работ, связанных так или иначе с изучением землетрясений. М.В. Комарова и Е.С. Штенгелов [410], например, полагают, что некоторые "землетрясения" в Степном Крыму – антропогенного типа: подземные толчки 7.08.75, 3.11.77, 15.08.78 (все севернее Симферополя) возникли якобы благодаря тому, что здесь в 1975 г. "было залито несколько десятков тысяч кубометров пресной воды" (с. 96) в подземный бассейн в неогеновых известняках, вследствие чего произошло увеличение уровня подземных вод, т.е. увеличился их "напор", что и послужило "дополнительным импульсом" к появлению землетрясений. Вряд ли... Кстати, еще ранее И.И. Попов высказывал сомнение в тектонической природе некоторых землетрясений окрестностей Симферополя, связывая соответствующие записи на сейсмограммах с искусственными взрывами на местных карьерах. В одной из более поздних статей И.И. Попова и соавторов (1981 г.) об одном из этих толчков говорится: "... несколько необычным явилось землетрясение 3 ноября с  $K=8$ , эпицентр которого оказался расположенным на суше в северо-западной части полуострова" (с. 15).

В статье Л.С. Борисенко и соавторов [383] предпринята попытка подойти к вопро-

су о прогнозе землетрясений на основании ретроспективного анализа разрывных нарушений территории ЮБК и с учетом особенностей рельефа (распространение балок), а также наклонных измерений. Авторы пришли к выводу об унаследованности разрывных нарушений и о "повсеместных здесь современных движениях блоков" (с. 56), но прогноза землетрясений все же не дали.

В статье В.И. Бунэ и соавторов [442] также дан прогноз максимальных магнитуд, для чего использованы различные исходные данные: модуль градиента высот поверхности Земли, модуль градиента рельефа консолидированного фундамента, глубинные аномалии силы тяжести, модуль градиента изостатических аномалий, глубинные "сейсмически активные" разломы. В итоге была построена "Схема вычисленных очаговых зон" (схема, надо заметить, слишком формальная и, может быть, не в полной мере отвечающая геологическим особенностям региона).

## 7.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЙСМИЧНОСТИ

Не касаясь других работ по проблемам сейсмичности Крыма (число которых весьма велико), мы можем констатировать следующее.

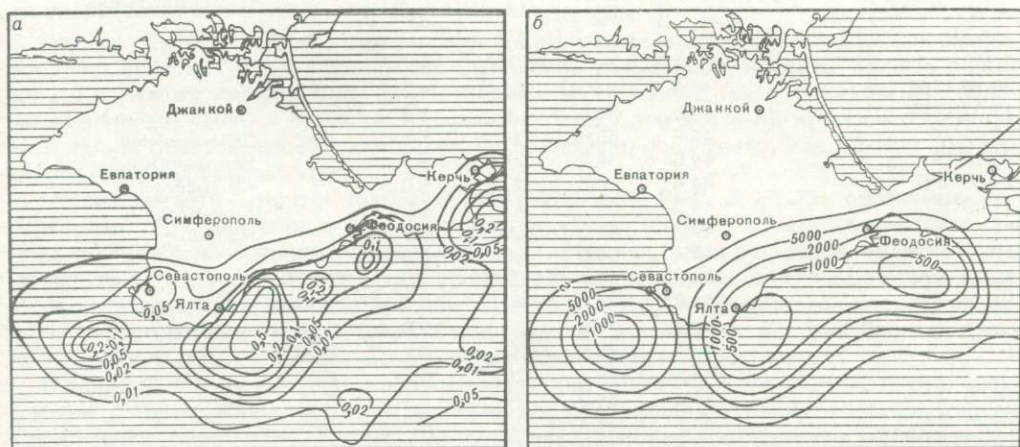
Эпицентры землетрясений, которые ощущаются в Крыму, лежат в основном в пределах акватории Черного моря, в непосредственной близости от ЮБК, в нескольких километрах от берега, преимущественно севернее континентального склона. Центральные части впадины Черного моря практически свободны от эпицентров. Эпицентры землетрясений встречаются также по всей периферии впадины, вдоль берегов Кавказа, Турции, Болгарии, за исключением промежутка между Крымским полуостровом и Румынией, где континентальный склон сильно расширяется и фактически как элемент рельефа пропадает и где эпицентров землетрясений нет.

Концентрируясь вдоль континентального склона, эпицентры землетрясений Крымского региона образуют несколько зон сгущения — зоны Севастопольская (Западная), Ялтинская (Центральная), Судакская (Восточная), Феодосийская и Анапская. Общее число ощутимых землетрясений за 1800—1980 гг. около 200; из них одно (11.09.27) с  $M \approx 6,8$ , два (26.06.27, 11.09.69) с  $M \approx 6,0$  и девять с  $M = 5,5 \div 5,8$ . Магнитуда остальных меньше — от 4,0 до 4,9. Рис. 7.5 содержит сведения о расположении эпицентров с  $M \geq 4,0$  [31], а также изолинии  $K_{max}$  [47].

Глубина очагов колеблется от 0 до 60 км, с наибольшим числом их на глубинах 11—20 км.

Распределение очагов крымских землетрясений по глубине (1815—1971 гг.) приведено ниже.

$h$ , км	0—10	11—20	21—30	31—40	41—50	51—60
$N_1$ , число очагов	13	116	31	23	5	1



Р и с. 7.6. Сейсмическая активность  $A$  (а) и сейсмическая сотрясаемость  $B_s$  (б) [47]

Таблица 7.1  
Средние периоды сейсмической сотрясаемости, в годах [454, с. 13]

Город	$I_{II}$ , балл				
	6	7	8	8,5	9
Ялта	14	69	400	1500	—
Алушта	18	88	850	10 000	—
Севастополь	35	310	—	—	—
Симферополь	40	350	—	—	—
Феодосия	60	1500	—	—	—

Сейсмическая активность иллюстрируется картой в работе [47]. Повышенная активность (до 0,5) свойственна Ялтинской зоне. Для региона в целом площадью около  $22\ 000\ \text{км}^2$   $A = 0,1$  ([47], лист IA).

Сейсмическая сотрясаемость  $B_7$  и  $B_8$  также иллюстрируется картами в [47] (для  $B_8$  — см. рис. 7.6). Средние "периоды сейсмической сотрясаемости" (в годах) сведены в табл. 7.1 (по [454]).

В энергетическом отношении землетрясения Крыма в редких случаях могут достигать величины  $E = 10^{22}$  эрг; в целом же плотность энергии в показателях эрг/(100 км<sup>2</sup> · 50 лет) оценивается цифрой порядка  $10^{19}$ , что значительно меньше аналогичных цифр, полученных для Восточных Карпат, Прибайкалья, Средней Азии, Курило-Камчатского региона, Кавказа [52, с. 169]. Удельная сейсмическая мощность  $N_m$  по моим расчетам около  $6 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год), что ставит Крым по сейсмической опасности значительно ниже зоны Вранча (Восточные Карпаты) или Колетдага (южная Туркмения) и приближает его к Кавказу. При концентрации очагов на глубинах 11–20 км максимальное количество сейсмической энергии выделяется в нижней половине этого "слоя", на глубине около 15–20 км.

Максимальная магнитуда (в показателях  $K_{max}$ ) возможных для Крыма отдельных землетрясений определяется из карт, составленных под руководством Ю.В. Ризниченко [47], в том числе для Крыма (см. рис. 7.5). Для Ялтинской группы приходится

Таблица 7.2  
Список землетрясений Крымского региона ( $M \geq 5,0$ ) по каталогу [31, с. 57–68] и другим источникам

Дата	Параметры					Землетрясение
	$\varphi$ , град. с.ш.	$\lambda$ , град. в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	
29.10.1855	44,3	34,3	20	5,5	6–7	Ялтинское I
11.07.1875	44,5	33,4	9	5,2	7–8	Херсонесское I
8.01.02	44,6	35,8	16	5,5	6–7	Без названия
25.12.19	44,6	34,9	24	5,7	7	Восточно-Крымское
26.06.27	44,4	34,4	27	6,0	7	Крымское I
11.09.27	44,3	34,3	17	6,8	9	Крымское II
	44,3	34,3	30	5,8	6–7	Афтершок
	44,4	34,6	50	5,8	5–6	"
12.09.27	44,5	34,5	35	6,0	6–7	"
	44,4	34,6	40	5,5	5–6	"
	44,5	34,6	26	5,0	5–6	"
	44,4	34,5	32	5,2	5–6	"
	44,5	34,5	25	5,7	6–7	"
14.09.27	44,3	34,3	28	5,1	5–6	"
24.09.27	44,4	34,3	23	5,7	6–7	"
18.03.57	44,5	33,0	15	5,5	6–7	Севастопольское

принять для  $K_{\max}$  цифру 16, что может дать на ЮБК, от Фороса до Алушты, 8 (или несколько более) баллов. Близкие к тому результаты были получены Б.А. Борисовым и Г.И. Рейснером [390], также отметившими возможность появления землетрясений с магнитудой 6 (даже 6,5) на территории ЮБК. Об аналогичной карте А.Г. Каменобродского говорилось выше.

В заключение приведу список землетрясений Крымского региона с  $M \geq 5,0$  (за 1800—1980 гг.) по [31, с. 57—68] (табл. 7.2, см. также рис. 7.5).

### 7.3. ВОПРОСЫ ТЕКТОНИКИ

Геологическое строение Крыма изучено в деталях, описано во многих работах, в том числе в таких изданиях, как [112, 413, 433, 434]. Поэтому вряд ли есть надобность останавливаться на этом вопросе подробно. Достаточно ограничиться самой краткой справкой.

**Тектоника Крыма.** Северная половина полуострова, т.е. Степной Крым, до южной границы Русской плиты с поверхности сложена горизонтально лежащими (с некоторыми осложнениями в отдельных местах) слоями существенно рыхлых неогеновых отложений эпиплатформенных фаций умеренной мощности. В фундаменте залегают интенсивно измятые толщи мезозойского ( $MZ$ ) и палеозойского ( $PZ$ ) возраста. В тектоническом отношении эта часть должна быть отнесена к области раннекиммерийской складчатости (между  $T_3$  и  $J_1$ ), в пределах которой позднейшие альпийские движения выразились лишь в формировании некоторых впадин, в том числе Перекопской и Азовской, с весьма полого залегающими на их площади слоями неогена или столь же пологих антиклиналей; среди последних выделяется Тарханкутская антиклиналь, в ядре которой выведены на поверхность верхнемеловые известняки (на Тарханкутском мысе). Куэста третьей гряды Крымских гор приближенно отвечает южной границе этой зоны раннекиммерийской складчатости.

На протяжении новейшего этапа (плиоцен  $N_2$ —антропоген  $Q$ ) здесь сохранялся посткиммерийский платформенный режим: отсутствие или весьма слабое проявление альпийских движений, малая мощность  $N_2$ — $Q$ -отложений, слабые вертикальные движения отрицательного знака (до  $-200$  м), слабые положительные аномалии силы тяжести, континентальный тип коры, равнинный рельеф и т.п. Соответственно низок уровень сейсмической деятельности: местных эпицентров землетрясений нет или почти нет, а сильные удаленные землетрясения могут вызвать здесь лишь 5-балльные колебания (в редких случаях — до 6 баллов).

Степной Крым представляет собой часть Скифской плиты, но до известной степени изолирован, будучи ограничен как с севера, так и с юга зонами глубинных разломов. Из них гипотетический Северный, проходящий по Каркинитскому побережью, асейсмичен; южный, проходящий от Керченского полуострова через Симферополь к Севастополю, может быть и несет на себе отдельные эпицентры слабых землетрясений, но уверенности в том нет (их генезис спорен).

Горный Крым — область проявления новокиммерийской складчатости как основной; это область слабых проявлений альпийских движений и, наконец, область интенсивной активизации движений на новейшем этапе с господством вертикальных положительных движений с суммарной амплитудой до 2 км в осевой части образовавшегося таким образом мегантиклинория. Южное крыло последнего, как обычно считается, опущено под уровень моря.

Массив мегантиклинория разбит на ряд блоков: *A, B, C, D, E*. Так обозначили эти блоки Б.Г. Пустовитенко и В.Е. Кульчицкий [447]. Между блоками пролегают, как предполагается, субмеридиональные крутые глубинные разломы, зародившиеся, быть может, даже в докембрии, но проявившие себя на протяжении всего фанерозоя. Один из них, именно Салги́ро-Октябрьский (Центральный, Симферопольский), с признаками левосторонних горизонтальных подвигек ограничивает с востока блок *B*, далеко продвинутый на юг (в том числе массивы Роман-Кош и Ай-Петри).

В Горном Крыму выходят мощные известняки позднеюрского ( $J_3$ ) возраста, залегающие с несогласием на столь же мощных, флишвидных, сильноизмятых толщах Таврической серии ( $T$ — $J_2$ ). Местами последние прорваны интрузиями габбро-диабазов, плагиопорфи́ров и диоритов, образующих небольшие по площади тела лакколи-

тов или штоков; по возрасту они относятся главным образом к байосу,  $J_2$ . Таким образом, вся эта зона действительно несет признаки проявления новокиммерийской (между  $J_3$  и  $K_1$ ) складчатости. Между прочим, в ее пределах зафиксировано множество разрывных нарушений, активность которых простирается вплоть до неогена ( $N$ ).

Н.В. Райкова [451] подчеркивает членение Крыма на ряд зон (по возрасту мезозойских фаз складкообразования): "Первая фаза киммерийской складчатости проявилась в Крыму на рубеже позднего триаса—лейаса... Вторая фаза... проявилась в течение позднего лейаса, аалена, местами раннего байоса. Третья фаза (Яйлинская) проявилась со второй половины келловая до начала лузитана. Завершающей фазой складчатости в Крыму была андийская, проявившаяся с кимериджа по верхний титон. Горный Крым является, следовательно, киммерийской складчатой структурой" (с. 8—9).

Что касается собственно альпийских движений, то они вероятны в Судакском регионе, который иногда относят непосредственно к альпийской складчатости.

Наконец, Керченский полуостров сложен неогеновыми ( $N$ ) породами увеличенной мощности; в юго-западной части широко распространены палеогеновые ( $P$ ) отложения.

Отмечу две небольшие, но существенные работы: С.Л. Бызовой [392] и Ф.А. Щербакова и др. [476]. В первой из них автор подчеркивает то обстоятельство, что "Горному Крыму... свойственна продольная структурно-фациальная зональность" и что "общий стиль складчатости и разрывной тектоники отвечает представлениям о деформациях сжатия", причем отмечаются признаки "разворотов и скупивания блоков" (с. 24). Во второй авторы, рассматривая северную часть Черноморской впадины, отмечают, что в четвертичное время она была расколота на "крупные меридиональные мегаблоки" (с. 31), в том числе блок, который расположен между Ялтинским и Николаевским разломами. Мне кажется, что имеются основания расчленить последний блок, в свою очередь, на два меньших блока, западный и восточный, с тем что последний оказывается продвинутым дальше всех других на юг. Показателями таких смещений служат не только рельеф и конфигурация полосы шельфа, но и особенности тектоники.

Схема тектоники Крыма была также предложена в 1976 г. П.С. Кармазиным [407]. К сожалению, несмотря на свою ясность, она не может считаться бесспорной. Еще ранее, в 1966 г., предложил свой вариант тектонической схемы Крыма А.И. Шалимов [471].

**Новейшие и современные движения.** Вся зона новокиммерийской складчатости, т.е. Горный Крым, как элемент современного рельефа создан в основном на протяжении новейшего этапа ( $N-Q$ ) в результате активизации положительных вертикальных движений. Последние привели к формированию мегантиклинория Горного Крыма с его отчетливо выраженным северным крылом и погруженным под уровень моря гипотетическим южным. Впрочем, южного крыла, скорее всего, и нет, так как здесь дело идет о соотношениях иного смысла, о контакте двух блоков земной коры — северного "материкового" и южного "океанического". Их границей является сложная полоса (промежучного типа), характеризующаяся сокращением в мощности, а затем и полным исчезновением "гранитного" слоя и наличием, возможно, субширотного, с изгибами, глубинного разлома, которому отвечает в рельефе dna четко выраженный континентальный склон; последний сужается на траверсе Ялты, где наклон dna доходит до  $10^\circ$  (и более); в восточном и западном направлениях он расширяется и заметно выполаживается до уклона  $2-3^\circ$ .

Новейшие и современные движения на полуострове описали Н.И. Николаев с соавторами [435], В.И. Бабак, П.А. Беспрозванный, Н.С. Благоволин, Ю.Д. Буланже, А.А. Бажова, Д.Н. Лилиенберг, М.В. Муратов и др.

На ранней схеме М.В. Муратова [112] выделено несколько "областей" с различными режимами вертикальных движений четвертичного возраста: от "наиболее сильных поднятий, продолжающихся и сейчас", до "интенсивного опускания, также продолжающегося и сейчас". Горный Крым относится к первой категории, глубоководная впадина Черного моря — к последней. Промежучочные показатели характерны для остальных частей региона. Степной Крым и Керченский полуостров относятся к области "преобладания слабых опусканий над слабыми поднятиями" (с. 197).

Н.С. Благоволин и Д.Н. Лилиенберг [389, с. 117] указывают, пользуясь геодезическими наблюдениями, что скорость современного поднятия Горного Крыма достигает  $2-4$  мм/год; для Степного Крыма отмечаются поднятия не более 2 мм/год, причем зона подобных движений вытянута на северо-запад, отвечая положению Симферопольского разлома. Для узкой прибрежной полосы ЮБК получены отрицательные значения

вертикальной составляющей, т.е. преобладают опускания со скоростью 1,1—1,4 мм/год. Авторы полагают, что это опускание может быть связано с региональным развитием оползней. Думаю, что это правильно, так как логичнее для ЮБК предполагать поднятие, которое маскируется влиянием оползней.

В.И. Бабак [387] указывает на то, что "преобладающие в миоцене опускания сменяются в течение плиоцена и четвертичного периода постепенно усиливающимися по интенсивности поднятиями, максимальное проявление которых падает на верхний (лучше сказать, поздний, — Г.Г.) плиоцен—начало четвертичного времени" (с. 78). В.И. Бабак построил ряд карт в изолиниях палеотектонических движений (для новейшего этапа,  $N-Q$ ), из которых следует, что суммарное поднятие Горного Крыма за это время достигает 1000 м. На четвертичный период приходится 600 м (с. 72), что дает достаточно высокий градиент для того, чтобы ожидать здесь некоторого проявления сейсмических сил.

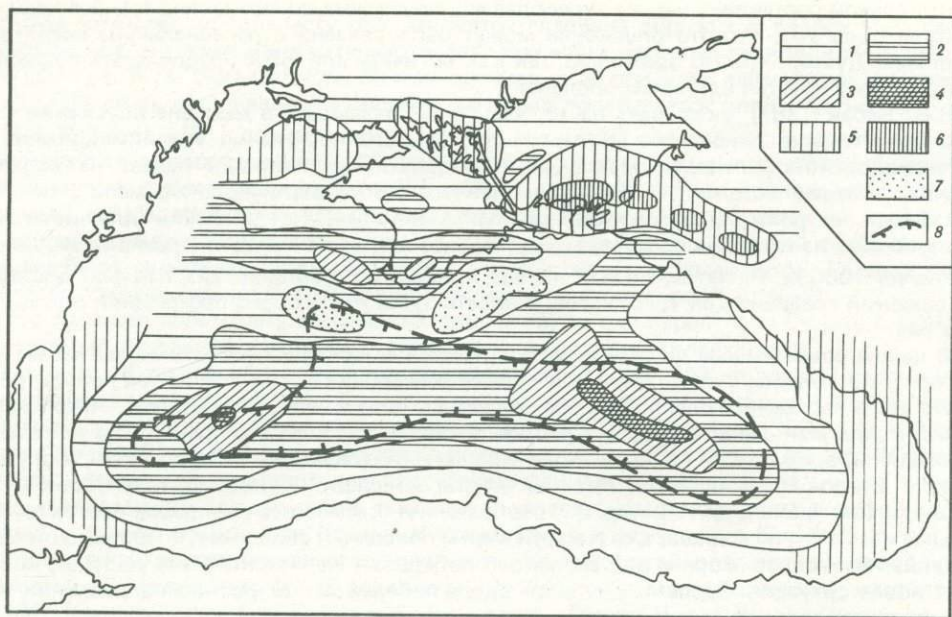
В целом современные движения не отличаются высокими скоростями, но все же они таковы, что должны учитываться при оценке сейсмических возможностей полуострова.

Но вот в последние годы появились некоторые новые соображения. Н.И. Николаевым и его коллегами была проведена работа по анализу последних данных по новейшим движениям, в том числе по территории Крыма и окружающих его акваторий, и опубликовано второе издание [103] прежней карты новейших движений территории СССР [102], в том числе и для Крыма. Все соображения, касающиеся вопросов неотектоники Крыма и изложенные выше, в свете этой карты сохраняют свою силу, но для южной части впадины Азовского моря и для азовского побережья Керченского полуострова возникает новая ситуация. Здесь по дну моря вдоль побережья в широтном направлении, как показывает карта, проходит четко выраженная зона контакта структур полуострова с глубокой впадиной Азовского моря; впадина эта в своей южной части испытала за новейшее время опускания на глубину более 4000 м (с соответствующим заполнением дна рыхлыми осадками). По контакту проходит, по всей видимости, глубинный разлом. То же самое, хотя и с меньшей остротой, касается Керченского пролива. Если исходные данные, положенные в карту, правильны — а у нас нет оснований в том сомневаться, — то ситуация в отношении сейсмичности этой части полуострова значительно изменится в сторону ухудшения. До какой степени? Судить о том трудно, но в условиях тех значений градиента новейших движений, которые зафиксированы здесь, отнюдь не будет удивительным возникновение здесь очагов землетрясений разрушительной силы. Не решаясь пока закрепить такой вывод в карте сейсмического районирования Крыма, я полагаю необходимым, не откладывая надолго, рекомендовать провести здесь весь комплекс исследований всеми доступными методами и получить материалы для ответа на вопрос: — действительно ли здесь существует столь ярко выраженная шовная зона, какова ее динамика и не грозит ли она в будущем сильными землетрясениями с разрушительным эффектом на северном побережье Керченского полуострова?

Вообще же неотектоника позволяет уверенно говорить о наличии в Крыму элементов блокового строения как лейтмотива его современной тектоники. "В новейший этап тектонического развития резко выявилось блоковое строение Крыма и прилегающих акваторий... Анализ вновь полученного материала позволил подтвердить вывод о блоковом характере тектоники территории Крымского полуострова. В структуре Крыма и окружающей его полосы акватории хорошо устанавливается продольная тектоническая зональность, которая системой глубинных разломов разделяется на приподнятые и опущенные сегменты" [435, с. 73], и далее авторы предлагают схему сейсмического районирования Крыма.

Нельзя в этой связи пройти мимо работы С.А. Ушакова и соавторов [468], отметивших роль "пододвигания черноморской литосферы под Крым" и рассчитавших скорость пододвигания на пространстве между траверсами Ялты и Алушты за последние 107 лет в 0,1 см./год. С моей точки зрения эта концепция представляется маловероятной.

**Строение Черноморской впадины.** Тектонику Крымского полуострова нельзя рассматривать вне связи с вопросом о тектонике Черноморской впадины. Последняя представляет крупный структурный элемент Средиземноморского геосинклинального пояса (Тетиса). В тектоническом отношении она является громадной внутриматериковой депрессией, выполненной мощной толщей осадочных пород, и подразделяется на центральную, промежуточную и периферийную зоны. Центральная зона характеризуется сильно сокращенной мощностью земной коры (малой глубиной залегания раздела



Р и с. 7.7. Схема гравитационных аномалий Черного моря (по [425])

1 — аномалии повышенного уровня; 2 — региональные максимумы; 3 — наиболее интенсивные максимумы; 4 — экстремумы черноморского максимума; 5 — региональные минимумы; 6 — наиболее интенсивные минимумы; 7 — относительные минимумы; 8 — контур области отсутствия гранитного слоя в пределах впадины Черного моря

Мохоровичича) и отсутствием "гранитного" слоя, что позволяет отнести ее к структурам с субокеаническим типом земной коры. С центральной зоной связаны максимальные значения силы тяжести и максимальная мощность осадочного чехла (14–16 км). В промежуточной зоне появляется гранитный слой, мощность которого увеличивается в сторону материка. К периферийной зоне относится полоса континентального склона и шельфа, в пределах которых окраинные части материковых структур оказались вовлеченными в молодые опускания. Граница между материковым склоном и глубоководной впадиной проходит по изогипсе 1900–2000 м. Площадь, которой отвечает отсутствие "гранитного" слоя, показана на рис. 7.7 (по [425, с. 6]).

Предполагаемое отсутствие "гранитного" слоя и сокращение мощности "базальтового" сближает кору Черноморской впадины с корой океанического типа; большая же мощность осадочного комплекса (до 15 км) ближе отвечает коре континентального типа. Ссылаясь на исследования Б.К. Балавадзе [388] и С.И. Субботина [465], Т.С. Лебедев относит кору впадины к "промежуточному типу" [416, с. 79]. Смысл этого последнего типа коры остается не вполне ясным, но разнообразие конкретных природных условий, влияющих на развитие коры, вообще говоря, так велико, что реальность различного рода "промежуточных" форм коры оспаривать трудно. А.В. Чекунов предложил недавно для такого рода небольших, но в принципе океаноподобных впадин, лежащих в пределах платформ, термин "талассоиды" (1981 г.).

Субширотный разлом, проходящий в море параллельно берегу, недалеко от южного берега Крыма, отвечает в целом полосе континентального склона и, возможно, генетически связан с южной границей "гранитного" слоя, хотя и не полностью совпадает с ней, что подчеркивали еще А.Г. Гайнанов и его соавторы [394].

В статье [423, с. 540] отмечается, что "большинство из эпицентров, находящихся в пределах акватории, приурочено к нижней части склона", т.е. они приближены к границе "гранитного" слоя.

Происхождение и геологическая история Черноморской впадины — вопрос и до настоящего времени весьма дискуссионный и я его затрагивать не буду [405, 428, 464, 466, 476]. Отмечу только, что для возраста впадины даются удивительно разные цифры — от десятков тысяч лет до сотен миллионов лет.

Распльвчато описывается обстановка в сборнике [117]: "Акватория Черного моря носит гетерогенный характер — центральная впадина Черного моря возникла на месте палеозойских (и, быть может, более древних) массивов и разнородных складчатых структур, иногда очень молодых, и по отношению к ним является новообразованием" (с. 7). Не вносит ясности и следующее положение: "Мы приходим к выводу, что Черноморская глубоководная впадина представляет особый тип впадин, связанный с процессами, приводящими к особому ее геофизическому строению субокеанического типа" (с. 9).

Е.Е. Милановский [429] состояние вопроса резюмировал так: "Еще менее ясным является вопрос о природе Черноморской глубоководной впадины. Наиболее вероятным, с нашей точки зрения, является представление о ее центральной зоне как сохранившейся с ранних стадий существования пояса Тетиса области с тонкой субокеанического типа корой, испытывавшей длительное, но медленное опускание, приведшее к накоплению 8—15 км осадков" (с. 336).

**Грязевые сопки.** Довольно непростая схема строения Крыма дополняется наличием в восточной части полуострова многочисленных грязевых (газо-нефтяных) сопок, временами извергающихся, и диапировых структур на дне моря южнее Керченского полуострова. Извержения сопок сопровождаются легкими колебаниями почвы, т.е. своеобразными землетрясениями, но они мало изменяют основной сейсмический фон этой части полуострова [419, 424]. В.И. Китык и А.М. Плотников [409] называют диапировые складки дисгармоничными и не связывают с ними грязевые вулканы. Возраст складок в основном раннемиоценовый, точнее, чокрак и караган.

#### 7.4. ВОПРОСЫ ГЕОФИЗИКИ

**Строение земной коры.** Большое число работ по строению земной коры, рельефу ее подошвы с фиксацией глубинных разломов принадлежит В.Б. Соллогубу [461, 462 и др.]. См. также [199, 395, 436, 463].

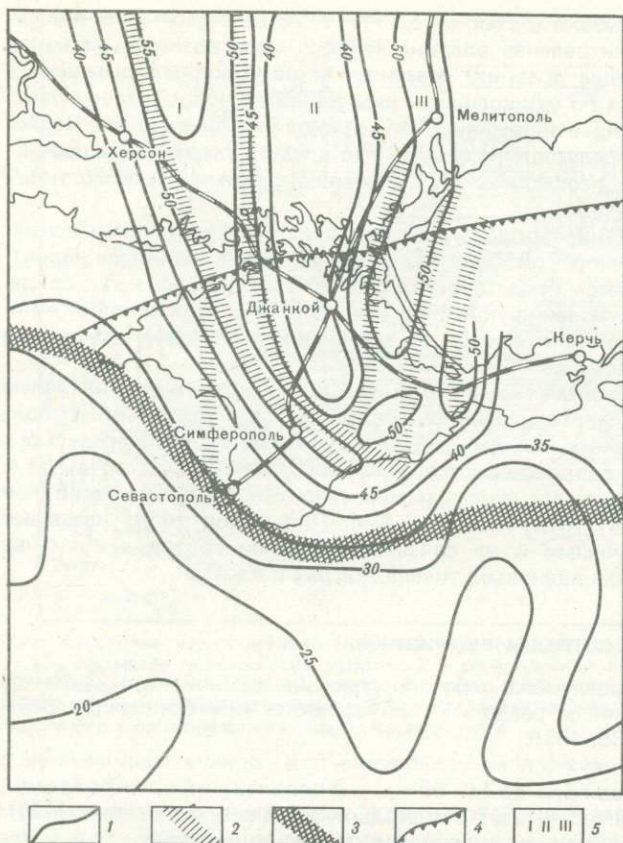
В строении коры уверенно отмечается ее углубление под горным сооружением с погружением поверхности Мохоровичича до 50—55 км и с появлением, таким образом, сиалического корня, как это обычно бывает в молодых складчатых системах [425]. Но наиболее яркой и, должен сказать, неожиданной оказалась здесь та особенность в строении коры, которая выражается в наличии северо-северо-западных или даже субмеридиональных простираний в рельефе Мохо, как это отчетливо установлено В.Б. Соллогубом и Н.В. Соллогуб [196, с. 189; 198, с. 81], рис. 7.8. Это поразительное открытие находит себе подтверждение в аналогичном расположении изолиний подошвы коры и севернее, в пределах смежных частей Русской плиты.

В сочетании с глубинными разломами это обстоятельство позволяет разделить территорию Крымского полуострова на ряд блоков (см. рис. 7.8), вытянутых в субмеридиональном направлении, с различным продвижением их южных "торцовых" частей к югу. Для нас это обстоятельство имеет особое значение, поскольку современные движения затронуты именно эти "торцовые" части, которые и несут на себе или вдоль своих границ основную часть эпицентров землетрясений.

**Глубинные разломы** представляют собой определенный интерес, хотя их сеть, судя по имеющимся данным, весьма сложна и противоречива. Приходится выбирать из множества вариантов наиболее достоверные. Довольно хорошо трассируются по геофизическим данным субмеридиональные разломы, приведенные на одной из последних схем [461]. К важнейшим из таких разломов относятся: Евпаторийско-Скадовский (Севастопольский или Западный); Салгирско-Октябрьский (Симферопольский или Центральный); Судакско-Кирилловский (Восточный); Корсаковско-Феодосийский; Жданово-Керченский (если он существует); еще восточнее — Анапский. Это поперечные, субмеридиональные, разломы. К продольным, субширотным, относятся: Южно-Крымский, Севастопольско-Краснокрымский, Каркинитский, Южно-Азовский. Линия Каркинитского разлома как шовной зоны, разделяющей Восточно-Европейскую и эпигерцинскую платформы, проводят в западном направлении иногда до Карпат [467].

Разломы, естественно, обусловлены существованием в регионе нескольких блоков, характеризующихся различной по толщине корой (от 37 до 58 км).

"К югу от Крымского полуострова картина совершенно иная. Толщина коры резко уменьшается, а поведение изогипс рассматриваемой поверхности (поверхности Мохо-



Р и с. 7.8. Рельеф поверхности Мохоровичича (по [196, 198]).

1 — изогипсы поверхности Мохоровичича; 2 — глубинные разломы; 3 — глубинный разлом, разделяющий зоны с тонкой и толстой корой; 4 — южная граница Восточно-Европейской платформы; 5 — тектонические блоки: I — Криворожско-Крупецкая раннепротерозойская геосинклиналь, II — Запорожско-Сумской срединный массив, III — Орехово-Павлоградская раннепротерозойская геосинклиналь

ровичича. — Г.Г.), становится субширотным. Зона сочленения между этими двумя типами земной коры представляет собой глубинный разлом, расположенный несколько южнее Крымского полуострова и простирающийся здесь примерно в широтном направлении" [462]. Я называю этот предполагаемый разлом Южно-Крымским. Западнее, по-видимому, этого разлома нет, хотя на некоторых схемах показывают субширотный "глубинный разлом", который якобы проходит от Севастополя к Добрудже, но поскольку его

возраст, кажется, рифейский, то к современной геодинамике он имеет отношение весьма отдаленное. О возможном "соединении" Крыма с Добруджей в третичное время говорится и в другой работе [433, с. 237], но с иной его трассой, именно по линии Добруджа—Тарханкутский вал. На рис. 7.9 показан поперечный (субмеридиональный разрез через Крым [196, с. 188; 198, атлас].

Одновременно нельзя не заметить, как уже отмечалось выше, что некоторые авторы слишком охотно обращаются к этому элементу тектоники, глубинному разлому, понимая его буквально, т.е. в качестве разрывной дислокации крупного масштаба, обладающей собственными геодинамическими особенностями, тогда как в действительности само существование и свойства такого "разрыва" определяются прежде всего тектонической жизнью блоков коры, которые "разрыв" окаймляют. Подобный, слишком непосредственный, акцент в понимании сущности и роли "глубинных разломов" можно обнаружить и в некоторых работах по Крыму, например в статье [449]. "Глубинный разлом" — некое синтетическое понятие, лучше всего отраженное в наименовании "шовная зона" или "зона повышенной мобильности коры", чем подчеркивается его значение как зоны разделения различных по своей геодинамике смежных блоков земной коры. Подобное понимание роли "глубинных разломов" (да и разломов иных рангов) может существенно уточнить представления о механизме очагов землетрясений.

Можно было бы надеяться на то, что разобраться в сложной и противоречивой картине разломной тектоники Крыма позволят космические снимки, т.е. фотографии Земли из космоса. Недавно такая работа выполнена большим коллективом специалистов, в том числе В.В. Козловым [382]. И вот что любопытно: схема геолого-структурного дешифрирования Крымского полуострова как в целом, так и по отдельным его частям (составлена С.В. Порошиным по результатам первой экспедиции 26.12.74—9.02.75) ничего общего не имеет со схемой размещения глубинных разломов, выделенных предыдущими исследователями. Даже основные, казалось бы, достаточно уверенно

установленные разломы, перечисленные выше, при дешифрировании космоснимков не "просвечивают", никакого отражения в схемах дешифрирования космических снимков не находят. Зато появляется множество других разломов, трассы которых покрывают сложной сетью всю поверхность полуострова. Как в этой ситуации отнестись к идее о глубинных разломах в Крыму вообще — идее, которая так популярна среди геофизиков, да и геологов, изучающих Крым? Думаю, что нужно проявить большую осторожность в оценке значения глубинных разломов. Можно принимать идею об их наличии, но лишь как граничных зон между разнопостроенными блоками коры и пока еще с далеко не установленной локализацией их трасс. Тем более рискованно априорно говорить о них как об источниках землетрясений.

**Геофизические поля.** Остановимся также кратко на характеристике геофизических полей.

Гравитационные аномалии во всех редукциях в Крыму и на площади прилежащих акваторий по абсолютному значению сравнительно невелики. Выделяются площади максимальных положительных значений ускорения силы тяжести в западной и восточной частях впадины Черного моря и меньшего значения — западнее Севастополя и в Горном Крыму (см. рис. 7.9) [425, с. 7]. Последнее обстоятельство оказывается весьма замечательным (ибо молодым эпигеосинклинальным орогенам альпийского возраста свойственны, как правило, отрицательные аномалии). Попытки объяснить этот факт, как обычно делается, влиянием высокоплотных пород, которые якобы залегают неглубоко под сооружениями Горного Крыма, вступают в противоречие с фактом наличия сиалического корня под горными частями полуострова. Имеются пути другого объяснения, "на основе эффекта сложения краевых аномалий" при условии изостатического равновесия коры [400, с. 11]. Еще ранее С.И. Субботин [465] отмечал, что главной причиной такой особенности поля тяжести служит "боковое" действие положительных избыточных масс зоны уплотнения подкорового вещества под глубоководной впадиной Черного моря. "Причиной второго порядка" И.С. Субботин считает гравитационный эффект зоны сочленения двух участков земной коры различного строения (эффект "береговых" аномалий). Еще одной возможной причиной он считает вероятное поднятие поверхности базальтового слоя под Горным Крымом. По нашему представлению, краевой ("береговой" по С.И. Субботину) эффект в сочетании с эффектом сложения краевых аномалий вполне объясняет основную причину происхождения гравитационного максимума под горами Крыма" [400, с. 12]. В этом изложении многое остается неясным, "основная причина происхождения гравитационного максимума" требует, по-видимому, дополнительных исследований и в особенности прямых расчетов.

Не многим яснее решают этот вопрос авторы [397].

Несколько определеннее выглядят выводы Т.С. Лебедева [416], который утверждает, что "исключительную по своей интенсивности в пределах альпийского складчатого пояса региональную положительную аномалию Крымских гор можно легко объяснить определенным соотношением глубин залегания основных горизонтов земной коры, характеризующихся соответствующими величинами средних плотностей" (с. 81). Каким именно "соотношением" — автор не поясняет, ограничиваясь ссылкой на статью [417]. Вопрос этот имеет некоторое отношение к проблеме сейсмичности, ибо высокие значения аномалий гравитационного поля и особенно высокие значения градиентов силы тяжести сопровождаются, как правило, повышением их сейсмической активности.

Что касается так называемых квазипериодических вариаций силы тяжести, которые отмечает в Крыму Г.Т. Собакарь [459], то полагаю, было бы преждевременным о них говорить.

В некоторых работах по Крыму используются приливные деформации Земли. Иногда для других регионов высказываются предположения о том, что периодические (полусуточные) приливы в твердом теле Земли и даже в веществе ядра Земли могут вызывать напряжения, достаточные для возбуждения сейсмических очагов. Для Крыма имеется описание тщательно выполненных измерений с помощью гравиметров, экстензометров, наклономеров [427] и констатировано, что некоторый эффект "приливного генезиса" существует (в том числе по трассам глубинных разломов), но что "эффект влияния разломов на приливную деформацию земной поверхности практически не сказывается на результатах наблюдения приливных вариаций силы тяжести", что "из-за отсутствия разработанной теории этого вопроса в настоящее время невозможно пред-

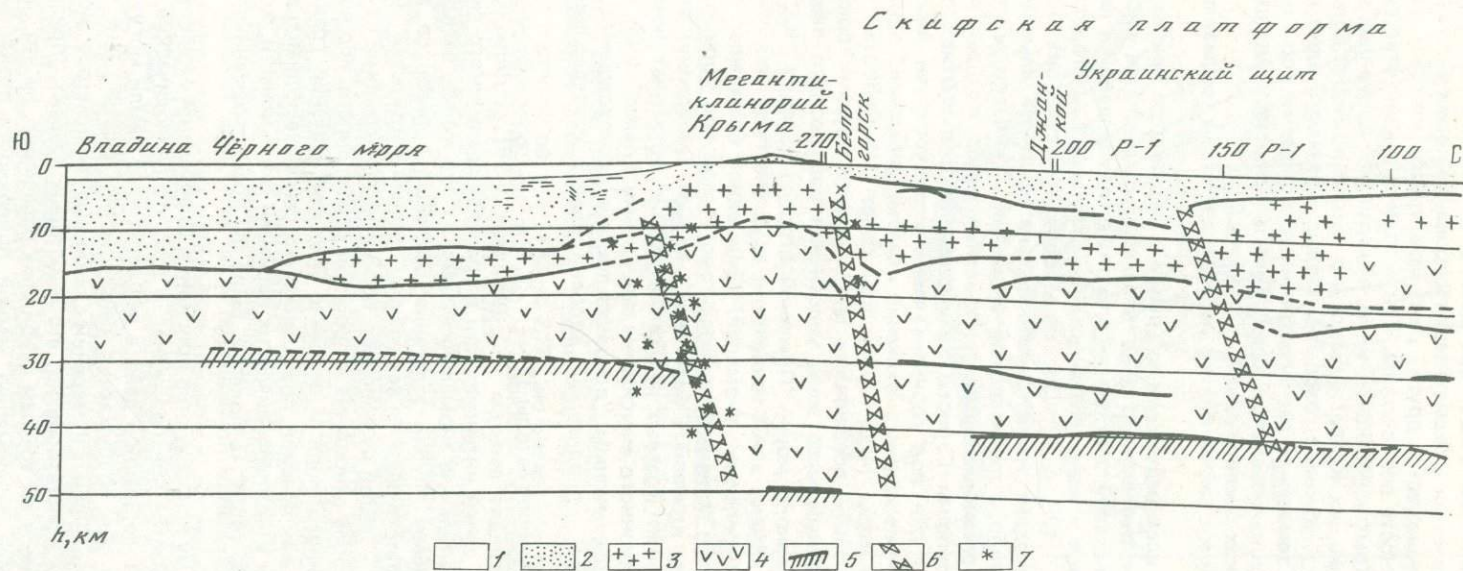


Рис. 7.9. Поперечный сейсмогеологический разрез вдоль меридионального пересечения Черное море—Воронежский массив (отношение масштабов 1 : 2; по [396], схематизировано)

1 — водный слой; 2 — осадочный слой; 3 — “гранитный” слой (местами включая метаморфические породы палеозойского и триасового, юрского возраста); 4 — “базальтовый” слой; 5 — поверхность Мохоровичича; 6 — глубинный разлом; 7 — очаги землетрясений

ставить в деталях механизм тектонического влияния" и что предположения на этот счет "нуждаются в тщательной проверке" (с. 89). К аналогичным выводам и результатам наклономерных измерений пришли И.И. Попов и Б.Г. Пустовитенко [441].

Что касается геомагнитного поля и его аномалий, то при рассмотрении вопросов сейсмичности они должны быть отнесены по своей природе к факторам пассивного значения; лишь в том случае, если магнитные аномалии оказываются как-то связанными с тектоникой, и особенно неотектоникой, они могут давать некоторую дополнительную информацию.

Поле магнитных аномалий  $\Delta T$  в пределах Крыма как по абсолютной величине аномалий, так и по их расположению маловыразительно, оставаясь в пределах первых десятков гамм; лишь в отдельных случаях величина аномалий возрастает. Один из таких участков расположен между Симферополем и Бахчисараем; причина высокого значения  $\Delta T$  и его градиентов (изменение от  $-200$  до  $+200$  единиц) здесь неясна. Другой участок расположен в море, к юго-востоку от Алушты; здесь аномалии  $\Delta T$  и  $\Delta t$  доходят до 400 условных единиц, локализуясь в узкой полосе юго-восточной ориентировки. Я склонен видеть в этом влиянии Симферопольского глубинного разлома, т.е. протягивать линию этого разлома от ЮБК далее на юго-восток, в море [394, с. 243].

Наконец, о тепловом потоке. Геотермические исследования в Крыму были недавно проведены Р.И. Кутас и В.В. Гордиенко [415]. Авторы составили карту распределения теплового потока, из которой следует, что "для Горного Крыма характерны пониженные тепловые потоки по сравнению со структурами Скифской плиты" (с. 77). Но имеющиеся данные характеризуют тепловое состояние земной коры Крымского полуострова лишь "в самых общих чертах", и "имеющегося материала недостаточно для построения кондиционных карт теплового потока, которые можно было бы использовать для комплексного истолкования всех геофизических и геологических материалов" (с. 78). Примерно таковы же выводы более ранней работы [418], правда, более определенно связывающие геотермические условия с сейсмичностью.

Действительно, абсолютные значения величины теплового потока невелики, наметить акую-то связь тепловых полей с тектоникой или сейсмичностью затруднительно, а те аномалии, которые обнаружены в некоторых местах, могут быть обусловлены какими-то экзогенными, даже антропогенными факторами, не имеющими отношения к тектонике. Напомню, что примерно к таким же выводам пришли Р.И. Кутас и В.В. Гордиенко для Карпат. Таким образом, "необходимы дальнейшие исследования теплового потока на этой территории, особенно в Горном Крыму и прилегающей части акватории Черного моря" [415, с. 78].

Напомню, что величина нормального теплового потока  $q$ , в размерности  $10^{-6}$  мкал/(см<sup>2</sup> · с), обычно колеблется в пределах 1,1–1,5 (от областей пониженного значения  $q = 0,7 \div 1,0$ , до областей повышенного значения  $q = 1,8 \div 3,0$ ). Для Горного Крыма значение  $q = 1,2$ , т.е. он охлажден, причем причина охлаждения остается неясной [180, с. 40]. На более новой схеме распределения теплового потока [797] также показано, что Горный Крым характеризуется значениями менее  $50 \text{ m Vm}^{-2}$ ; только восточнее Тарханкута зарегистрировано изолированное пятно  $> 80$  ед. Можно лишь отметить, что от Ялтинской очаговой области, для которой отмечены значения теплового потока  $> 60$  ед., такая же изолированная овальная площадь (с величиной теплового потока  $> 60$  ед.) протягивается к юго-юго-востоку, что можно с некоторой условностью считать указанием на продолжение Симферопольского глубинного разлома к юго-юго-востоку.

Напомню, что авторы главы 7 монографии [304, с. 58] отмечали малую эффективность геотермических данных как показателя степени сейсмической активности.

## 7.5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Элементы сейсмотектоники.** Геологическое строение Крыма, особенности тектонических движений (в том числе новейших и современных), геофизические поля полуострова и частично окружающих его акваторий изучены неплохо. И тем не менее общепринятой достоверной концепции хотя бы основных сейсмотектонических соотношений по Крыму до сих пор нет, может быть, по той причине, что все очаговые зоны землетрясений располагаются за пределами собственно полуострова на значительной глубине в коре под водами Черного моря; на суше, т.е. в пределах собственно полуострова, нет или почти нет ни одного эпицентра.

На ранних этапах истории изучения Крыма естествоиспытатели ограничивались sacramентальными фразами о том, что местные землетрясения связаны с тектоникой, т.е. с продолжающимся развитием тектонических структур Крыма.

Усилилось в геологии внимание к изучению внешних особенностей и происхождения рельефа, в том числе подводного, возникло понятие о континентальном склоне как форме структурного значения. Естественно, сейсмологи воспользовались этим понятием и основные очаги крымских землетрясений стали связывать с развитием этого самого склона.

Возникло в тектонике понятие о глубинных разломах, появились многочисленные варианты схем географического размещения трасс глубинных разломов — и сейсмологи не преминули воспользоваться этим понятием. Было высказано предположение о том, что группы сейсмических очагов ложатся не только на широтную зону главного глубинного разлома, южного, отвечающего континентальному склону, но что и поперечные субмеридионального простираения глубинные разломы вносят свой вклад в общий "концерт" сейсмических явлений, обуславливая концентрацию последних в зонах пересечения широтных и долготных глубинных разломов.

По мере развития геофизических исследований появились идеи о связи — в той или иной форме — землетрясений с особенностями гравитационного, магнитного, геотермического полей.

Большие трудности возникли при попытках увязать землетрясения со строением земной коры, с ее структурой и рельефом поверхности Мохоровичича, ибо многочисленные схемы строения подошвы коры были недостаточны и часто противоречили одна другой. Впрочем, еще сложнее в этом отношении было с вопросом о сетке глубинных разломов.

На сегодня нет окончательной, физически и геологически достоверной, модели очага и его возможных связей с геодинамическими процессами.

Глубина очагов крымских землетрясений позволяет утверждать, что почти все они приурочены к толще земной коры, концентрируясь на глубинах 10—40 км. Следовательно, прежде всего хотелось бы выяснить, не намечается ли какая-либо связь очагов со строением коры.

Обращаясь к последнему варианту строения коры (см. рис. 7.8) и учитывая распределение эпицентров землетрясений в регионе, мы думаем прежде всего обратить внимание на тот факт, что эпицентры в целом слагают субширотную полосу, расположенную южнее полуострова, между траверсами Анапы и Севастополя, и приуроченную к области перехода от трехслойной коры платформенного типа (массив собственно Крыма) к двухслойной коре талассоидного типа (впадина Черного моря).

Одним из геоморфологических элементов зоны перехода служит крутой, отлично выраженный континентальный склон; одним из тектонических элементов — предполагаемый Южно-Крымский субширотный глубинный разлом.

Другая особенность строения массива Крыма состоит в том, что массив этот, далеко выступающий к югу от основного тела Скифской плиты, серией крутых субмеридиональных глубинных разломов разбит на ряд блоков (обозначаемых индексами от А до Е или от I до V), южные торцовые части которых вблизи от переходной зоны, как клавиши фортепиано (термин А.В. Чекунова), испытывают наиболее значительные деформации, что естественно сопровождается появлением очагов землетрясений. Наличие блоков подчеркивается субмеридиональным расположением изолиний подошвы утолщенной коры (см. рис. 7.8).

В частности, это так называемые Криворожско-Крупецкая и Орехово-Павлоградская раннепротерозойские геосинклинали (по терминологии В.Б. Соллогуба и Н.В. Соллогуб). Не касаясь вопроса о правильности геологической интерпретации указанных участков, могу лишь подчеркнуть, что торцовая часть этого выступа достаточно отчетливо намечается по конфигурации изолиний 40, 45, 50 км; притом еще южнее, у южного глубинного разлома, изолинии рельефа Мохо сильно сгущаются и изгибаются. Именно здесь располагается основная масса очагов крымских землетрясений, в том числе и трех наиболее сильных: 26.06, 11.09 и 12.09.27 с  $M=6,0 \div 6,8$  (см. рис. 7.5), и, таким образом, появляется основание связывать группу важнейших очагов с указанным выше гетерогенным Криворожско-Павлоградским выступом утолщенной коры, с его южным "торцовым" концом, который, как "меч", занесен над Южным берегом Крыма и "врезается" в пределы впадины моря.

Некоторое подобие тому можно видеть в аналогичном, но меньших масштабов Феодосийском выступе; также доходящем до глубин в 50 км и обладающим торцовой частью в береговой зоне с крутым изгибом и сгущением изогипс рельефа Мохо; может быть, с этим дополнительным выступом связана восточная Феодосийская группа очагов землетрясений, а с южным, торцовым окончанием блока А — западная, Севастопольская группа очагов.

Напомним, что идею о тектонических блоках, которые характеризуют строение массива Крыма, предложили Б.Г. Пустовитенко и В.Б. Кульчицкий [447], основываясь на сейсмологических данных и подчеркивая роль поперечных субмеридиональных границ, разделяющих эти блоки. Аналогичную идею — о блоках — высказали на основании геологических соображений А.Ф. Щербаков с соавторами [476] и ряд других исследователей. Мы поддерживаем идею о большом значении для тектоники Крыма структур типа блоков; может быть, нужно найти более надежные критерии их выделения, теснее согласовать их со строением коры, но в принципе именно кора, т.е. строящие ее материальные массы — блоки, а не разрывы накапливают потенциальную энергию тектонических процессов и испускают ее в форме землетрясений. Разрывы лишь облегчают относительные перемещения блоков.

Итак, основное — это реальное существование в южной части Скифской плиты определенного, более или менее изолированного массива — Крымского полуострова (если южную границу плиты проводить по полосе континентального склона, т.е. включать в плиту всю зону шельфа северной части Черноморского бассейна), массива, разбитого, в свою очередь, на ряд субмеридиональных блоков (мы нумеруем их как I—VIII) с меняющейся от блока к блоку толщиной коры, с глубинными разломами или шовными зонами между блоками, со сравнительно высоко приподнятым и активным южным "торцовым" концом, особенно блока III (см. рис. 7.8).

Выделенные выше блоки можно бы именовать так: I — Тарханкут-Евпаторийский, II — Севастопольский, III — Симферопольско-Ялтинский, IV — Джанкойский, V — Арабатский, VI — Феодосийский, VII — Керченский, VIII — Таманский.

На рис. 7.8 совмещен ряд элементов геодинамики: изолинии подошвы коры (через 5 км), граница между "толстой" и "тонкой" корой (т.е. южная граница Скифской плиты в нашей интерпретации), южная граница Восточно-Европейской платформы (в интерпретации В.Б. Соллогуб и др.), трассы глубинных разломов, область интенсивных новейших вертикальных движений (Горный Крым), блоки I—VIII.

Опубликовано большое количество различных схем тектоники и глубинного строения Крыма.

Новейшие и современные движения, являясь как бы внешним показателем характера геодинамических процессов, затрагивающих более глубокие горизонты литосферы, в данном случае на первый взгляд противоречат тому, что следовало бы ожидать в условиях северо-западных простираний в коре: складчатые деформации в толщах мезозоя обладают не северо-западным, а северо-восточным простиранием (главная, "Первая" гряда Горного Крыма и другие гряды). Но, с другой стороны, следует обратить внимание на то, что наивысших амплитуд новейшие деформации достигают в той части, которая отвечает наиболее мощной коре, что в окрестностях Чатыр-Дага известны субмеридиональные простирания, что мощная трещина (также субмеридионального простирания) на горе Демерджи может трактоваться как сейсмодислокация, что пояс выходов таврической серии в окрестностях Симферополя далеко продвинуто на север по сравнению с соседними участками, что, наконец, сейсмологи, изучая так называемые динамические поля землетрясений Крыма, приходили к идее о субмеридиональных или северо-западных смещениях в очагах — так что, быть может, при внимательном рассмотрении всех деталей местной тектоники и обнаружатся более ясные их признаки сейсмогенного значения.

Неясным остается вопрос о потенциальной опасности в северной половине полуострова (Равнинный Крым). Там до сих пор не фиксированы эпицентры землетрясений; видимо, это не случайно, так как блоки здесь стабильны на протяжении всего кайнозоя.

*Керченский полуостров.* Южно-Крымская очаговая зона отходит на траверсе Керченского полуострова далеко к югу, где вертикальные положительные движения ослабляются и континентальный склон сильно выполаживается. Очаги землетрясений, которые в таких условиях возникают, обуславливают колебания на суше до 6 баллов (может быть, на самом побережье в редких случаях — до 7 баллов). Местные керчен-

ские очаги (связанные с землетрясениями весьма слабыми), если и реальны, то вряд ли могут изменить общий сейсмический фон.

Под вопросом остается сейсмическая характеристика структур Керченского пролива и Азовского побережья Керченского полуострова. Погружение коренных пород юры, мела к востоку от Горного Крыма и к западу от Кавказа, т.е. в направлении к Керченскому и Таманскому полуостровам, и особенно к Керченскому проливу (погружение, как правило, сопровождается снижением сейсмического потенциала), и большая мощность рыхлых кайнозойских отложений ( $P, N, Q$ ), способных амортизировать (ослаблять) поступающие из недр Земли колебания, заставляют думать, что Керченский полуостров нельзя считать сейсмоопасным. С другой стороны, случай сильного землетрясения в 63 г. до н.э. с эпицентром, возможно, где-то в Керченском проливе, а также наличие резкого контакта керченского блока с впадиной Азовского моря (может быть, даже глубинный новейший разлом большой амплитуды) настораживают, и не будет странным, если на северном побережье Керченского полуострова произойдет сильное землетрясение. Вероятность такого события невелика, но не исключается.

*Впадина Черного моря.* Эпицентры известных до настоящего времени землетрясений расположены на шельфе, окружающем впадину по всей периферии (за исключением участка между Крымом и Добруджей, где континентальный склон выражен нечетко, сильно выположен, и вряд ли здесь могут появиться сильные землетрясения).

Центральные части впадины характеризуются отсутствием "гранитного" слоя, сокращенной толщины "базальтового" и практически отсутствием эпицентров землетрясений (см. рис. 7.7).

Можно ли на основании изложенных выше соображений считать, что в Крыму не могут возникнуть землетрясения (с магнитудой 6, даже до 7) в других местах, кроме тех очаговых зон, которые уже "зарекомендовали" себя такими событиями в прошлом? К сожалению, твердого и ясного ответа на этот вопрос дать нельзя. Всюду к югу от полуострова неустойчивая, мобильная, переходная зона от "толстой" коры к "тонкой" контактирует с "торцовыми" концами блоков, слагающих полуостров. Если свои сейсмогенные способности один из них, именно III блок, в 1927 г. и позже показал достаточно наглядно, то нет оснований считать остальные блоки в этом отношении менее опасными, в особенности блоки II, V, VI; правда, амплитуда и контрастность новейших движений здесь меньше, но все же полной уверенности в невозможности возникновения очагов сильных землетрясений нет.

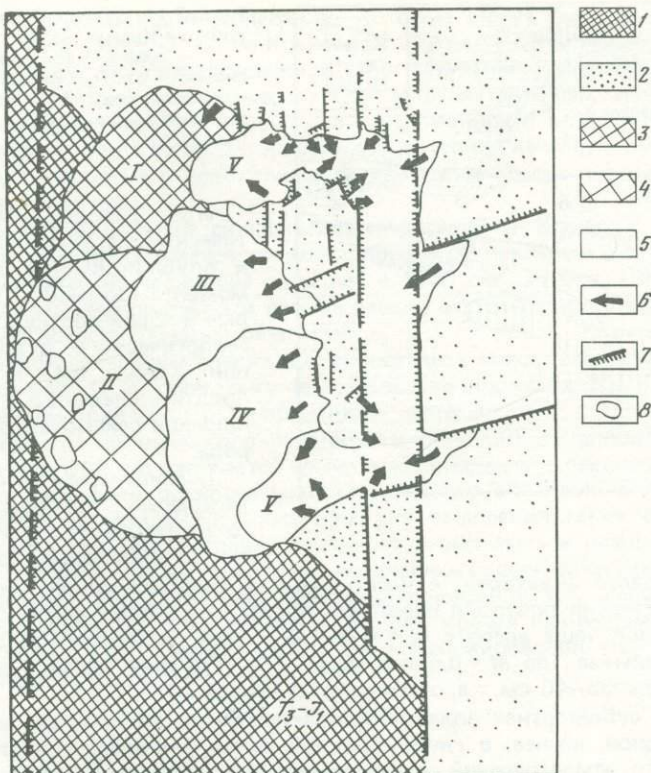
**Сейсмодислокации.** Интересной особенностью Крыма являются так называемые сейсмодислокации, которые фиксируются здесь в ряде мест по данным детальной геологической съемки, а также специальных исследований. Такие сейсмодислокации представлены трещинами, разрывами с признаками недавних перемещений по ним и т.п. Часть из них должна быть отнесена к нарушениям вторичного происхождения — обвалы, оползни и т.п., происходящие как от сотрясений почвы при землетрясениях, так и независимо от того. Но другая часть, несомненно, первичного, т.е. тектонического (или, вернее, сейсмотектонического) характера: таковы наклонные, поднятия или опускания массивов пород, складки и сместители разрывов, вышедшие на поверхность при землетрясениях, и другие деформации блоков, наблюдающиеся на площади проявления максимальной интенсивности колебаний при сильных землетрясениях.

Иногда к категории сейсмодислокаций относят кластические (нептунические) дайки, которые обнаружены в окрестностях Симферополя, Балаклавы и в некоторых других местах. Землетрясения прошлого могли, конечно, сопровождаться возникновением трещин, которые со временем заполнялись терригенным материалом и приобретали черты подобных кластических даек. Но их сейсмическое происхождение далеко не всегда очевидно; немало обнаруживается подобных даек и на платформах, которые обычно считаются асейсмичными.

Недавно А.А. Никонов<sup>1</sup> изучил древние оползни, имеющие широкое распространение в пределах ЮБК (близ Гурзуфа и Артека, у мыса Ай-Даниль и др.) и высказал мысль о том, что они "порождены землетрясениями".

Но в Крыму обнаружены и более эффектные и притом несомненно молодые дислокации. Одна из них обнаружена и изучена П.Н. Николаевым в 1976 г. в районе Алуш-

<sup>1</sup> См.: Природа, 1981, № 10.



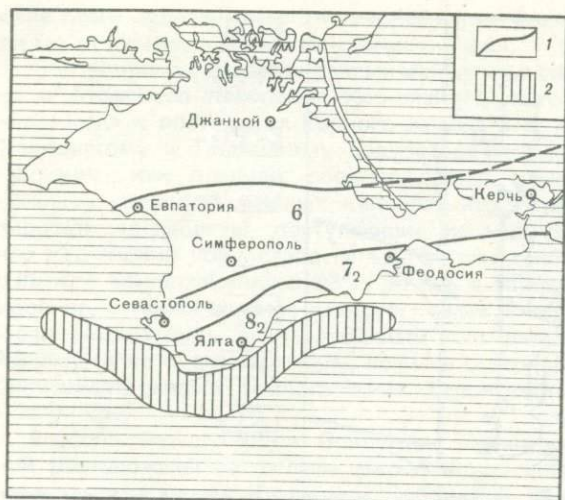
Р и с. 7.10. Схема сейсмодислокаций горы Демерджи (по П.Н. Николаеву, 1976 г.)

1 — выходы отложений таврической серии; 2 — выходы толщи средне-верхнеюрских отложений; 3 — наиболее древняя генерация обвальнo-осыпных отложений; 4 — средняя генерация обвальнo-осыпных отложений; 5 — наиболее молодые генерации обвальнo-осыпных отложений; 6 — основные направления поступления обломочного материала; 7 — главные сбросы (штрихи в сторону опущенного крыла); 8 — отдельные наиболее крупные глыбы

ты, на северо-западных склонах Демерджи-Яйлы (рис. 7.10). П.Н. Николаев полагает, что данная система нарушений возникла при землетрясении, что очаг последнего находился непосредственно под системой трещин и что интенсивность землетрясения, вызвавшего образование описанной сейсмодислокации, была не менее 10 баллов. Оценка интенсивности возможных землетрясений, сопровождавшихся сейсмодислокациями — вопрос трудный, но тем не менее приходится особенно внимательно рассматривать потенциальную сейсмическую опасность для таких районов, где отмечено присутствие сейсмодислокаций, в том числе и для района Алушты и вообще ЮБК.

Положение осложняется тем, что дислокация Демерджи, как сообщает П.Н. Николаев, приурочена к крупной зоне разлома, протягивающегося от г. Алушты через весь Горный Крым и доходящего до Сиваша в направлении на северо-запад, а также на юго-восток, в пределы Черного моря. Все это все же не исключает возможности того, что дислокация Демерджи окажется в конце концов просто "трещиной бокового отпора", как называют такого рода нарушения инженеры-геологи.

Что касается Керченского полуострова, то и там обнаруживаются такого типа нарушения различного характера, масштаба и конфигурации, и по крайней мере часть из них также, может быть, следует относить к категории сейсмодислокаций. Они были изучены И.В. Шукиной и Р.А. Яценко. Далеко не всегда их сейсмогенная природа очевидна, но обилие и разнообразие складчатых и разрывных деформаций в Восточном Крыму на фоне сплошного развития третичных отложений заставляет думать, что появление сейсмодислокаций здесь отнюдь не исключается.



Р и с. 7.11. Схема сейсмического районирования Крыма "СР-78" [304]

7 — границы зон нормативной интенсивности от 6 до 8 баллов с индексами сотрясаемости; 2 — зона возможного возникновения очагов землетрясений ( $M \geq 6,9$ )

Итак, учитывая имеющийся фактический материал по сейсмичности и опубликованные до последнего момента (до 1980 г.) довольно пестрые и порой противоречивые схемы геологического развития и строения Крыма, мы можем все же прийти к следующим выводам в отношении сейсмотектоники полуострова.

1. Эпицентры землетрясений протягиваются полосой субширотного направления от меридиана Анапы до меридиана Евпатории, рас-

полагаясь в пределах акватории, в нескольких километрах южнее береговой линии и до некоторой степени повторяя очертания последней. Сейсмические станции фиксируют землетрясения чаще всего с  $M = 4-5$  (не считая более слабых) и в отдельных случаях более сильные (до  $M = 6,5$  или даже  $7,0$ ). Глубина очагов, как правило, не выходит за пределы 35–40 км, т.е. очаги лежат в земной коре.

2. Фокальная субширотная зона располагается в той части коры, которая содержит гранитный слой, южнее, в глубоководной части Черноморской впадины, границы, а также очаги землетрясений, отсутствуют. Между обеими зонами проходит по видимому глубинный разлом (Южно-Крымский), северное, т.е. висячее крыло которого испытывает подъем (в том числе и в своей подводной части); очаги землетрясений относятся именно к северному крылу этого гипотетического разлома.

3. Горный Крым характеризуется наличием четко выраженных блоков коры, разделенных субмеридиональными разломами. Блоковое строение полуострова подчеркивается конфигурацией изолиний подошвы коры (с преобладанием субмеридиональных ориентировок). Очаги землетрясений концентрируются в южных торцовых частях блоков, в их подводной части. В наземной части эпицентров землетрясений практически нет.

4. Интенсивность колебаний в экстремальных случаях может достигать в пределах ЮБК 8 баллов (в отдельных случаях — до 9).

5. В целом по особенностям сложной и во многом еще неясной геологической истории, по строению, по геофизическим показателям, по рельефу, по местоположению в системе комплекса Русская плита — Черноморская впадина Крым представляет как совершенно уникальное, я бы сказал неожиданное природное явление, и неудивительно, что и в сейсмическом отношении он своеобразен.

**Сейсмическое районирование.** В заключение следует коснуться вопроса о сейсмическом районировании территории Крыма.

Первая карта ОСР для Крыма была подготовлена в 1937 г. [250]. Тогда же она была опубликована и принята Наркомхозом в качестве нормативного документа. К 1945–1946 гг. карта ОСР была несколько модернизирована и опубликована в работах [398, 399]. В 1968 г. появилась новая редакция карты [412]. К 1976 г. относится карта, предложенная П.С. Кармазиным [407]. Наконец, в монографии [304] опубликована карта А.Г. Каменобродского и соавторов [414], а также официальный вариант карты ОСР-78, в том числе для Крыма (рис. 7.11). Имеются и другие схемы ОСР для Крыма.

Все перечисленные карты основаны в той или иной степени на современном анализе сейсмологических, геологических, геофизических материалов и различаются между собой, пожалуй, лишь в деталях.

Что касается интенсивности колебаний, которые могут быть вызваны толчками, связанными со всей полосой Южно-Крымской очаговой зоны, то, учитывая возможную магнитуду будущих землетрясений и темп затухания колебаний с удалением от гипоцентров, практически на всех картах ОСР выделяется 8-балльная зона (по ЮБК) и расположенные севернее 7- и 6-балльные зоны. Вопрос о возможности 9-балльного эффекта на побережье между Ялтой и Алуштой до конца неясен, и лучше просто ограничиться предупреждением о необходимости учитывать особое положение этого участка на фоне 8-балльной зоны.

Вероятность возникновения сильных землетрясений в Крыму с очагами в Главной фокальной зоне определяется такими цифрами: 8-балльный эффект на ЮБК при  $M_{\max} = 16$  встречается не чаще, чем один раз в 1000 лет, 7-балльный — раз в 200 лет [47]. Легко понять, что цифры эти весьма далеки от точности, но они заставляют нас быть готовыми к встрече с такими событиями.

Трудно дать сравнительный анализ, т.е. сопоставить между собой все перечисленные выше варианты карт ОСР, поскольку землетрясения происходят в Крыму нечасто, и, таким образом, критерий "контроля практикой" отпадает.

Карта детального сейсмического районирования (ДСР) в принципе исходит из последнего варианта ОСР, но отличается от него добавлением к спецнагрузке знака, указывающего на несколько повышенную сейсмическую опасность в пределах той или иной зоны интенсивности ОСР. Критерием для выделения таких областей служили такие показатели, как концентрация новейших складчатых и разрывных нарушений, региональное развитие неблагоприятных инженерно-геологических особенностей, концентрация грязевых сопков, наличие сейсмодислокаций и т.п. Одна из первых карт детального сейсмического районирования по югу Крыма принадлежит И.И. Молодых и Г.В. Куликовой [430]. Первые схемы микрорайонирования МСР по ряду городов ЮБК составил Вас.В. Попов в 40-х годах.

## Глава 8

### СЕЙМОТЕКТОНИКА КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

#### 8.1. ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

В свое время И.В. Мушкетов считал, что в сравнении с другими частями России и смежных с нею территорий "Кавказ занимает первое место по относительному обилию землетрясений" [27, с. 33]. Но имеются и другие оценки. А.И. Михалевский: "В сейсмическом отношении Кавказ представляет собою область довольно частых и обширных землетрясений" [671, с. 151]; Г.К. Твалтвадзе и Г.Б. Карцивадзе: "Кавказ является одним из сейсмоактивных районов нашей страны" [756, с. 163]; Е.Е. Милановский: "Кавказская область принадлежит к числу территорий с довольно высокой сейсмической активностью" [668, с. 373]. Е.Е. Милановский и В.Е. Хаин констатируют: "Кавказ характеризуется по сравнению с некоторыми другими звеньями альпийской складчатой зоны Евразии относительно невысокой сейсмичностью" [669, с. 267].

Разногласия неувидительны: еще в 1939 г. Е.А. Розова была вынуждена сказать, что "район Кавказа в сейсмическом отношении совершенно не изучен" [720, с. 23]. Примерно то же подтвердил Е.И. Бюс в 1956 г.: "Вопрос о сейсмотектонике Кавказа еще не нашел своего разрешения" [534, с. 98].

Хотелось бы иметь, конечно, какую-то достаточно объективную оценку уровня сейсмической опасности. Такой попыткой явилось предложение С.Л. Соловьева использовать понятие о плотности сейсмической энергии в единицах эрг/(100 км<sup>2</sup> · 50 лет); оказалось, что Кавказ в этом отношении занимает восьмое место (плотность энергии  $2,5 \cdot 10^{18}$  ед.) после Камчатки, Курильских островов, Средней Азии, Карпат, Прибайкалья, Копетдага, Крыма [51, с. 109].

Мои вычисления величины удельной сейсмической мощности  $N_m$  за 1800—1980 гг. с учетом землетрясений с  $M \geq 5,0$  и при использовании соотношения  $\lg E_{Дж} = 4 + 1,6M$  дают в общем те же результаты (см. раздел 1.2).

Литература по региональной сейсмологии Кавказа чрезвычайно обширна. Нет ника-



Р и с. 8.1. Руины храма Звартноц (Армения), разрушенного землетрясением 972 (?) года. Современное состояние (фото Г.П. Горшкова)

кой возможности даже просто перечислить работы, в той или иной мере касающиеся землетрясений. Остановлюсь лишь на некоторых, затрагивающих собственно вопросы сейсмотектоники.

**Общий обзор материалов.** В каталогах, специальных изданиях и фондах геофизических учреждений Москвы, закавказских республик, Дагестана содержатся сведения о многих и многих землетрясениях, ощущавшихся на территории Кавказа. Исторические хроники Азербайджана, Армении, Грузии хранят многочисленные описания сейсмических происшествий.

Многие памятники материальной культуры, архитектурные сооружения многовековой давности несут признаки сейсмических испытаний. В 736 г. погиб город Мез, находившийся южнее Севанского озера; погибло 10 000 (?) человек, вся местность "была взрыта вверх дном" и с тех пор именуется Вайоцдзор, что значит "долина плача". В 893 г. разрушен город Двин, древняя столица Армении. 854, 858, 869, 893, 894 гг. — даты сильных землетрясений. В 972 г. погибли здания знаменитого храма Звартноц в Армении (рис. 8.1). А затем, уже в нашем тысячелетии, 1003, 1045, 1111, 1131, 1134, 1139, 1219, 1263 гг. — годы крупных сейсмических событий, уносивших иногда сотни человеческих жизней.

В 1319 г. разрушен город Ани — последняя столица древней Армении. В 1642 г. в г. Ване разрушены "половина городской стены, все церкви и мечети, а также множество других зданий, под развалинами которых погибло много людей"; в продолжение восьми дней вся страна колыхалась, "как корабль на волнах", а затем колебания повторялись через каждые четыре-пять дней (А.А. Ивановский, 1911 г.).

В Шемахе известно не менее десяти разрушительных землетрясений за время с середины XVII по начало XX в. И новейшая история приносит подобные сообщения в немалом количестве.

Некоторые авторы XIX столетия касались в своих произведениях в той или иной мере вопроса о землетрясениях: Н. Carloff, А. Perrey, Г. Абих, Цулукидзе и др.

К 1902 г. относится маленькая, но богатая историческими сведениями статья М.Г. Джанашвили с описанием землетрясений с 453 по 1780 г. на Кавказе. Как на красочный эпизод, со ссылкой на источник X в., автор указывает: "Когда шевелится кит

великий ("вешали"), который в океане, тогда он производит тряску всей земли так, что разваливаются горы массивные и скалы крепкие" [579, с. 321].

Отдельные сведения можно найти в публикациях Кавказского отдела Русского Географического Общества, в газетах (например, газета "Кавказ").

Большое значение имели "Бюллетени" и "Известия" Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии 1902—1924 гг. (ПЦСК); в них содержались сведения о многих землетрясениях Кавказа, в том числе о Шемахинском 1902 г., Тифлисском 1912 г. Замечательные списки землетрясений подготовил В.А. Степанян [751]. Тифлисская геологическая обсерватория была основана в конце прошлого века. Организованная при ней сейсмическая станция начала работу с декабря 1899 г.; в изданиях станции — "Ежемесячные сведения" о землетрясениях на Кавказе в 1900—1908 гг. за подписями С.П. Гласека, П.Э. Штеллинга, Э.Г. Розенталя, которые печатались и в других изданиях. Сейсмическая станция в Баку создана в 1906 г. Имеется заметка А.Я. Орлова о посещении им сейсмических станций Кавказа.

Результаты инструментальных наблюдений за сейсмическими явлениями на Кавказе служили содержанием различных специальных изданий. Последние часто меняли свои названия, и потому следить за историей этих публикаций довольно трудно. Назову лишь некоторые: Ежемесячный метеорологический бюллетень Тифлисской физической обсерватории (с 1898 г.); Ежемесячные сведения о землетрясениях, отмеченных тройным горизонтальным маятником Ребер—Элрета в Тифлисской физической обсерватории (с 1900 г.); Ежемесячный сейсмический бюллетень Тифлисской физической обсерватории (с 1903 г.); Отчет о деятельности сейсмической станции I разряда при Тифлисской физической обсерватории за 1910 г.; Еженедельный бюллетень Тифлисской сейсмической станции I разряда за 1912—1910 гг.; Еженедельный бюллетень сейсмической станции I разряда Товарищества братьев Нобель (с 1912 г.); Бюллетень погоды в Азербайджане (с 1925 г.); Месячный сейсмический бюллетень Геофизической обсерватории Грузии (с 1927 г.); Бюллетень Тбилисской сейсмической станции (с 1927 г.); Бюллетень региональных сейсмических станций Кавказа (с 1933 г.); Квартальный сейсмический бюллетень Центральной сейсмической станции Института физики и геофизики Тбилиси (с 1935 г.); Еженедельные бюллетени Тифлисской сейсмической станции (1912—1916 гг.); более поздние бюллетени сети сейсмических станций Кавказа, такие издания, как "системы сейсмических наблюдений в Кавказской зоне", множество специальных статей. Сейсмологический бюллетень Кавказа (1979, 1980 г.) содержит не только каталоги землетрясений (за 1976 и 1977 гг. соответственно), но и ряд статей по частным вопросам региональной сейсмологии. Аналогичные бюллетени выпускали Кавказский зональный центр Единой сейсмической службы наблюдений при Институте геофизики АН СССР, геофизические учреждения Азербайджана, Армении.

Обширная библиография относится к отдельным выдающимся землетрясениям: Ахалкалакское 1899 г., Шемахинское 1902 г. и другие Шемахинские, Горийское 1920 г., Ленинанское 1926 г., Зангезурское 1931 г., Ереванское 1937 г., Чхалтинское 1963 г., Дагестанское 1970 г. и др.

В 1933 г. при Грузинском филиале АН СССР был создан Геофизический институт (с 1950 г. — Институт геофизики АН ГССР), и с того времени начинается систематическая работа сети сейсмических станций с изданием соответствующих материалов. За первые шесть лет станциями было зарегистрировано до 3 тыс. подземных толчков, из которых более тысячи кавказские (в среднем более 150 в год), остальные — удаленные.

Имеется немало каталогов землетрясений; нельзя переоценить значение известных каталогов [4, 31]. Работа А.Д. Цхакая и В.Г. Папалашвили [774] является, в сущности, каталогом землетрясений Кавказа за 1951—1970 гг. Можно напомнить, что в первых двух выпусках известной "трилогии" Е.И. Бюса [530] список землетрясений охватывал время с начала эры до 1950 г. Книга [774] служит как бы продолжением каталога Е.И. Бюса.

Фундаментальное значение имеют ежегодные сборники сильных землетрясений СССР, в том числе Кавказа, издаваемые Институтом физики Земли АН СССР: сначала, за 1955—1963 гг., — в Известиях АН СССР, затем, за 1964—1978 гг., — в ежегодных сборниках "Землетрясения в СССР" (изд. 1964—1982 гг.); в подготовке материалов для этих сборников участвовали А.Х. Баграмян, В.Г. Папалашвили, З.З. Султанова и др.

В 1961 г. в г. Ленинакане создан Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР (ИГИС). Организованы геофизические учреждения в Ереване, Махачкале, Баку.

В настоящее время на Кавказе функционирует около 70 сейсмических станций — опорные, региональные, экспедиционные. С 1912 по 1976 г. станциями зафиксировано до 20 тыс. местных землетрясений.

Последние годы отличаются особым вниманием сейсмологов к дальнейшему развитию сейсмостатистических методов, к вопросу о глубинах очагов и энергии землетрясений, интенсивности последних, создаются системы классификации землетрясений, возникают работы в области сейсмотектоники.

На этом фоне особое значение следует придавать каталогу [31]. Этот каталог землетрясений отличается полнотой фактических сведений, единством методики обработки исходных данных, наличием указаний о точности всех параметров землетрясений. Значения  $M$ ,  $h$  и  $l_0$  даются здесь практически для всех землетрясений. Во всем последующем тексте я опирался в основном на данные этого каталога. По всей видимости, для Кавказа наиболее показательны землетрясения с  $M \geq 5$ , притом с 1800 г.; сведения о более древних событиях не всегда достаточно достоверны и полны. В сейсмоактивный "Кавказский регион" я включаю и смежные с советской территорией районы Турции и Ирана, именно до параллели (несколько формально)  $38^\circ$  с.ш. (рис. 8.2). Для значений магнитуды и глубины очага (да и для других параметров) я выбирал из тех значений, которые приведены в [31], средние цифры, полагая, что при массовом анализе и в геологических целях подобная "вольность" существенного значения иметь не будет. Дополнением к рис. 8.2 может служить эпикентральная карта, составленная М.А. Алексидзе и соавторами [489] с помощью ЭВМ.

Активно функционирует Кавказская региональная секция МСССС. В течение длительного времени обязанности председателя секции выполняли К.С. Завриев, затем А.Г. Назаров.

В послевоенное время созывалось немало совещаний (сессии, конференции, симпозиумы и т.п.) по вопросам сейсмичности, сейсмического районирования, сейсмостойкости и т.п. В качестве организаторов этих совещаний выступали в разное время МСССС и его комиссии, Региональная секция МСССС по Кавказу, Зональный (региональный) центр ЕССН, институты — ИФЗ АН СССР, Институт геофизики АН ГССР, ИСМИС АН ГССР, ИГИС АН АрмССР, Институт геологии АН АзССР, Институт геологии АН АрмССР, Институт геологии Дагестанского филиала АН СССР, Научный центр "Геофизика" АН АзССР, некоторые другие организации.

Как уже отмечалось, к нашему веку относятся исследования В.И. Бюса (1885—1969), Л.А. Варданянца (1963—1971), В.Н. Вебера (1871—1940), М.В. Гзовского (1919—1971), К.С. Завриева (1891—1978), А.Я. Левицкой (1889—1968), Д.И. Мушкетова (1883—1938), М.З. Нодиа (1891—1975), М.С. Рагимова (1935—1965), Н.В. Райко (1893—1942), Е.А. Розовой (1899—1971), М.М. Рубинштейна (1915—1978), Е.Ф. Саваренского (1911—1980), А.А. Сорского (1919—1967), Г.К. Твалтвадзе (1907—1970), А.Д. Цхакая (1902—1970), А.Л. Чураяна (1902—1972) и многих других сейсмологов.

Довольно полная библиография по вопросам сейсмичности Кавказа содержится в изданиях [4, 15, 31, 303, 304, 592, 681, 690]. Добавлю, что известный интерес для нас имеют и работы иностранных ученых по сейсмичности и сейсмотектонике северо-восточных районов Турции и северо-западных районов Ирана; в прошлом веке — Н. Kiefer, Н. Moritz, А. Perrey, Е. Retholm и др.; в нашем веке — N. Ambraseys, S. Abdalian, K. Ergin, I. Eshghi, M. Gou-Darzi, M. Ipek, A. Jhingran, P. Krzmarik, E. Lahn, K. Moazami, F. Moldenhauer, M. Nabavi, A. Nowroozi, F. Oswald, E. Rosenthal, A. Sheiddegger, A. Sinha, M. Stahl.

Я не предполагаю рассматривать такие вопросы, как вопрос о сейсмических волнах, путях их распространения, методах изучения и интерпретации сейсмограмм, о физической природе упругих колебаний. Не рассматриваются вопросы о сейсмической аппаратуре, о годографах, используемых на Кавказе. Литература по этим физическим по своей сути вопросам велика, но находится вне компетенции сейсмотектоники.

**Ранние этапы (1900—1940 гг.).** В развитии сейсмогеологических знаний для Кавказа особое место занимают разнообразные сейсмические карты — и первоначальные, и более новые, но всегда так или иначе отражающие сейсмическую обстановку в регионе в целом.

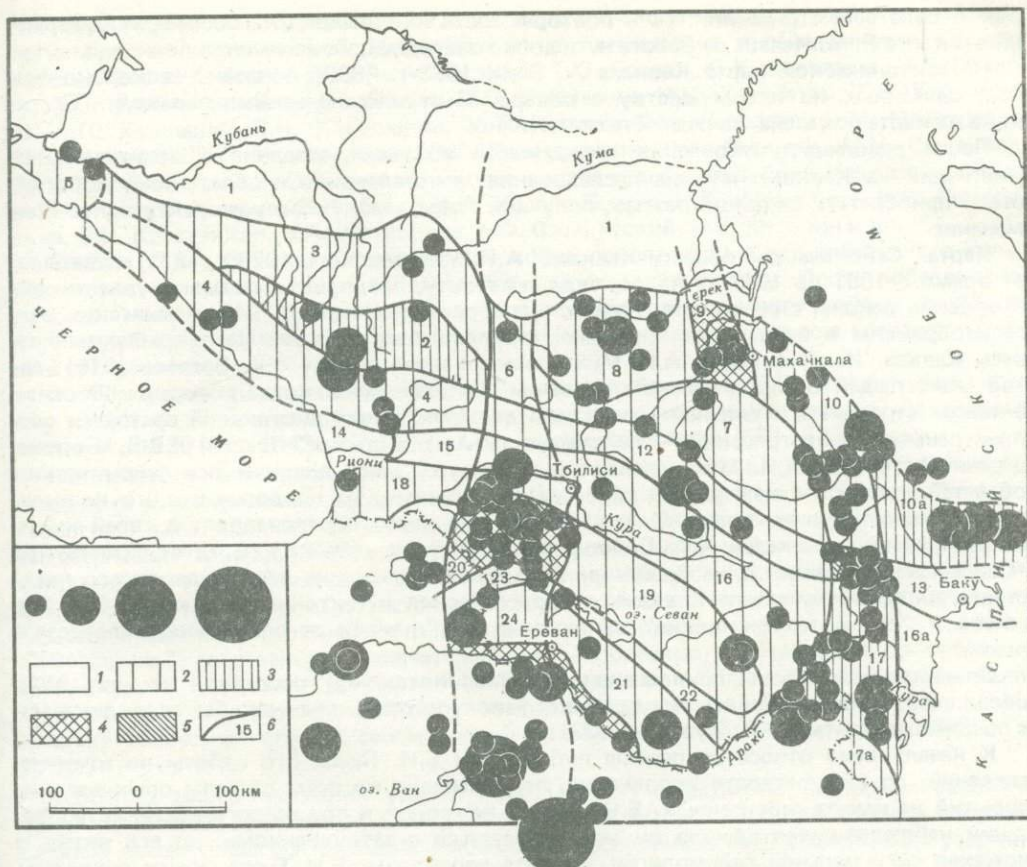


Рис. 8.2. Карта эпицентров сильных ( $M \geq 5,0$ ) землетрясений Кавказского региона по данным [31]

Значения  $N_T$  в единицах  $10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup>.год): 1 < 1; 2 — 1–100; 3 — 100–500; 4 — 500–1000; 5 — 1000–2000; 6 — номера сейсмотектонических зон

Первая сводная карта "Распространение некоторых землетрясений на Кавказе" была приложена к известному "Каталогу землетрясений..." И.В. Мушкетова и А.П. Орлова 1893 г. [27]. На карте показаны границы распространения наиболее крупных землетрясений и районы, к которым последние приурочены. Карта, составленная в мелком масштабе, лишь в самых общих чертах отражает сейсмическую обстановку на Кавказе; тем не менее монография, каталог и карта как первые произведения такого рода с подробным описанием внешнего эффекта известных к концу XIX в. землетрясений представляют интерес и будут сохранять свою ценность долго, несмотря на чисто описательный характер сведений.

"Сейсмическая карта Кавказа" F. Montessus de Ballore, 1906 г. [812] содержит сведения о количестве зарегистрированных землетрясений для отдельных населенных пунктов. Наибольшая сейсмическая активность оказывается приуроченной к крупным населенным пунктам, которые дают, естественно, наибольшее количество сведений. В то же время из сельских районов, даже если они расположены близ эпицентра, часто не бывает сведений об испытанных подземных толчках. Таким образом, карта F. Montessus de Ballore, как и любая карта подобного рода, может быть принята лишь с известными оговорками, тем более, что ряд важных фактов остался автору неизвестным, например сильные землетрясения 1830, 1842, 1871, 1887 гг. и др.

"Сейсмическая карта Кавказа" Э. Розенталя 1910 г. [821] охватывает весьма ограниченный промежуток времени, всего 11 лет (с 1898 по 1908 г.), но дает сведения

как о силе землетрясений, так и повторяемости их. Она близка по своему содержанию к карте F. Mentessus de Ballore и, подобно последней, не отличается полнотой.

На тектонической карте Кавказа А. Stahl 1933 г. [830] показано несколько очагов, связанных по преимуществу с поперечными тектоническими линиями. Тектоника на карте показана на редкость схематично.

После революции, окончания гражданской войны и создания социалистических республик на Кавказе научные исследования, в том числе и в области сейсмологии, стали приобретать широкий размах, получили теоретическую базу и практическое применение.

Карта "Сейсмические области Кавказа" А.И. Михалевского 1926 г. [671] охватывает время с 1891 по 1917 г. Автор, судя по тексту, предпринял попытку увязать сейсмические районы с геолого-тектоническим строением Кавказа. 24 сейсмических очага изображены в виде более или менее крупных овалов, которые покрывают почти весь Кавказ. Именно карту А.И. Михалевского имел в виду В.В. Богачев [516], автор монографии о геологическом строении Азербайджана, когда говорил: "В связи с таким строением и сильным развитием дизъюнктивных дислокаций состоит и распространение землетрясений — сейсмичность Азербайджана" (с. 15); В.В. Богачев перечисляет очаги А.И. Михалевского и замечает: "...все длинные оси сейсмических областей совпадают как раз со сбросовыми линиями, то продольными, то поперечными к простиранию складок" (с. 17). Эту же карту воспроизводят в своей книге по географии Закавказья А.Ф. Ляйстер и Г.Ф. Чурсин (1929 г.). Следует сказать, что "Сейсмические очаги" в изображении А.И. Михалевского не дают правильного представления о сейсмичности Кавказа, а геологическая и тектоническая карты В.В. Богачева и "сейсмотектонические" заключения еще далеки от современных представлений.

Оригинальные работы принадлежат Н.В. Малиновскому; последняя из них [651] посвящена землетрясениям Апшеронского полуострова, она как бы перекликается с позднейшей статьей Ф.Т. Кулиева [632].

К началу века относятся первые публикации Е.И. Бюса. Его работы по точности сведений, по аккуратности исполнения, по вниманию ко всем деталям описываемых событий не имеют себе равных. Е.И. Бюс — не геолог, и при геологической интерпретации наблюдавшихся фактов он мог встречаться с затруднениями, но его вклад в историю региональной сейсмологии Кавказа неоспорим. Е.И. Бюса можно с полным правом считать основоположником сейсмологии на Кавказе. Его работы печатались и в 40-х, и в 50-х, и в 60-х годах, охватывая самые различные аспекты региональной сейсмологии. Е.И. Бюс опубликовал много сейсмических, различных по содержанию карт. Не раз затрагивал Е.И. Бюс и историю сейсмологических исследований на Кавказе.

"Карта землетрясений Кавказа" А.В. Вознесенского 1931 г. осталась, по-видимому, неопубликованной. В основу ее положен принцип показания наибольшей силы подземного толчка, наблюдавшегося в каждом данном пункте; другими словами, это, по современной терминологии, — сейсмостатическая карта или карта максимальной наблюдаемой интенсивности. Будучи рукописной, карта эта не может считаться проработанной окончательно.

"Сейсмотектоническая карта Армении и Кавказа" А. Sieberg [829] дана в виде схемы масштаба около 1:10 000 000. Это вторая после А. Штала попытка сопоставления сейсмических и тектонических элементов для Кавказа. К сожалению, карта дана в очень мелком масштабе и не свободна от неточностей.

К 30-м годам относятся исследования Е.А. Розовой — во многом пионерские, например ее попытки определения глубины очагов землетрясений [721].

В конце 30-х годов заканчивается определенный этап в развитии региональной сейсмологии и сейсмотектоники — этап накопления фактических сведений, разработки первоначальных методических приемов, выбора организационных форм исследований, определения главных научных направлений и путей практического применения результатов.

Картирование сейсмических явлений не исчерпывает, разумеется, всех задач, которые связаны с изучением землетрясений. Последние полвека дали много интересных и существенных исследований, затрагивающих самые различные стороны теоретической и региональной сейсмологии и сейсмотектоники. Хотелось бы назвать мно-

гих ученых, внесших достойный вклад в дело изучения землетрясений Кавказа, геологической и геофизической обстановки их возникновения и сейсмичности Кавказа вообще. Это М.Г. Агабеков, Р.А. Агамирзоев, Т.О. Бабаян, Б.К. Балавадзе, О.Д. Гоцадзе, С.С. Дарбинян, Э.А. Джибладзе, М.С. Иоселиани, Н.К. Карапетян, Г.Е. Карцивадзе, В.П. Кузнецов, Л.В. Когошвили, Ф.Т. Кулиев, Т.М. Лебедева, О.М. Майсурадзе, А.Г. Назаров, Ш.Г. Напетваридзе, В.Г. Папалашвили, С.А. Пирузян, М.Н. Смирнова, Д.И. Сихарулидзе, З.З. Султанова и многие другие ученые республик Кавказа; в Москве — это И.В. Ананьин, В.И. Бунэ, В.И. Кейлис-Борок, И.В. Кириллова, Н.В. Кондорская, В.Н. Крестников, В.А. Растворова, Е.Ф. Саваренский, Н.В. Шебалин и др.

**40—60-е годы.** Великая Отечественная война приостановила эти работы. Все силы, людские и материальные, республики Кавказа отдавали фронту. После победоносного окончания войны и первых лет восстановления разрушенного войной хозяйства научная работа в области сейсмологии была широко развернута, в том числе и в Союзных республиках.

К послевоенному периоду относятся главные публикации Е.И. Бюса, в том числе его известная трилогия, представляющая описание всех землетрясений Закавказья за время с 1139 г. по 1943 г. [530], а также множество статей [531—534] и др.

Невозможно перечислить темы, которые затрагивал в своих исследованиях Е.И. Бюс: география землетрясений, распределение эпицентров, повторяемость толчков, "микрореология" и ее влияние на интенсивность сотрясений, описание отдельных случаев землетрясений, вопрос о предвестниках землетрясений, о сейсмическом районировании, о сейсмичности Тбилиси, о "роях" землетрясений, об энергии землетрясений и т.п. Е.И. Бюс действительно был знатоком истории сейсмологических исследований на Кавказе и сам был активным участником этой истории.

Столь же существенны и значительны многообразные исследования по вопросам сейсмичности Кавказа А.Д. Цхакая. Ему принадлежит большое число публикаций. В их числе статья о развитии сейсмологических исследований в Грузии за 50 лет [751], а также ежегодные обзоры сейсмической активности за различные годы (1957 г. и позже).

Особенно много внимания уделял А.Д. Цхакая, естественно, вопросам сейсмичности территории Грузинской СССР, оперативно и охотно откликаясь на все текущие запросы развивающегося народного хозяйства республики. А.Д. Цхакая был участником многих сейсмологических экспедиций, экспертиз, на месте исследуя все особенности проявления сейсмических сил и участвуя в выработке антисейсмических мероприятий. Сейсмогеография Закавказья и особенно Грузии была специальностью всей научной жизни А.Д. Цхакая, подлинного энтузиаста нашей науки.

Большое число работ по сейсмичности Кавказа принадлежит В.Г. Папалашвили, а также ему в соавторстве с другими товарищами.

Следует отметить большое значение работ Б.К. Балавадзе, а также Г.К. Твалтвадзе по вопросам строения земной коры на Кавказе, многие из таких работ прямо затрагивают вопросы сейсмичности.

Н.К. Карапетян предприняла попытку приложить к кавказским материалам теоретические идеи М.В. Гзовского. У Н.К. Карапетян имеется много других весьма широкого диапазона сейсмологических интересов [600—604].

Начало исследовательской деятельности И.В. Кирилловой относится к 50-м годам и в дальнейшем связано в основном с Кавказом; одна из ранних работ касается вопросов сейсмичности Ахалкалакского нагорья [612] — вопрос, которому посвящали свои работы многие исследователи.

Е.Ф. Саваренский [733] дал "Карту эпицентров сильных землетрясений Кавказа" за период 1912—1959 гг. На карте нет никаких лишних деталей, она предельно проста, "читабельна" и достаточно рельефно отражает основные особенности распределения землетрясений прошлого.

З.З. Султанова [752] опубликовала небольшую книгу о землетрясениях Азербайджана. Это, в сущности, каталог землетрясений за время с 1139 по 1965 г. Вообще говоря, для территории Азербайджана имеется меньше специальных публикаций (по вопросам сейсмичности), чем по другим республикам Кавказа, а потому каждая работа по азербайджанским землетрясениям представляет особый интерес, в том числе и просто списки землетрясений.

В целом для 50-х и 60-х годов характерно постепенное расширение тематики исследований в области региональной сейсмологии и большое внимание к таким направлениям исследований, как картирование землетрясений, определение координат эпицентров и составление соответствующих карт, начальные работы по статистическому анализу; разрабатывается методика определения глубины очагов; возникает понятие, получившее позже наименование макросейсмического поля; имеются примеры сейсмотектонического анализа. Естественно, развиваются работы и в области сейсмического районирования и сейсмостойкого строительства.

## 8.2. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СЕЙМОТЕКТОНИКЕ

Сейсмогеология Кавказа, т.е. та часть исследований по сейсмологии, которая направлена на выяснение геологических условий возникновения землетрясений, уже имеет свою историю. Остановлюсь вкратце на основных работах.

**30-е годы.** Заметный след в изучении землетрясений Кавказа оставили работы Л.А.Варданянца. Первой попыткой сопоставления сейсмических и тектонических сведений оказалась одна из первоначальных карт Л.А. Варданянца 1933 г. [113, с. 659]. Правда, тектоника получила здесь отображение слишком лаконичное, сейсмическая сторона карты также весьма схематична. Карта отражает сейсмотектонические закономерности лишь в самом первом приближении.

Особое значение имела монография Л.А. Варданянца [546], в которой автор дал общую характеристику основных структурных комплексов и в подробностях (пожалуй, не всегда полностью оправданных) рассматривает вопросы сейсмогеологии и сейсмогеологии Кавказа. В заключение дается "Карта вероятных сейсмических очагов" — первая карта подобного рода. Предполагается, что сотрясение некоторой максимальной силы, ощущавшееся в данном пункте, может рассматриваться, хотя бы условно, как самостоятельное землетрясение, интенсивность которого должна затухать по мере удаления от данного пункта. Для изолированных пунктов наблюдавшаяся в них максимальная интенсивность сотрясения относилась к кругу с диаметром в 5 км; этот круг соответствовал, следовательно, эпицентральной области условного землетрясения. Таким путем была получена "Карта вероятных сейсмических очагов", "доказавших" свою активность за предыдущие 200 лет, до 1932 г.

Как понимать термин Л.А. Варданянца "вероятные сейсмические очаги"? Можно ли думать, что сейсмическая хроника, даже за много десятилетий, исчерпывает все возможные очаги и других не будет? Без сомнения, многие землетрясения будущего произойдут в местах, предугазанных картой Л.А. Варданянца, но еще большее их количество попадет на новые районы, которые не вошли в число уже фиксированных "вероятных очагов". Таким образом, карта Л.А. Варданянца близка по своему содержанию к так называемым сейсмостатическим картам.

К сожалению, далеко не всегда конкретные связи сейсмотектонического характера, с легкостью устанавливаемые Л.А. Варданянцем для всех "вероятных" очагов, достаточно реальны. Л.А. Варданянц выделил несколько типов очагов: очаги, совпадающие с пунктами, где пересекаются линии молодых поднятий и погружений; очаги, приуроченные к местам пересечения поперечных и продольных дислокаций, осложняющих основную структуру; очаги тех мест, где разломы заканчиваются (затухают) или где начинается оживление старых разломов; очаги тех районов, где две дизъюнктивные зоны, затухающие в разные стороны, кулисообразно перекрывают одна другую; очаги, расположенные в местах пересечения древних и молодых дислокационных зон; очаги грязевых вулканов (с. 61—62). В чисто географическом смысле связь эпицентров с определенными структурами устанавливается, вероятно, с достоверностью, но отсюда еще нет прямого пути до утверждения генетической связи гипоцентров, очагов, т.е. источников колебаний с теми же структурами. Кроме того, структуры мы видим на поверхности, очаги же лежат на глубине, порой значительной. Более того, даже и при наличии такой связи следует иметь в виду, что сами структуры являются деталью более крупных тектонических комплексов, являются следствием тектонических движений регионального масштаба. Между тем за пестротой устанавливаемых связей, многообразием их отходит на задний план общий принцип, основные сейсмотектонические идеи. Отсюда возникают известные трудности при оценке потенциальной сейсмической активности структур, еще не проявивших себя землетрясениями.

Даже в кратком обзоре развития сейсмогеологических исследований на Кавказе нельзя пройти мимо учебника "Физическая геология" Д.И. Мушкетова и И.В. Мушкетова [113]. В этом фундаментальном труде вопросу о землетрясениях посвящено более 200 страниц — больше по объему, чем во многих специальных монографиях. Большое внимание уделяется и землетрясениям Кавказа, многие из которых И.В. Мушкетов изучал лично; в том числе Ахалкалакское 1899 г. Авторы книги упоминают о работах по Кавказу Г. Абиха, В.Н. Вебера, А.П. Герасимова, П.И. Богдановича, описывают отдельные землетрясения, рассматривают вопросы сейсмометрии, способы определения координат эпицентров, глубины очагов, распределения интенсивности и т.п. Приводят упомянутую выше "Сейсмотектоническую карту Кавказа" Л.А. Варданянца. Всюду авторы подчеркивают связь землетрясений с тектоническими процессами.

40-е годы. Большой интерес представляют работы К.Н. Паффенгольца [694, 695 и др.] по вопросам сейсмотектоники Закавказья. Автор выделяет в пределах Малого Кавказа ряд крупных структурных комплексов: Аджаро-Триалетскую складчатую зону, характерную интенсивной складчатостью и крупными продольными разрывами в меловых и третичных толщах с соответственно деятельными сейсмическими очагами; Сомхето-Ганджинскую полого-складчатую зону, сложенную преимущественно юрскими и меловыми породами — здесь землетрясений меньше и они слабее; складчатую зону Армении, заключенную между Мровдагским надвигом на севере и Даралагезским на юге — здесь развиты преимущественно вулканогенные и отчасти известняковые толщи юры, верхнего мела, эоцена и олигоцена, а также ультраосновные интрузии (офиолитовый пояс Армении), породы интенсивно измяты. Наконец, выделяется Нахичеванская складчатая зона, располагающаяся по левобережью Аракса; в ее состав входят средне- и верхнепалеозойские, а также триасовые отложения геосинклинальных фаций, а затем различные члены юрских, меловых и палеогеновых отложений. Общее для всей зоны центральной Армении поднятие в неогеновое и четвертичное время сопровождалось по южному краю этой зоны, по долине Аракса, образованием продольного прогиба. Обе последние зоны характеризуются наличием высокоактивных сейсмических очагов.

В работе [695] указывается, что "все вероятные сейсмические очаги приурочены в большинстве случаев к тем или иным тектоническим структурам и линиям", причем можно выделить два типа очагов: очаги, совпадающие с крупными разрывами — границами геотектонических комплексов, и очаги, приуроченные к более или менее сложным структурам, располагающимся внутри геотектонических комплексов. В заключение автор пишет: "Все землетрясения обусловлены эпейрогенезом, заканчивающимся формированием горного сооружения Малого Кавказа; при этом различные участки его испытывают, естественно, колебания разного знака, но преобладают, видимо, все же поднятия" (с. 92). В соответствии с общей картиной распределения геоструктурных элементов автором составлена карта сейсмического районирования Малого Кавказа.

Существенной особенностью построений К.Н. Паффенгольца является подчеркнутое внимание к общим условиям возникновения сейсмических сил без выделения особых изолированных очагов и без излишнего в данном масштабе внимания к деталям. Думаю, что это правильный подход к решению сейсмогеологических задач. Правда, несколько спорным представляется вывод о сейсмогенетическом значении эпейрогенеза, главным образом потому, что неясно, как нужно понимать этот последний термин. Если под ним подразумеваются вертикальные достаточно интенсивные и дифференцированные подвижки, то действительно землетрясения можно отнести на счет подобных движений. При обычном же истолковании процесса эпейрогенеза его сейсмогенетические возможности весьма ограничены.

Отличительной особенностью карты К.Н. Паффенгольца является смелое решение автором вопроса о размещении сейсмических зон в том смысле, что последние изображены на карте в виде широких полос, покрывающих с тем или иным показателем интенсивности будущих сотрясений всю территорию Малого Кавказа. Это уже попытка прогноза в отношении сейсмогеографии, т.е. в принципе карта сейсмического районирования близка к современной интерпретации подобных карт. Замечу, кстати, что первой картой сейсмического районирования оказалась карта Кавказа 1937 г., вошедшая как один из фрагментов в официальную карту сейсмического районирования СССР того времени [249, 250].

М.М. Рубинштейн также разрабатывал проблемы сейсмотектоники. В статье [722]

автор в кратком виде рассмотрел проблему сейсмичности Грузии в связи с геологическим строением ее территории. Автор выделил четыре основные геотектонические зоны: две "глыбы", Грузинскую и Сомхитскую, и две "складчатые системы", Большой Кавказ и Триалеты (что было, впрочем, намечено еще В.П. Ренгартеном [716]), и охарактеризовал сейсмичность каждой из них. Оказалось, что на долю Сомхитской глыбы приходится почти половина всех землетрясений Грузии; далее следует складчатая система Большого Кавказа — около 1/4 всех землетрясений, несколько меньше — Аджаро-Триалетская складчатая система и около 10% остается для Грузинской глыбы. Ясно, что в таком распределении землетрясений сильно сказывается неполнота и неточность статистики прошлого.

Далее отмечается, что "подавляющее количество землетрясений Грузии приурочено к меридиональной полосе, заключенной между 43° и 45° восточной долготы" (с. 148), где Сирийский выступ Гондваны и Русская платформа максимально сближены, возникли расколы (меридионального простираения) и ряд центров четвертичных лавовых излияний Ахалкалакского (Джавахетского) нагорья. Не случайно, что на том же меридиане расположен Дзирульский кристаллический массив, а также не случайно, что изосейсты ряда сильных землетрясений вытягиваются в меридиональном направлении: в этом сказывается наличие так называемого Транскавказского поперечного линейного элемента. Автор рассматривает конкретные связи землетрясений с тектоникой, отмечая, в частности, роль граничных участков Аджаро-Триалетской складчатой зоны с Колхидской впадиной. М.М. Рубинштейн не выходит за рамки фактов, не углубляется в излишние детали, сохраняя тот уровень выводов, который обеспечивается реальными данными. В этом отношении небольшая статья [722] выгодно отличается от многих иных попыток поиска сейсмотектонических связей.

50-е годы. В более поздней статье [722] М.М. Рубинштейн затрагивает иные аспекты сейсмогеологии. Прежде всего автор вновь подтверждает тот факт, что "большая часть эпицентров закавказских землетрясений приурочена к меридиональной полосе между 43° и 45° в.д." и что "именно к этой меридиональной области приурочены максимальное воздымание Главного Кавказского хребта и выходы на поверхность древнего кристаллического субстрата в виде Дзирульского, Храмского и Локского массивов" (с. 98). Затем автор описывает некоторые свойства "эпицентральных сгущений", в том числе рой землетрясений 1944 г. табацкурской и ахалкалакской групп эпицентров (1940 и 1899 гг.), подчеркивая, что плейстоценовая область сильных землетрясений "представляет собой меридионально вытянутый эллипс, а остальные изосейсты вытянуты уже в общекавказском направлении" (с. 99). Отмечает, что при Табацкурском землетрясении 1940 г. очаги афтершоков отчетливо следовали линии Абул-Самсарского хребта, с которым связана и цепочка вулканических конусов. Автор констатирует наличие полосы сгущения эпицентров землетрясений по южному склону Большого Кавказа (с. 101), от прикаспийской группы очагов через кахетинские, закатальско-лагодехские, алазанские, агричайские очаги до Шемахи и Исмаиллов; линия эта отвечает "основной сейсмоактивной линии Большого Кавказа"; следуя традиции, М.М. Рубинштейн связывает эти сейсмоактивные полосы, конечно, с тектоническими разрывами, не имея этому, однако, реальных доказательств.

В целом М.М. Рубинштейн приходит к таким выводам: "1) Землетрясения Грузии и, по-видимому, всего Закавказья связаны с разрывными нарушениями (? Г.Г.), локализованными в нижних структурных этажах и лишь в некоторых случаях оказывающихся доступными непосредственному наблюдению. 2) Использование сейсмических данных позволяет в ряде случаев устанавливать наличие глубинных разломов, остающихся замаскированными или недостаточно четко выявленными при изучении верхнего структурного этажа. 3) Возраст сейсмоактивных разрывов может быть различным, но в большинстве случаев мы имеем дело с омоложенными или молодыми разрывами (силён гипноз идеи о сейсмогенной роли разрывов, даже "замаскированных"! — Г.Г.). 4) Весьма эффективным является совместное использование макро- и микросейсмических данных... 5) В случае роя землетрясений мы наблюдаем постепенное смещение эпицентров землетрясений... 6) Анализируя ход сейсмогенной активности в течение достаточно длительного отрезка времени... удастся установить... определение закономерности..." [723, с. 104]. Из содержательной статьи М.М. Рубинштейна действительно следует много важных выводов, но, как мне кажется, не всегда тех, которые перечисляет автор.

Свои взгляды по вопросам сейсмотектоники М.М. Рубинштейн изложил и в более поздних статьях [724—726].

В.В. Белоусов и его соавторы [515], как они сами пишут, ограничились "предварительной схемой сопоставления основных структурных элементов Кавказа и сейсмических данных" (с. 3); их основные выводы заключаются в следующем:

1. "Наиболее характерной особенностью сейсмичности Кавказа... является наличие поперечного пояса сгущения эпицентров как мелких, так и разрушительных землетрясений, проходящего через Ахалкалакское вулканическое нагорье и Приказбекский район" (с. 7). Действительно, такое субмеридиональное поперечное направление имеется (это наш Главный Транскавказский линеймент. — Г.Г.), но считать его наличие "наиболее характерной особенностью сейсмичности Кавказа" я бы не стал; главное здесь — продольные направления, а поперечные их лишь осложняют.

2. "Западный Кавказ характеризуется значительно меньшей сейсмической активностью, чем Восточный" (с. 7). Это действительно так, и объяснение этому, как я полагаю, лежит в различиях интенсивности новейших движений и в возрасте тектонических нарушений (последние на востоке моложе), о чем уже говорила В.А. Растворова [708].

3. "Разрушительные землетрясения на территории Закавказья приурочиваются в основном к зонам, разграничивающим область поднятия и области опускания, т.е. к зонам с резкой дифференциальностью движений" (с. 8).

4. "Эпицентры более слабых землетрясений ... подвержены тем же закономерностям" (с. 7—8).

В диссертации Н.К. Карапетян (1953 г.) констатируется: 1) "Очаги землетрясений Малого Кавказа залегают в земной коре. 2) Глубина залегания очагов землетрясений Кавказа возрастает с запада на восток. В Каспийском море имеются глубокие землетрясения. 3) Наибольшее число землетрясений происходит в полосе, проходящей через Ахалкалакское нагорье и горы Казбек и Барбало; к западу от этой полосы землетрясения происходят значительно реже, чем к востоку" (с. 6). Далее дается характеристика динамических параметров для некоторых землетрясений, причем оказалось, что "во всех случаях действует двойная сила с моментом", т.е. в очаге произошло "разрывное смещение", но не во всех случаях (sic!) эти разрывные смещения согласуются с видимыми на поверхности тектоническими разрывами.

Статья В.В. Белоусова и М.В. Гзовского [78] сопровождается картой сопоставления тектоники и сейсмичности, однако вряд ли можно отнести эту карту к разряду "сейсмотектонических": простое сложение эпицентров землетрясений и элементов тектоники еще не отражает всей специфики сейсмотектонических соотношений.

Через 20 лет после работы Л.А. Вardanянца [546] опубликовала небольшую статью И.В. Кириллова [613]. Она отметила, что "точечная" карта эпицентров недостаточно наглядна и ее лучше заменять картой "плотности эпицентров", ибо она "имеет значительные преимущества перед точечной картой. Она достаточно наглядно отражает количественную картину распределения эпицентров" (с. 126) — примерно то, что позже получило наименование "карт сейсмической активности". И.В. Кириллова иллюстрирует свою мысль картами по Кавказу.

Отмечу также статью И.В. Кирилловой [614], где рассматривается вопрос о периодичности разрушительных землетрясений Кавказа и Турции. Полученные автором графики "показывают, что в сейсмической активности интересующей нас территории имеется своеобразная ритмичность, которая проявляется в том, что число разрушительных землетрясений периодически то нарастает, то уменьшается" (с. 771). Я лично какой-либо периодичности, т.е. "не своеобразной", а правильной ритмичности, из графика не улавливаю. Думаю, что ее не может быть, поскольку имеет смысл искать периодичность в отдельных гомогенных сейсмотектонических зонах, а не в таких полигенных тектонически мозаичных территориях, которые выбраны автором. Те же соображения относятся к сопоставлению землетрясений Восточного Кавказа с колебаниями уровня Каспийского моря; объективно говоря, никакой связи не обнаруживается.

О.Д. Гоцадзе [571] и его соавторы приводят сведения о механизме очагов землетрясений шемахинской, ахалкалакской, джавахетской, дагестанской и приказбекской групп. Аналогичные сведения можно найти в работе В.И. Кейлис-Борока 1957 г. [609], методику которого при анализе динамических параметров использовал О.Д. Гоцадзе. Осталась малоизвестной оригинальная работа А. Scheidegger 1959 г. [959], рассмот-

ревшего исключительно по литературным данным связь между ориентировкой "вектора тектонических движений" (в том числе и на Кавказе) с элементами сейсмичности. Откликов в нашей литературе статья эта не получила.

60-е годы. Известна небольшая, но насыщенная фактическим материалом работа И.В. Кирилловой [615] со схемой расположения эпицентров сильных и разрушительных землетрясений Кавказа и сопредельных территорий за период 1938—1953 гг. На небольшой карточке И.В. Кириллова показала ряд поперечных направлений (по Кавказу и Турции, с которыми и связана, по ее мнению, основная масса землетрясений).

И.В. Кириллова и А.А. Сорский [619] опубликовали ряд карт, в том числе "Схему сейсмичности Кавказа"; позже эта схема была воспроизведена в [658, 669]. Авторы показали эпицентры сильных и разрушительных землетрясений XIX и XX вв. и "древности", плотность эпицентров за 1911—1957 гг. (отнесенную к площади 30 x 30 км<sup>2</sup>) и границы зон различной интенсивности — 6, 7 и 8 баллов.

Монография И.В. Кирилловой, Е.Н. Люстиха, В.А. Растворовой и других авторов [616] представляет, пожалуй, наиболее полное из опубликованных до 1960 г. работ описание сеймотектонической обстановки на Кавказе. Книга содержит множество полезных иллюстраций, в том числе следующие карты (по всему Кавказу): эпицентров землетрясений за период с 139 по 1952 г.; плотности эпицентров землетрясений за 1939—1954 гг. (позже воспроизведенную Е.Е. Милановским); глубинного строения; распространения разрушительных и сильных землетрясений; геологических критериев сейсмичности; сейсмического районирования (вариант); инженерно-геологических условий расположения пунктов; сейсмического районирования в масштабе 1:5 000 000. Кроме того, в работе содержится большое количество карт регионального масштаба, карт изосейст сильных землетрясений и др. Выводы, к которым приходят авторы, в большинстве случаев хорошо обоснованы.

Работе предпослан обстоятельный очерк тектонического развития Кавказа. Здесь подробно рассмотрены геологическая история Кавказа в мезозое и кайнозое (в том числе и за новейший этап), тектоническое районирование Кавказа, магматизм, глубинные разломы, поле силы тяжести и т.п.

Вторая часть монографии посвящена проблеме сейсмичности. Большой фактический материал, использованный авторами, изобилие графических приложений и обоснованность сеймотектонических заключений делают это исследование одним из фундаментальных произведений по проблемам сейсмогеологии. Выводы, к которым приходят авторы, сводятся к следующему: 1) Практически повсеместное в пределах Кавказа распространение очагов слабых землетрясений свидетельствует о том, что тектонические процессы здесь еще не закончены... 2) ... В общем плане большая сейсмическая активность свойственна областям активной перестройки тектонического плана... Закавказье оказывается сейсмичнее Северного Кавказа, а Восточный Кавказ — сейсмичнее Западного Кавказа. 3) Интенсивность новейших движений ... является лишь общим геологическим критерием и не дает возможности выделять более узкие зоны и участки предполагаемых мест возникновения очагов землетрясений. 4) ... Разрушительные землетрясения возникают преимущественно в зонах живущих в настоящее время глубинных разломов... 5) Имеется возможность "выделить в толще земной коры и подкорового субстрата два "сейсмогенетических этажа": I — "глубинный, охватывающий нижнюю часть земной коры и подкоровый субстрат, где происходят перемещения масс, обуславливающие развитие в альпийской геосинклинали поперечной геотектонической зональности"; II — "верхний, перемещение масс в котором ведет к возникновению продольной зональности в альпийской геосинклинали и развитию ее крупных геоструктурных элементов" (с. 289—290).

Подводя итог совместному рассмотрению геологических и сейсмических данных, авторы формулируют "геологические критерии сейсмичности". К ним относятся: неустойчивость геотектонического режима и интенсивность новейших движений, в частности резкая дифференцированность и контрастность тектонических движений, в особенности новейших; молодой вулканизм; современная перестройка рельефа; проявление поперечных перегибов в современной структуре.

На основании изложенного выделяются зоны контрастных движений и тем самым повышенной сейсмической активности: древние зоны, молодые зоны, зоны плиоцен-четвертичного вулканизма, зоны новейшей перестройки рельефа, основные крупные поперечные поднятия. Нетрудно заметить некоторые погрешности в этой сложной

схеме — недостаточную строгость системного изложения, невыдержанность рангов тектонических поднятий, но в целом это одна из наиболее удачных схем сейсмотектонического расчленения Кавказа.

Вышедший в 1961 г. сборник "Землетрясения в СССР" [15] стал заметной ступенью в развитии региональной сейсмотектоники. Одна из включенных в сборник статей (Е.И. Бюса с соавторами!) посвящена землетрясениям Кавказа в целом. Здесь кратко изложена история сейсмометрических наблюдений, рассмотрены источники сведений о землетрясениях и выделены и описаны "области восьмибалльных землетрясений": Ахалкалакская, Горийская, Ереванская, Зангезурская, Кахетинская, Ленинанканская, Шемахинская и др. Выделены также области 6- и 7-балльных землетрясений. В заключение даются карты: "Плотность распределения эпицентров землетрясений Кавказа за 1912—1957 гг.", для чего использованы данные по 2740 случаям регистрации подземных толчков с нормированием по площади  $0,5 \times 0,5^\circ$ ; "Сильные землетрясения Кавказа за 1912—1957 гг. по инструментальным данным и области, испытывавшие до 1957 г. разрушительные землетрясения, по неинструментальным данным". Здесь же помещены статьи, относящиеся к отдельным регионам: Сочи—Красная Поляна, Джавахетское нагорье, район Шемахи.

В фундаментальной монографии Е.Е. Милановского и В.Е. Хаина по геологии Кавказа [669] вопросу о сейсмичности отведено всего 2 страницы. Авторы отмечают, что "по сравнению с некоторыми другими звеньями альпийской складчатости зоны Евразии" Кавказ отличается "невысокой сейсмичностью" (с. 266). Заметна "связь наиболее активных в сейсмическом отношении зон с зонами продольных и поперечных разломов и в особенности с узлами<sup>1</sup> их пересечения" (с. 268), вероятно, следует придавать принципиальное значение тому обстоятельству, что авторы употребляют термин "зоны разломов", а не просто "разломы". Повышенной тектонической активностью отличается зона сочленения геосинклинали (предпочтительнее сказать "складчатой зоны", — Г.Г.) южного склона Большого Кавказа с Закавказским срединным массивом (может быть, лучше "Рионо-Куринской системой межгорных депрессий", — Г.Г.), но на ее фоне особенно выделяются районы Шемахи и Сочи, где эта продольная зона разлома рассекается поперечными (для Шемахи это верно, для Сочи — сомнительно, — Г.Г.). Высокосейсмичный район к западу от Махачкалы приурочен к вершине поперечного поднятия "Дагестанского клина" и одновременно к вероятному продолжению Пшекиш-Тырнаузской шовной зоны. Сейсмоактивный район Зангезура явно связан с Гиратахским разломом" (с. 268), и т.д. Авторы приводят "Схему сейсмичности Кавказа", опубликованную несколько ранее И.В. Кирилловой и А.А. Сорским. Отмечается также, что глубина очагов Кавказских землетрясений в целом невелика. Жаль, что авторы монографии не уделили большего внимания вопросам сейсмичности.

В статье М.С. Иоселиани, В.Г. Папалашвили [596] говорится: "... вся полоса южных склонов Главного Кавказского хребта, от района Казбека до Апшеронского полуострова, является потенциально сейсмической... Сопоставление геологических и сейсмических данных позволяет прийти к общему заключению о том, что проявление активной сейсмической деятельности приурочено к районам современных тектонических движений. Малая глубина очагов землетрясений полосы южных склонов Главного Кавказского хребта... свидетельствует о том, что эпицентры землетрясений, располагающиеся вдоль этой полосы, связаны с неглубокими структурами" (с. 37). Это, пожалуй, верно.

В работе М.М. Рубинштейна [726] (глава "Сейсмотектоника" в книге "Геология СССР", т. 10) сводка данных построена очень логично, достаточно ясна, но, к сожалению, основана на выделении в первую очередь глубинных разломов, а не объемных сейсмотектонических структур. Кроме сейсмически активных нарушений верхних структурных этажей и наряду с сейсмогенными глубинными разломами "на территории Грузии устанавливается наличие ряда сейсмически активных поверхностных тектонических нарушений, связь которых с глубинными структурами в некоторых случаях очевидна, а в других остается неясной" (с. 499). Затем автор приводит ряд примеров.

Ш.Г. Рагимов [703] говорит о влиянии крупного крутого разрыва на интенсивность колебаний при землетрясениях на северо-востоке Азербайджана; нужно сказать, что детально разработанную автором схему сейсмотектонического механизма проще

<sup>1</sup> Позже это положение встретило возражения со стороны Г.В. Егоркиной и ее соавторов (1980 г.).

понять и объяснить, если принять концепцию об активности всей массы перемещающегося крыла разрыва.

О.М.Майсурадзе (диссертация, 1964 г.) ссылается на сильное землетрясение в Красной Поляне в декабре 1955 г. и замечает, что оно "указывает на происходящие на глубине тектонические процессы", впрочем, это можно сказать, вероятно, о всех землетрясениях. Затем: "...изучение плейстоценовой (! — Г.Г.) области землетрясений 16.02.63 и инструментальные данные показывают, что в районе Адзгара—Птиш... проходит линия разлома" (разлом, может быть, там и есть, но неясно, из чего вытекает его связь с землетрясением. — Г.Г.). Упомянув о землетрясениях 1941 и 1956—1957 гг., автор отмечает, что "расположение эпицентров имеет характер полосы, что указывает на существование линии разлома" (с. 7). В том же духе автор рассматривает другие районы Западной Грузии и другие землетрясения и полагает, что "можно ожидать сейсмических явлений вдоль тектонических линий разломов (как известных, так и неизвестных на сегодняшний день)" (с. 8). Хотелось бы видеть более убедительные доказательства искомой связи.

Р.М. Гаджиев [561] приводит несколько схем расположения эпицентров землетрясений на территории Азербайджана — "нормальных", "нормальных оцутимых" и т.п. Эпицентры "нормальных" землетрясений "казалось бы, располагаются беспорядочно" (с. 179). Действительно, рассмотрение этих схем убеждает в том, что эпицентры разбросаны едва ли не по всей площади Азербайджана и притом более или менее равномерно. Частично это объясняется тем, что "координаты эпицентров азербайджанских землетрясений в подавляющем большинстве определены со значительными ошибками" (с. 178). При более надежных определениях выявляется более закономерная система в их расположении, наметившаяся, например, из схемы "разрушительных землетрясений", эпицентры которых установлены по макросейсмическим данным" с. 185. Автор не дает списка этих землетрясений, и остается неясным, сколь объективно они отобраны, но некоторая связь с "полосами гравитационных ступеней" как будто намечается. Как видно, все это довольно зыбко. Р.М. Гаджиев присоединяется к мнению, изложенному в работе Л.А. Варданянца [546], о связи очагов кавказских землетрясений "со складкообразовательными процессами в мезокайнозойской осадочной толще" (с. 184). Для мелких очагов это, вероятно, так, но для более глубоких картина сложнее. В статье рассматриваются различные конкретные случаи, и конечный вывод таков: "Заключения о блоковом строении земной коры в Азербайджане... подтверждаются данными сейсмологии, которые позволяют допустить, что перемещения блоков относительно друг друга происходят и в настоящее время" (с. 187). Против этого ничего не могу возразить.

Заметное место в истории изучения землетрясений Кавказа составила статья В.И.Бунз и А.А. Сорского [796]. В ней содержится список наиболее сильных землетрясений Кавказа за время с 63 г. до н.э. по 1966 г. и приводится ряд таблиц, в том числе таблица соотношения между  $K$ ,  $M$ ,  $L$  (длина очага),  $S_a$  (площадь, на которой располагаются афтершоки),  $S_p$  (площадь, в пределах которой происходит подготовка землетрясения):

$K$	12	13	14	15	16	17	18
$M$	4,5	5	5,5	6	6,5	7,5	8,5
$L$ , км	3	6	10	20	30—60	100—200	300—900
$S_a$ , км <sup>2</sup>	6	20	60	200	600—200	$2 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4 - 10^5$
$S_p$ , км <sup>2</sup>	30	140	650	$3 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^5$

К статье приложена карта эпицентров с разделением территории на три зоны, различающиеся по максимальной магнитуде возможных землетрясений, а именно с  $M$  от 6 1/4 до 7 1/2, от 5 1/4 до 6 1/4 и от 4 1/2 до 5 1/4. Конфигурация зон в некоторых местах может оказаться спорной, но в целом карта удачно отражает потенциальные возможности Кавказа в отношении сейсмичности. Замечу, кстати, что несколько позже, в 1970 г., И.В. Ананин выделил на Кавказе не три, а четыре крупные сейсмоактивные области: Восточную, Центральную, Западную и Северо-Западную.

В дополнение к общей схеме в статье [796] предлагается выделять на Кавказе несколько (десять) сейсмоактивных зон, характеризующихся разными магнитудой и частотой возможных сильнейших землетрясений: западная часть Большого Кавказа, восточная часть Большого Кавказа, северо-восточное ограничение Большого Кавказа, граничная часть между Каспийской впадиной и северо-восточным ограничением Большого

Кавказа, западная часть Малого Кавказа, восточная часть Малого Кавказа, Куринская депрессия, граничная зона между Черноморской впадиной и Кавказом, Северный Кавказ, граничная зона между Русской платформой и Кавказом. Мне кажется, что в основу разделения территории Кавказа на сейсмоактивные зоны можно положить более конкретные критерии тектонического содержания, но и в том виде, как предлагает автор, она достаточно ясно отражает некоторые особенности каждой из зон.

Геолого-геоморфологическим дополнением к [796] может служить статья В.А. Растворовой того же года [712]. В статье отмечено, что наиболее активным в сейсмотектоническом отношении является Восточный Кавказ, что связано с "большой интенсивностью новейших поднятий Восточного Кавказа в плиоцен-четвертичный этап развития его... Значительная часть эпицентров землетрясений приходится на зону перехода между поднятием Большого Кавказа и предгорными впадинами. Они располагаются вдоль северных границ Алазанской и Рионской впадин, по южной границе Терской и вдоль материковых склонов Черного и Каспийского морей... Приурочены к участкам контрастных новейших движений, т.е. к местам резких переходов от поднятия к погружению", а также к зонам "гравитационных ступеней" (с. 150). Наиболее характерна для переходных зон, пишет автор, высокая степень раздробленности новейших структур. В статье рассмотрен вопрос об условиях возникновения землетрясений внутри области новейшего поднятия Большого Кавказа — именно продолжающемся развитии блоковой структуры и активности глубинных разломов.

Ранняя (1967 г.) статья М.Н. Смирновой была посвящена вопросам сейсмичности Предкавказья. Затем последовали работы 60-х и 70-х годов о сейсмичности, тектонике тех же районов, о глубинных разломах, строении фундамента, о новейших движениях, о связи режима скважин (водяных, нефтяных) с землетрясениями и т.п. (в том числе [737]).

Е.Е. Милановский [658] в деталях рассмотрел сейсмотектонические условия Кавказа. В главе на эту тему в монографии по неотектонике [гл. VI, с. 373—395] дано достаточно объективное описание сейсмотектонической обстановки на Кавказе, при этом описание, хорошо обоснованное геологически.

Автор указывает на то, что восточная половина территории Кавказа по сравнению с западной отличается значительно большей сейсмической активностью. Западнее линии Сухуми—Ставрополь землетрясения проявляются редко, интенсивность их, как правило, невелика; восточнее, "между линиями Сухуми—Ставрополь и Ахалцихе—Орджоникидзе общий уровень сейсмической активности заметно повышается" (с. 377), и к востоку от линии Ахалцихе—Орджоникидзе расположен "наиболее сейсмичный пояс Кавказа". В восточной части, где автор намечает еще два поперечных "пояса", сейсмичность опять снижается. "Эти отличия в сейсмичности отражают значительно большую контрастность новейших и четвертичных тектонических движений в юго-восточной части Кавказа по сравнению с юго-западной частью, большую скорость погружений и поднятий в позднем плиоцене и антропогене, большую роль перестройки тектонического плана и широкое проявление изменений знака вертикальных (и, может быть, горизонтальных) движений в восточной части" (с. 392).

Наличие поперечной зональности с различным проявлением сейсмических сил в каждой из них, по Е.Е. Милановскому, "вероятно, можно объяснить... контрастностью новейших тектонических движений, что хорошо видно из карты новейших вертикальных движений в изобазках и из карты их градиентов" (с. 378). Напомним, что поперечная зональность Кавказа привлекала внимание многих геологов — В.П. Ренгартена [716], М.М. Рубинштейна [722], М.Г. Агабекова [481], Б.В. Григорьянца [577], Э.Ш. Шихалибейли [787], М.А. Кашкая и Г.П. Тамразяна [607] и многих других.

Далее Е.Е. Милановский выделяет в каждой из поперечных зон серию "районов" со свойственной им сейсмичностью и дает описание каждого из районов — Ахалкалакского, Казбекского, Ассинского, Аргунского, Шемахинского ("тектоническая природа шемахинских землетрясений... до сих пор еще недостаточно ясна" (с. 385), Зангезурского, Анийского, Минераловодского, Рача-Лечхумского, Мегрельского, Ставропольского и др. Подчеркивая значения поперечной зональности, Е.Е. Милановский совершенно справедливо отводит основную роль продольным структурам, устанавливает связь "ряда зон высокой сейсмической активности" с районами новейшей вулканической деятельности, часто обращается к результатам анализа динамических параметров землетрясений и т.д.

Картина сейсмогеологических связей, нарисованная Е.Е. Милановским, хорошо аргументирована и представляется убедительной. Правда, оставаясь в чисто геологических сферах, Е.Е. Милановский не склонен обращаться к количественным показателям сейсмичности и в ряде мест не избежал "разрывного поветрия", но в целом глава VI представляет одно из наиболее солидных произведений на тему о сейсмогеологических особенностях Кавказа.

Следует упомянуть и о популярной работе М.Н. Смирновой [737]. В ней речь идет о причинах землетрясений — разнообразных космических, экзогенных и эндогенных земных, о возможной роли глубинных разломов (в активности которых автор не сомневается): "... первопричиной землетрясений являются дифференцированные тектонические движения в зонах глубинных разломов. Что касается остальных причин, то к ним в полной мере приложимо высказывание профессора Варшавского университета А.Е. Лагорио [270]: "Самая ничтожная, но ощутимая причина — струйка просачивающейся воды, изменение в барометрическом давлении, изменение в положении Луны относительно данной местности — может вызвать землетрясение, если оно подготовлено другими причинами" (по [737, с. 22]).

70-е годы. В последние годы ведутся более или менее успешно поиски объективных геолого-геофизических критериев сейсмичности, в том числе и с широким использованием современных методов статистического анализа — со всеми присущими последнему достоинствами и недостатками.

Большой резонанс в этом смысле получила работа В.И. Бунэ, И.В. Кирилловой, И.В. Ананьина, Н.В. Введенской, Г.И. Рейснера, В.Н. Шолпо [686], предпринявших попытку оценить максимальную сейсмическую опасность на Кавказе. В качестве основы для анализа авторы предложили свою версию историко-тектонического районирования Кавказа, с учетом новейших и современных движений сформулировали геологические критерии сейсмичности, проанализировали макросейсмические и инструментальные сведения и на основании геологических данных поделили территорию Кавказа на ряд зон возникновения землетрясений, что позволило перейти к районированию территории по максимальным возможным сотрясениям. Авторы отмечают, что при современном состоянии сейсмогеологии нет достаточных оснований для уверенной оценки удельной значимости того или иного критерия сейсмической опасности и, следовательно, для более дробной дифференциации зон возникновения землетрясений. "На данном этапе исследований кажется рациональным считать зонами повышенной опасности полосы наиболее контрастного сочленения мегантиклинория Большого Кавказа с прилежащими к нему с юга и востока впадинами... Значительная по размерам область повышенной сейсмической опасности охватывает район Ахалкалакского и Армянского вулканических нагорий"... (с. 19). Авторы отдают некоторую дань идее о сейсмогенном значении глубинных разломов, но справедливо избегают излишней и необоснованной детализации сейсмогеологических соотношений, широко используя новые понятия сейсмической статистики, соотношения между  $I_0$ ,  $M$ ,  $h$ ,  $K$ ,  $A$ . Текст иллюстрирован картами для всего Кавказа: "Историко-тектонического районирования", "Новейших тектонических движений", "Современных тектонических движений", "Сопоставления геологических критериев с распределением эпицентров землетрясений", "Сейсмической активности по данным об эпицентрах с  $M \geq 4,1$  за 1928—1966 гг.", "Сопоставления зон относительной сейсмической опасности, по геологическим данным, с распределением эпицентров землетрясений", "Осредненной инженерно-геологической характеристики условий расположения населенных пунктов", "Зон возникновения очагов сильных землетрясений", "Районирования под максимальным возможным землетрясениям", "Изосейст семи—восьмибалльных землетрясений..."

Работа отличается полнотой и тщательностью комплексного анализа, смелым использованием новых понятий, зрелой и, по-видимому, правильной постановкой геологических вопросов, хорошо обоснованными практическими выводами и притом изложена предельно лаконично. Вопросы сейсмичности Кавказа в целом рассматривались и в других работах 70-х годов.

Г.А. Шенкарева в лаконичной заметке 1970 г. изложила результаты сопоставления данных по сейсмичности Кавказа и Апеннин — попытка, по-видимому, вполне целесообразная.

А.А. Борисов и Г.А. Шенкарева [80] попытались сопоставить с сейсмичностью разнообразные геологические и геофизические факторы предположительно сейсмогенного

значения: рельеф, степень дислоцированности коренных пород, магнитные и гравитационные аномалии, разрывные нарушения, мощность и строение коры и т.п. — всего до 20 различных элементов геодинамики. Каждому из факторов присваивался условный вес (в градации, позволяющей сравнивать между собой различные участки — ячеек, на которые была поделена территория Кавказа). Основным выводом, к которому пришли авторы, таков: "...ни один из тектонических, неотектонических и геофизических признаков, взятый в отдельности (или их какая-либо неизменная для разных зон совокупность), не может рассматриваться как безусловный индикатор сейсмичности. В разных геотектонических условиях геофизические характеристики сейсмогенных структур в сейсмоактивных областях могут быть существенно различными как по отдельным признакам, так и по их совокупности. Только совокупность множества разнородных признаков (многопризнаковый вектор) может с надлежащей надежностью охарактеризовать и очертить сейсмогенную структуру и сейсмоопасную зону. При этом для разных регионов (а в пределах данного региона — для его разных зон) должен отыскиваться свой многопризнаковый вектор" (с. 15). "Пожалуй, наиболее постоянными признаками, относящимися почти ко всем высокосейсмичным зонам, являются глубинные гравитационные аномалии ( $\Delta g_{\text{глуб}}$ ) ...и пояса больших значений градиентов неотектонических движений, линейно вытянутые на большом протяжении" (с. 13). Фраза эта нередко цитировалась другими авторами.

А.А. Габриелян, С.А. Пирузян в статье, относящейся к Армении, [559] пишут: "...основные геологические критерии (возраст складчатости, контрастность новейших и современных движений, изменение плана тектонических деформаций во времени и др.) в отдельности не являются решающими в определении сейсмичности тех или иных районов. Они лишь в совокупности, вместе с данными сейсмостатистики и геофизических критериев позволяют охарактеризовать сейсмоактивность отдельных зон и произвести районирование сейсмической опасности..." (невольно вспоминается статья [80]. — Г.Г.) и "важнейшим тектоническим элементом, контролирующим проявление сейсмичности, являются глубинные разломы (глубинные тектонические швы), ограничивающие длительно развивающиеся и различно построенные геотектонические блоки" (с. 32). Я предпочел бы сказать несколько иначе: важнейшим тектоническим элементом, контролирующим проявление сейсмичности, являются длительно развивающиеся и различно построенные геотектонические блоки, особенно вдоль ограничивающих их глубинных разломов (глубинных тектонических швов)... К статье прилагается довольно сложно построенная "Сеймотектоническая схема Армянской ССР и сопредельных частей Анти-Кавказа". Мне она кажется довольно трудной для понимания — во всяком случае связь сейсмичности с тектоникой из этой схемы не вырисовывается.

Небольшая, но принципиально существенная статья была опубликована И.В. Кирилловой и Г.И. Рейснером [617]. Авторы ссылаются на мнение Г.А. Гамбурцева, который полагал, что "превалирование сейсмостатистики при современном состоянии сейсмологии и сейсмогеологии неизбежно. В дальнейшем по мере накопления наших знаний о природе землетрясений и об условиях их возникновения роль сейсмостатистики должна уменьшаться и соответственно главное значение должны получить твердо обоснованные физические и геологические критерии сейсмичности. В этом — основная задача развития методов сейсмического районирования (по [224], с. 11). Затем авторы дают характеристику возможностей использования геологических методов и перечисляют задачи, которые нужно решить "для оптимального использования геологических данных для сейсмического районирования". К таким задачам относятся: 1) "Классификация геологических критериев сейсмичности" — сначала в относительной качественной форме, а затем и количественной. 2) "Изыскание объективных показателей для определения размеров зон возникновения землетрясений определенной магнитуды". 3) "Дифференциация зон возникновения землетрясений определенного энергетического класса по их повторности" (с. 54—55). В заключение даются варианты карт: "Схема сопоставления геологических критериев сейсмической опасности и эпицентров землетрясений", "Схема относительной сейсмической опасности по геологическим данным" и "Схема зон возникновения сильных землетрясений".

О.М. Майсурадзе [656] описывает сеймотектоническую карту Грузии; сложность и обилие знаков спецнагрузки этой карты к сожалению, сильно затрудняют восприятие ее смысла.

Я бы особо отметил работу Ю.В. Ризниченко, Э.А. Джибладзе [718а], направленную на определение "максимальных возможных землетрясений" для Кавказа. Авторы напоминают, что существуют два способа решения задачи: установление и использование "физических причинно-следственных соотношений" и "внешних закономерностей, корреляционных связей" (с. 64). Пока приходится идти по второму пути. Что касается использования сейсмологических, других геофизических, геологических, геоморфологических и геодезических данных, то этот метод "берет свое начало, по-видимому, всего лишь с начала 1962 г." (с. 64); здесь авторы ссылаются на работу [36] 1962 г., что, пожалуй, не совсем точно: строго говоря, о совместном использовании сейсмологических и геологических данных писали, хотя и на другом, естественно, уровне, еще А.Н. Гришов, А.П. Орлов и многие другие ученые XIX и начала XX в. задолго до 1962 г.

Затем (с. 66) авторы напоминают слова Г.А. Гамбурцева, который в основу сейсмического районирования помещал три гипотезы: о постоянстве в среднем сейсмического режима; о приуроченности очагов сильных землетрясений к зонам глубинных разломов в земной коре, т.е. к сейсмическим швам; о том, что сильное землетрясение, очаг которого приурочен к одному из мест сейсмического шва, является показателем возможной сейсмичности всего шва в целом. В сущности, здесь идет речь о геологических критериях сейсмичности, но магическое влияние термина "глубинный разлом" ощущается в высказываниях как Г.А. Гамбурцева, так и авторов статьи. Заменить бы слово "глубинный разлом" на слово "структура" — и все стало бы на свои места!

Далее Ю.В. Ризниченко и Э.А. Джибладзе [718а, с. 67] обращаются к работам М.В. Гзовского, который полагал, что важнейшими показателями уровня сейсмичности служат линии и полосы простираения зон глубинных разломов, в частности узлы их пересечения, и горизонтальные градиенты вертикальных тектонических движений. Затем авторы останавливаются на корреляционном методе определения  $K_{\max}$  по комплексным данным, ссылаясь, в частности, на работу [259], где в тех же целях использовались такие понятия, как рельеф местности (высота  $h$ ) и градиент высот ( $grab\ h$ ), тектоника, гравитационное поле, в том числе изостатические аномалии и приводятся результаты соответствующих вычислений  $K_{\max}$  для Кавказа, т.е. карта  $K_{\max}$  по данным о сейсмической активности  $A$  (в том числе с учетом группирования), по сейсмогравитационным данным, по данным о скоростях современных вертикальных движений, наконец, по комплексным данным — сейсмологии, гравиметрии, геодезии, геоморфологии. Попытку эту следует признать методически перспективной, но как и всякий сугубо статистический метод она неизбежно приобретает некоторый оттенок эмпиризма, что в излишних дозах несколько обедняет геологическую сущность объекта исследования.

В целом же работа [718а] интересна, она идет в русле перспективных направлений, хотя несколько разочаровывает заметной недооценкой геологических методов и известным формализмом статистических построений.

Много важных данных, особенно в отношении физики сейсмического процесса, содержит также докторская диссертация Э.А. Джибладзе 1976 г.

Далее следует отметить брошюру "Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР" [273] — рекомендации, которые были приняты в качестве основного методического пособия при работе над позднейшей картой сейсмического районирования СР-78. В брошюре дается эталонный пример обработки фактических данных для юга Европейской части СССР по Крыму, Кавказу (с. 57—130). Были использованы фактические сведения геологического и сейсмического характера по исследуемой территории в виде формализованных показателей следующих элементов: перестройки тектонического режима в настоящее время, амплитуды новейших движений, горизонтального градиента скорости новейших движений, проявлений неоген-четвертичного вулканизма, геотектонической неоднородности, наличия и протяженности продольных разломов, наличия поперечных разломов разных порядков, узлов пересечения продольных и поперечных разломов, сейсмической активности  $A_{10}$ , горизонтального градиента изостатических аномалий силы тяжести (с. 88). Для каждого фактора оценивался его вес (в %) в пределах элементарной ячейки и значение  $M_{\max}$  как функции  $f$  совместного влияния всех выбранных факторов  $x_1 \dots x_n$ . Была получена карта распределения вычисленных значений функции  $f$  для территории Кавказа и Крыма (с. 92). Работа представляет собой значительный принципиальный интерес как еще одна попытка использования современных статистических методов исследо-

вания солидного массива фактических данных с присвоением геологическим параметрам количественных характеристик. В своей схеме сейсмотектонического районирования Кавказа мы учитывали итоги данного исследования.

Материалы, привлеченные в качестве иллюстрации применения метода [273], послужили темой специальной монографии Б.А. Борисова и соавторов [519], докторской диссертации Г.И. Рейснера 1981 г., а также [129], где во всех подробностях разъясняются особенности данного метода анализа сейсмотектонических взаимоотношений. Для каждого из геолого-геофизических параметров авторы приводят отдельные карты, наглядно демонстрирующие ход рассуждений: карты перестройки тектонического режима, суммарных амплитуд новейших тектонических движений, контрастности новейших движений, новейшего вулканизма, геотектонической неоднородности, продольных разломов, поперечных разломов и т.п. В сущности, все карты объективно отражают те особенности современной структуры Кавказа, которые достаточно очевидны из традиционного неформализованного анализа строения региона. Достоинства этого метода очевидны, хотя при этом и появляется опасность утратить чисто геологическую "интуицию".

Статья Р.А. Агамирзоева [482] и его диссертация (1979 г.) посвящены описанию сейсмотектонической обстановки на юго-востоке Кавказа.

Наконец, нельзя не отметить работу В.И. Бунэ, О.Д. Гоцадзе, В.И. Кейлис-Борока и других авторов [683], где рассмотрено понятие о "сейсмическом риске" для Кавказа. Под сейсмическим риском авторы понимают вероятность возникновения того или иного ущерба от землетрясений. Для оценки сейсмического риска необходимо обладать материалами по последовательности землетрясений, распространению сотрясений, ущербу от отдельных землетрясений. Прежде всего необходимо установить объекты, для которых ведется расчет риска. Авторы избрали три таких объекта: площадь Джавахетского нагорья, полосу железной дороги Тбилиси—Баку и городов Грузии с населением свыше 10 тыс. человек. Авторы предложили две схемы сейсмотектонического районирования, в принципе не сильно различающиеся между собой. К сожалению, в обеих схемах основное значение придается не динамике структурных массивов, а линейным линеаментам. В работе производится "статистическое оценивание" и сравнение сейсмических параметров — показателей, свойственных каждой "однородной" области. Учитываются интенсивность потока землетрясений (их среднегодовое число) в определенном интервале магнитуды и площадь каждой области (понятие, близкое к тому, что мы называем "удельной сейсмической мощностью"). По ходу исследования оцениваются максимальные магнитуды, модели изосейст и, наконец, рассчитывается величина риска появления 7-балльных землетрясений за 30-летний период на определенной площади (см. сборник [99]).

Несколько иначе подошли к вопросу Б.А. Борисов и Г.И. Рейснер [518]. Они оформили материалы по корреляционным признакам в виде "сейсмотектонического каталога" землетрясений Кавказа с  $M \geq 5$ . Статистической обработки своего каталога авторы не дают — может быть, потому, что использовали всего 25 землетрясений.

В фундаментальной работе тех же авторов и В.Н. Шолпо [519] дан анализ сейсмотектонических условий на Кавказе с использованием методов статистики — направление, безусловно, весьма перспективное. Авторы составили по объективным и независимым исходным материалам ряд "формализованных" карт, в том числе перестройки тектонического режима, суммарных амплитуд и контрастности новейших движений, новейшего вулканизма, геотектонической неоднородности, продольных и поперечных разломов и узлов их пересечения, сейсмической активности, горизонтальных градиентов изостатических аномалий силы тяжести. По этим данным вычисляется некоторая функция  $f$ , выражающая степень сейсмической опасности для каждой элементарной ячейки и в целом по территории Кавказа, для чего служат карты относительной сейсмической опасности различных категорий, зон возникновения сильных землетрясений, максимально возможной магнитуды будущих землетрясений. Аналогичная работа выполнена в редуцированном виде для Венгрии.

Не все карты, составленные авторами данной работы [519], кажутся убедительными, но в целом монография представляет собой значительный этап в развитии сейсмогеологических исследований, и не только для Кавказа.

Интерес представляет статья И.А. Резанова и В.И. Шевченко [883] о связях между сейсмичностью и глубинным строением, в том числе на Кавказе. Главный вывод состоит

в том, что "большая контрастность сочленения определяет, как правило, большую сейсмичность" (с. 40). Здесь же авторы констатируют "приуроченность" землетрясений к зонам резкого градиента аномалий силы тяжести, т.е. "расположение эпицентров вдоль глубинного шва, разделяющего геологические тела с разной плотностью" (с. 41). Что значит "вдоль глубинного шва"? В формулировках авторов явно ощущается стремление подчеркнуть роль нарушений разрывного характера, но жаль, что этот акцент слишком силен: разрывы и "швы" — сами суть порождения тектонической жизни блоков коры. Эти блоки, в том числе и их краевые, соседние со "швами" крылья, отвечают за землетрясения, а не разрывы собственно.

В атласе Д.Н. Рустановича [298] сделана попытка увязать основные формы сейсмограмм с геологической обстановкой очаговых зон; автор выделяет на этой основе четыре типа колебаний, зарегистрированных в эпицентральных зонах сильных землетрясений, и рассматривает геологические условия и макросейсмические данные для нескольких землетрясений, в том числе в Грозном, 1966 г., Зангезуре, 1968 г., Махачкале, 1970 г.

Нужно отметить "Материалы..." по сейсмичности и глубинному строению Азербайджана (1974 г.), диссертацию Э.Б. Агаларовой о напряженном состоянии сейсмических областей республики (1975 г.), работу В.А. Каспарова (1975 г.) о сейсмостектонике Апшеронского полуострова с детальным (пожалуй, более детальным, чем позволяет материал) анализом особенностей 16 основных, выделяемых автором тектонических параметров.

В одной из недавних статей на тему о глубинном строении сейсмоопасных зон территории Азербайджана [697] говорится о том, что "к геолого-тектоническим факторам, имеющим прямое отношение к задачам сейсморайонирования, относятся: 1) мощность покрова отложений рыхлых осадочных пород; 2) простирание и степень деформации слоев, складок и разрывов; 3) крупные глубинные зоны разрывов" (с. 35). В принципе, вероятно, перечисленные факторы имеют некоторое значение, но в тех формулировках, которые использованы в данном случае, они звучат несколько неопределенно.

Следует отметить большое значение исследований по Азербайджану, которые принадлежат таким авторам, как М.Г. Агабеков, Р.А. Агамирзоев, Ш.А. Азизбеков, Д.А. Асманов, Ф.С. Ахмедбейли, Э.К. Гюль, Т.А. Золотовицкая, П.Ш. Исламов, В.А. Каспаров, В.П. Кузнецов и многим другим.

К 1976 г. относится сборник "Сейсмостектоника некоторых районов юга СССР" [133], в котором содержатся, кроме методических, и статьи регионального направления, в том числе по Азербайджану и Армении. В основу сборника положена идея о сейсмогенном значении тектонических разрывов, в особенности глубинных разломов. Идея эта уже давно получила надлежащую критику [796], и потому здесь не рассматривается содержание сборника.

В работе О.М. Майсурадзе и других (1976 г.) содержится "сейсмостектоническая карта" значительной части Кавказа с нанесенными на нее эпицентрами землетрясений. Карта была составлена О.М. Майсурадзе в 1969 г. На карте и сопровождающих ее разрезах автор выделяет "сейсмостектонические полосы". Боюсь, что фактический материал не подтверждает реального существования этих полос.

Г.Я. Мурусидзе [673 и др.] рассматривает распределение эпицентров землетрясений в плане и расположение очагов по ряду разрезов; показано сокращение количества очагов землетрясений всех классов с глубиной. Автор пытается связать очаги с предполагаемыми разрывами.

В статье О.В. Лурсманишвили [651] изложена оригинальная идея о возможности возникновения землетрясений, спровоцированных колебаниями, вызванными другими землетрясениями, посредством медленных пластических волн: "градиентное поле механических напряжений, образующееся в эпицентральной зоне вследствие землетрясения, обуславливает возникновение медленных пластических волн" (с. 601), т.е. волн сжатия—растяжения и волн сдвига, которые и вызывают новые толчки на своем пути от очага в стороны.

Н.К. Карапетян [602], используя методику А.В. Введенской, определила элементы механизма очагов нескольких десятков сильных землетрясений Армении. Направление оси сжимающего напряжения оказалось примерно перпендикулярным простиранию структур. Оси напряжений сжатия ориентированы в основном горизонтально, в редких

случаях угол падения оси сжатия превышает  $30^\circ$ . Таким образом, прежние заключения геологов об элементах поля тектонических напряжений, заключения, основанные на качественном анализе элементов тектоники, получили инструментальное подтверждение, хотя "теория дислокаций", основанная на представлениях о сейсмогенной роли разрывов, допускает, я думаю, и иное толкование механизма очагов землетрясений.

Оригинальная статья была недавно опубликована А.А. Габриеляном [205а]. Статья посвящена вопросам сеймотектоники Кавказа, но автор касается и многих других вопросов и территорий, в сущности, давая общий обзор сейсмических явлений в мире. К сожалению, и здесь слишком большое внимание уделено разрывам.

Сборник значительного объема, посвященный вопросам сейсмического микрорайонирования, в том числе и по городам Кавказа (например, Тбилиси), опубликован ИФЗ АН СССР и МСССС в 1977 г.

"Сейсмическое районирование СССР" [304]: монография — итог многолетней работы многих научных и производственных учреждений, занимавшихся по заданию ГКНТ Совета Министров СССР и АН СССР составлением новой карты сейсмического районирования территории СССР. Важной особенностью работы явилось подчеркнутое внимание авторов к вопросам геологии и сеймотектоники и глубокая проработка исходных сейсмологических материалов<sup>1</sup>. Здесь в главах, посвященных союзным республикам Закавказья и Северному Кавказу, геология занимает по меньшей мере половину места. Акценты расставлены в соответствии с традициями ученых соответствующих республик, но в общей главе (гл. 4) подчеркивается значение новейшей тектоники и таких элементов строения коры, как эпигеосинклинальные орогены альпийского возраста, эпиплатформенные орогены с признаками четвертичной активизации, современные рифты, зоны Заварицкого-Беньюфа. Этот вопрос подробнее затрагивается в главе 1 настоящей книги.

О.Ш. Варзанахвили [543]. Если я уж затронул следующий хронологический этап, т.е. 80-е годы, то будет уместно упомянуть и о данной работе. Автор приводит карту очаговых зон землетрясений Кавказа с учетом реальных размеров и ориентировки очагов — это уже шаг вперед по сравнению с обычными "сейсмостатическими" картами, но это еще отнюдь не прогноз в отношении сейсмогеографии.

Упомяну еще о монографии Г.И. Рейснера 1980 г. [129], развивающей методiku, предложенную авторами книги [519], а также интересную и свежую по методу обработки, по представлению исходного материала и по своим идеям книгу Ю.К. Щукина и Т.Е. Люстих (1981 г.). Ценность последней особенно повышается вследствие того, что авторы широко использовали геофизические материалы, чего раньше в столь смелой и компетентной форме не встречалось.

Вопросы сеймотектоники так или иначе рассматривались многими другими авторами (Абакелия, Асланян, Варданянц, Габриелян, Джибладзе, Джиджешвили, Каспаров, Лебедева, Майсурадзе, Пирузян, Рубинштейн, Симонян, Цхакая, Шенкарева и др.).

### 8.3. ОБЩИЙ ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ

#### Энергетическая характеристика землетрясений

*Магнитуда M.* Для наших списков землетрясений, как отмечалось, отобраны те, магнитуда которых  $M \geq 5$  (с 1800 по 1980 г.) — в основном по материалам каталога [31]. В списках содержится около 170 землетрясений; по магнитуде они распределились следующим образом ( $M$  — магнитуда,  $N$  — число землетрясений):

$M$	5,0—5,9	6,0—6,9	7,0—7,9
$N$	132	22	2

Оба крупных землетрясения последней колонки относятся к зарубежной территории: Дилманское (Иран) 6.05.30 ( $M = 7,3$ ) и Ванское (Турция) 24.11.76 ( $M = 7$ ). Несколько землетрясений с  $I_0 \geq 7$  баллов обладали  $M < 5,0$ , они в списки не вошли.

Наибольший интерес для Кавказа с точки зрения энергетической характеристики и внешнего эффекта имеют землетрясения с  $M \geq 6$ . Их список приведен в табл. 8.1.

Рассмотрение таблицы 8.1 показывает, что для прошлого века наши сведения о землетрясениях даже с  $M \geq 6$  далеко не полны; вряд ли можно думать исходя из тем-

<sup>1</sup> Карта сейсмического районирования Кавказа из этой монографии приведена на рис. 8.19.

Таблица 8.1  
Сильные землетрясения ( $M \geq 6$ ) Кавказа 1800–1980 гг.

Дата	Местоположение очага			$M$	Район	Номер сейсмотектонической зоны
	$\varphi$ , ° с.ш.	$\lambda$ , ° в.д.	$h$ , км			
03.09.1830	43,0	47,0	16	6,3	Внезапная	9
07.02.1840	39,7	44,4	18	6,7	Арагат	24
03.18.1868	40,0	46,8	35	6,3	Агдам	19
02.13.02	40,7	48,6	15	6,9	Шемаха	11
10.21.05	43,3	41,7	35	6,4	Теберда	2
06.07.11	41,0	50,5	46	6,4	Каспийское море	10а
02.20.20	42,0	44,1	11	6,2	Гори	18
02.19.24	39,4	48,6	75	6,6	Пушкино	17
04.27.31	39,2	46,0	22	6,3	Зангезур	21
04.09.35	42,1	48,8	90	6,3	Каспийское море	10
05.07.40	41,7	43,8	19	6,0	Табацкури	20
06.29.48	41,6	46,4	48	6,1	Закаталы	12
09.18.61	41,1	50,2	64	6,6	Каспийское море	10а
01.27.63	41,1	49,5	55	6,2	Каспийское море	10а
07.16.63	43,2	41,6	05	6,4	Чхалта	2
05.14.70	43,0	47,1	13	6,6	Северный Дагестан	9
07.28.76	43,2	45,6	28	6,4	Грозный	8
06.31.78	41,4	44,1	10	6,0	Триалети	20

пов тектонических событий, что сейсмический режим мог так сильно измениться в сторону усиления в XX в. по сравнению с XIX в. В еще большей степени это относится к землетрясениям с  $M = 5 \div 6$ . Все же приходится опираться хотя бы и на не вполне исчерпывающий материал. В целом по Кавказу землетрясения с  $M \geq 6$  происходят с частотой приблизительно 1 раз в 6 лет. Другими словами, до конца XX столетия на Кавказе должно произойти не менее трех сильных землетрясений с  $M \geq 6$ . Где они произойдут, сказать трудно, но с наибольшей вероятностью — это сейсмотектонические зоны № 2, 9, 10а, 14 и 20, т.е. Черноморское побережье, Северный Дагестан, Каспийское море севернее Апшеронского полуострова, южная шовная зона Большого Кавказа, Джавахетское нагорье в Армении.

Каталог [31] послужил основой для составления главной для нас карты эпицентров сильных ( $M \geq 5$ ) землетрясений Кавказа (см. рис. 8.2). Из карты вытекает, что эпицентры сильных землетрясений располагаются не хаотически, не случайно, а тяготеют к некоторым площадям (или полосам) определенного сейсмического режима в соответствии с тектоническим членением современной структуры Кавказа на ряд различных по геологической истории и свойствам зон.

Следует отметить, что учение о магнитуде (а также энергии и классе землетрясений) было со вниманием встречено учеными кавказских республик. Здесь было выполнено много специальных исследований на эту тему и по кавказским материалам (Айвазишвили, Ванек, Джибладзе, Кисловская, Папалашвили, Раутиан и др.).

*Энергия E.* Едва ли не первым работы по энергетике сейсмических явлений на Кавказе выполнил Е.И. Бюс (в конце 50-х — начале 60-х годов). В работе [535] автор вычислял освобожденную "сейсмознергию" по десятилетиям. Позже Е.И. Бюс [535] отмечал, что "даже за наиболее сейсмоактивные десятилетия энергия землетрясений не превышала  $200 \times 10^{22}$  эргов" (с. 63). Кстати, упомянутая статья представляет отличную сводку материала по всему Кавказу. Для перехода от  $M$  к  $E_{эрг}$  Е.И. Бюс использует зависимость  $\lg E = 12 + 1,8 M$ . Общее число толчков, учтенных в работе, почти 4000, причем очаги их в большинстве случаев "лежат в верхней половине земной коры" (с. 61). Суммарная энергия, выделившаяся в форме землетрясений за исследованные 47 лет, оценивается в  $3,65 \cdot 10^{24}$  эрг. Подавляющая часть (98,2%) этой энергии освобождена при 30 землетрясениях интенсивностью от 7 и выше баллов, т.е. "почти вся сейсмическая энергия дана весьма немногими, наиболее сильными землетрясениями."

Наличие количественно преобладающих (99%) слабых землетрясений не оказало заметного влияния на картину общего режима" (с. 61–63).

Одна из ранних работ по вопросу об энергии кавказских землетрясений принадлежит Э.А. Джибладзе (диссертация, 1955 г.). Вычисления велись по формуле Б.Б. Голицына, Показано, что увеличение  $E$  на один порядок вызывает увеличение дальности регистрации примерно в два раза, а также, что с уменьшением показателя энергии на единицу сила землетрясения уменьшается примерно на один балл; подтверждается вывод о том, что основная часть общей энергии, освобождающейся в очагах землетрясений, приходится на сильнейшие землетрясения, хотя они происходят сравнительно редко.

В работе [589] Э.А. Джибладзе рассмотрела вопросы сейсмичности Большого Кавказа: "Сейсмичность обычно характеризуется расположением очагов землетрясений в пространстве и во времени, их силой и частотой" (с. 103). Позже подобные сведения вообще вошли в понятие о сейсмическом режиме. Э.А. Джибладзе дает классификацию землетрясений по энергии и энергетическую характеристику Большого Кавказа в целом. Для оценки энергии она использует выражение  $E_{P,S} = 4\pi \Delta^2 e^k \Delta \epsilon$ , где  $E_{P,S}$  — энергия объемных волн,  $\Delta$  — эпицентральное расстояние,  $e$  — коэффициент поглощения,  $\epsilon$  — полная энергия, проходящая через точку наблюдений; поверхностные волны, поскольку энергия их по сравнению с энергией объемных волн ничтожна, не учитываются. Коэффициент поглощения на расстояниях до 500 км в среднем для Кавказа принят равным 0,016. Зависимость величины энергии от дальности регистрации<sup>1</sup> для землетрясений Большого Кавказа (по [580]) приведена ниже:

$E$ , эрг	Предельная дальность регистрации, км	$E$ , эрг	Предельная дальность регистрации, км
16	150	19	2 500
16	300	20	5 000
17	600	21	10 000
18	1 200		

Для землетрясений с очагами, залегающими в пределах земной коры, можно установить следующую приближенную зависимость между интенсивностью колебаний и десятичным логарифмом энергии  $E$  (с. 105):  $I_0 = \lg E - 13,3$ .

Э.А. Джибладзе приводит ряд таблиц, иллюстраций и карт и вновь отмечает, что основная часть энергии, освобождающаяся посредством землетрясений, приходится на сильнейшие землетрясения, хотя число их сравнительно невелико. Из карты сейсмичности видно, что Приказбекская, Кахетинская, Закатало-Шемахинская группы очагов представляют собой "основную сейсмическую зону Большого Кавказа" (с. 110). При этом обнаруживается "перемещение сейсмической активности из одних районов в другие", но "активные зоны Большого Кавказа остаются в пределах центральной и восточной частей Главного Кавказского хребта, где и в прошлые годы происходили сильные землетрясения" (с. 5). Наибольшими запасами потенциальной энергии обладают Приказбекская, Кахетинская и Шемахинская зоны ( $\lg E = 20$ ). Автор вычисляет величину деформации земной коры по данным о скоростях поднятий и погружений, т.е. отношение разности высоты поднятий и абсолютной отметки базы, и эта величина в восточной части оказалась больше ( $\gamma = 10^{-7}$ ), чем в западной ( $\gamma = 10^{-8}$ ). Отсюда появляется возможность по значениям  $\gamma$  "проследить распределение потенциальной энергии по территории Большого Кавказа" (с. 6) — вывод, по-видимому, совершенно правильный.

Другая работа Э.А. Джибладзе посвящена определению  $K$ , коэффициента поглощения объемных волн; он оказывается равным  $0,016 \pm 0,003$ .

В работе [582] предлагается формула зависимости  $E$  от  $A$  (амплитуды волн):  $\lg E = 4,7 + 1,6 \lg (A_P + A_S)$  и построены соответствующие номограммы. Под энергией  $E$  землетрясений подразумевается, по словам автора, "та часть общей энергии, выделенной очагом в момент возникновения землетрясений, которая переходит в энергию упругих волн" (с. 95).

Докторская диссертация Э.А. Джибладзе (1976 г.) посвящена тому же вопросу — "Энергия землетрясений, сейсмический режим и сеймотектонические движения Кавказа". Тогда же [584] Э.А. Джибладзе указала на некоторые существенные особенности очагов землетрясений Кавказа, в частности показала, что в понятие о полной энергии землетрясений  $E_0$  входит и энергия, которая расходуется на разрушение пород в гипо-

<sup>1</sup> Лучше сказать: дальность регистрации в зависимости от величины энергии. — Г.Г.

Таблица 8.2

Шкала классификации землетрясений по энергии упругих волн (по [790])

K	M	I <sub>0</sub> балл	S, тыс. км <sup>2</sup>		
			9	8	7
18	M > 8,1	12	10	10–30	30–100
17	7 1/4 < M ≤ 8	10–11	2	2–10	10–30
16	6 1/2 < M ≤ 7 1/2	9–10	0,5	0,5–2	1–30
15	5 3/4 < M ≤ 6 1/2	9	0,05	0,05–0,5	1,0
14	5 1/4 < M ≤ 5 3/4	8	—	—	—
13	4 1/2 < M ≤ 5 1/4	7	—	—	—
12	4 < M ≤ 4 1/2	6	—	—	—
11	3 1/2 < M ≤ 4	5	—	—	—

центральной области. "Среда, — пишет Э.А. Джибладзе, — во всей (гипоцентральной, — Г.Г.) области находится постоянно в сильно деформированном состоянии" (с. 66), что вытекает из рассеянного расположения очагов слабых землетрясений.

По вопросу об энергетике (и магнитуде) кавказских землетрясений Э.А. Джибладзе опубликовала ряд работ и в соавторстве с О.Д. Гоцадзе, Л.К. Дарахвелидзе, П.О. Джиджешвили, В.Г. Папалашвили, Ю.А. Ризниченко, С.Л. Соловьевым, В.А. Табуцадзе, И.С. Шенгелия и др. В этих работах затрагиваются такие вопросы, как изменение потока сейсмической энергии с расстоянием, связь между  $E$  и  $M$ , макросейсмическая интенсивность  $I_0$ , сейсмический момент  $M_0$ , амплитуды колебаний коды и т.п.

Э.М. Демиховская и В.П. Кузнецов (1963 г.) рассмотрели вопрос о затухании энергии, излучаемой поверхностными очагами; В.В. Кисловская [620] опубликовала любопытную статью о том, что значения  $M$ , предлагавшиеся в известном атласе [4], занижены примерно на половину единицы; В.В. Кисловская, используя зависимость  $K = 4,2 + 1,68 M$ , дает новые значения  $M$  для 38 землетрясений. Здесь же определяется наклон графика повторяемости  $\gamma$ , который оказывается равным 0,50. Нужно заметить, что современные операции с вычислением  $M$  (а следовательно, и  $E$ ) действительно представляются не всегда надежными.

К последнему времени относятся и работы: О.Д. Гоцадзе (1972 г.) об энергетике джавахетских землетрясений, З.З. Фабрициуса (1974 г.) о методике определения  $E$  по записям кавказских сейсмических станций, Ф.Т. Кулиева и В.Г. Папалашвили (1980 г.) о зависимости  $K$  от  $M$ .

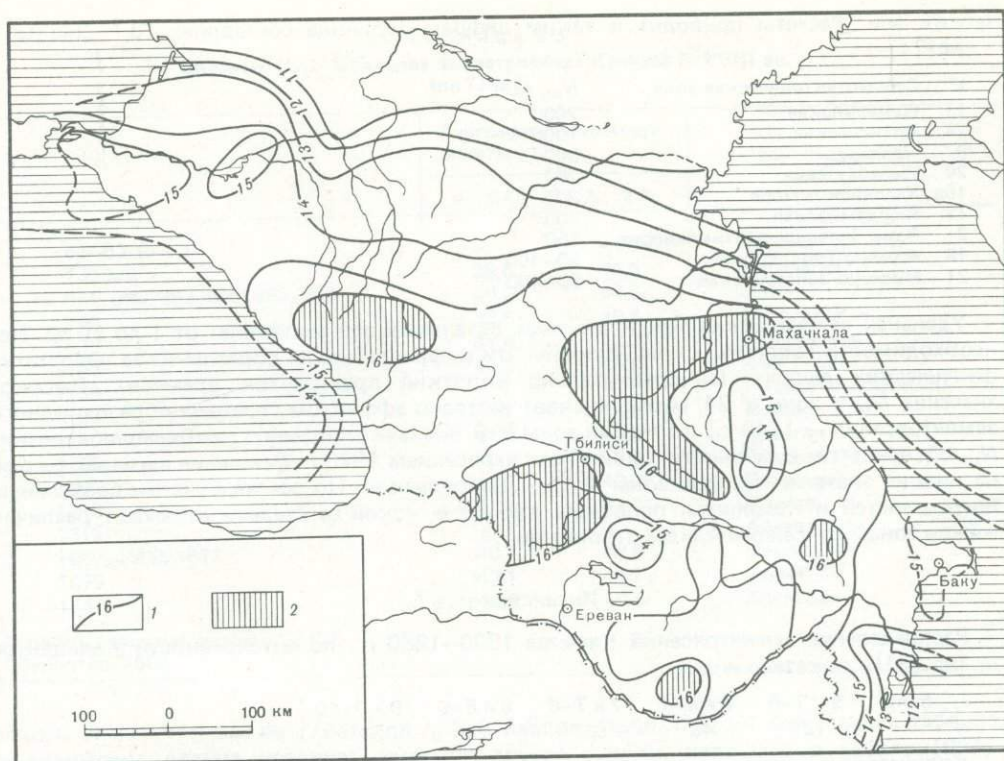
Энергетический класс землетрясений  $K$ . В работе В.И. Бунэ и А.А. Сорского [918] широко используются такие понятия, как  $M$ ,  $I_0$ , а также класс землетрясений  $K$ . Авторы приводят таблицу соотношения этих элементов между собой (табл. 8.2).

В статье Э.А.Джибладзе [583] (того же приблизительно периода) описываются полученные по методу Ю.В. Ризниченко графики повторяемости (выяснено, что для различных этапов времени и различных мест средний наклон графиков оказывается "приблизительно постоянным"), а также карты сейсмической активности и максимальных возможных землетрясений. Последняя карта отличается простотой конструкции, и видно, в какой степени нагрузка карты зависит от качества и объема исходных статистических данных. На карте выделен лишь один район с  $K = 17$  (окрестности Тбилиси), "хотя, по инструментальным данным, таких землетрясений здесь еще не было" (с. 55). Объяснение этому автор видит в том, что накапливающейся упругой энергии "не хватает" на сильное землетрясение.

Соотношение между  $M$  и  $K$ , по данным [31], дано ниже.

M	3,1–	3,7–	4,3–	4,8–	5,4–	5,9–	6,6–	7,3–	8,1
	3,6	4,2	4,7	5,3	5,8	6,5	7,2	8,0	
K	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Недавно была предложена другая карта  $M_{\max}$ , точнее  $K_{\max}$  [47]. Расчеты показывают, это и отражено на карте (рис. 8.3), — что в некоторых местах на Кавказе следует



Р и с. 8.3. Максимальные возможные землетрясения  $K_{\max}$  для Кавказа [47]  
 1 — изолинии  $K$ ; 2 — площади  $K_{\max} \geq 16$

ожидать появления землетрясений с  $K = 16$ , т.е. с  $M$  до 7,2. К таким районам относятся очаговые зоны шемахинских, зангезурских, джавахетских, краснополянских землетрясений, а также дагестанских на обширной площади между пунктами Орджоникидзе—Махачкала—Закаталы. Несколько раньше Ю.В. Ризниченко и Э.А. Джибладзе [718а] предложили несколько иную схему распределения  $K_{\max}$  для Кавказа; схема была построена "по комплексным данным": данным сейсмологии, гравиметрии, геодезии и геоморфологии. Вопрос о переходе от  $M$  к  $K$  был затронут в работе Ф.Т. Кулиева и В.Г. Папалашвили [635], которые пришли к следующему соотношению:  $K = (1,64 \pm 0,14) M + (4,60 \pm 0,55)$ .

Они же рассмотрели зависимость между  $K$  и  $I$ . Поскольку  $M$  зависит от  $E$ , а  $K = \lg E_{\text{Дж}}$ , то между  $M$  и  $K$  существует прямая зависимость.

Между прочим, в работе [304] ставится вопрос: "... можно ли ожидать, что существует в каждом пункте Земли некоторое конечное значение  $K_{\max}$  или же величина землетрясения в каждом данном месте может быть неограничено большой, т.е.  $K = \infty$ ?" (с. 59). Следует ответ: да, значение  $K_{\max}$  ограничено.

Удельная сейсмическая мощность  $N_m$ , или "плотность энергии" (По терминологии и данным С.Л. Соловьева [51]) на Кавказе оценивается в  $2,5 \cdot 10^{18}$  эрг/(100 км<sup>2</sup> · год). По нашим данным, величина  $N_m$  достигает  $2-3 \cdot 10^6$  Дж/(км<sup>3</sup> · год). Другими словами, Кавказ по параметру  $N_m$  среди всех регионов западной части СССР, от Карпат до Туркмении, занимает последнее место.

Карта удельной сейсмической энергии как для всего СССР, так и Кавказа в масштабе 1:2 500 000 была составлена по материалам за 1911—1957 гг. [4] Г.А. Шенкаревой [783]. В принципе карту следовало бы обновить, используя более полные материалы [31], но я заменил ее для Кавказа сведениями об  $N_m$  для каждой из сейсмотектони-

ческих зон. Расчеты приводят к таким цифрам [единица составляет  $10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> × х год)]:

№	Сейсмотектоническая зона	$N_m$ , ед.
11	Шемахинская	2000
24	Араксинская	1000
9	Махачкалинская	800
20	Джавахетская	700
10а	Каспийское море	300
17	Кюгдамирская	200
2	Ядро Западного антиклинория	150
18	Аджаро-Триалетская	50–100
21	Мисхано-Зангезурская	50–100

Удельная сейсмическая мощность всех остальных зон составляет от 1 до 50 ед. Нет необходимости говорить, сколь условны эти цифры главным образом из-за недостатка фактических данных (за сравнительно короткий промежуток времени). Высокое значение  $N_m$  в зоне № 24 (Араксинская) вызвано эффектом главным образом одного землетрясения — 1840 г.; то же для зоны № 9 (Махачкалинской), где большая величина  $N_m$  объясняется, в сущности, одним землетрясением 1910 г. Сомнение вызывают крайне низкие значения  $N_m$  для зоны № 15 — Дзирульской. Но все же с учетом возможных погрешностей и неполноты подобные данные в какой-то степени отражают различия между зонами в сейсмическом отношении<sup>1</sup>.

#### Интенсивность $I_0$

Распределение землетрясений Кавказа 1800–1980 гг. по интенсивности в эпицентре  $I_0$  (по [31]) показано ниже:

$I_0$ , балл	5 и 5–6	6 и 6–7	7 и 7–8	8 и 8–9	9 и 9–10
$N$	13	45	61	25	4

Количество подземных толчков, как известно, закономерно падает с ростом как магнитуды, так и интенсивности, причем эта закономерность выдерживается всюду и достаточно устойчиво. Очевидно, на основании вышеприведенных данных следует предположить, что более или менее представительными являются землетрясения с  $I_0 = 7$ , а регистрация остальных осуществлялась с проблемами.

Некоторая зависимость существует между магнитудой и интенсивностью. При не слишком сильно варьирующих значениях  $h$  интенсивность должна увеличиваться с ростом  $M$ . В данном случае можно констатировать следующую зависимость:

$I_0$ , балл	6	7	8	8–9	$\geq 9$
$M$	5,0–6,0	5,0–6,5	4,7–6,2	5,4–6,9	6,5–7,3

Из приведенных данных видно, что для  $I_0 = 8$  баллов значения  $M$  оказываются более низкими, чем следовало бы ожидать. Может быть, интенсивность нескольких землетрясений с  $M \geq 6,3$  выше, чем принято считать? Нужно обратить внимание на то обстоятельство, что именно эти землетрясения обладали сравнительно большой для Кавказа глубиной очага: это землетрясения в Агдаме 1868 г. ( $h = 35$  км), в Теберде 1905 г. ( $h = 35$  км), Ардебиле 1924 г. ( $h = 75$  км) и в Каспийском море 1961 г. ( $h = 64$  км); именно поэтому в таких больших пределах изменяется  $M$  при 8-балльной интенсивности.

Интенсивность в 9–10 баллов дается только для одного землетрясения, именно Дилманского (на северо-западе Ирана) 6.05.30. В 9 баллов оцениваются Ардебильские 1879 г. (Иран) и Эрзерумские 1924 г. (Турция) землетрясения. Несколько 8-балльных землетрясений местами давали эффект до 9 баллов: Дагестанские 1830 и 1970 гг.; Шемахинские 1859, 1872, 1902 гг.; Ахалкалакское 1899 г.; Горийское 1920 г.; Ленинанское 1926 г.; Зангезурское 1931 г.; Чхалтинское 1963 г.; Варто 1966 г.

Для наиболее значительных землетрясений составлялись карты изосейст разными авторами в разных шкалах, но такие карты имеются, они служат известным дополнением к карте  $M$ , например [686].

Что касается сильных землетрясений далекого прошлого, то просто приведу их

<sup>1</sup> См. рис. 8.11.

Таблица 8.3  
Сильные ( $I_0 \geq 8$  баллов) землетрясения Кавказа I—XVIII вв.  
(по [796])

Год	Географические координаты		Район
	$\varphi$ , ° с.ш.	$\lambda$ , ° в.д.	
64—63 до н.э.	—	—	Тамань
735 н.э.	39,6	45,5	Даралагез
851, 858, 863, 869, 893, 894	40,0	44,6	Двин
906	39,6	45,5	Даралагез
1088	41,4	43,3	Ахалкалаки
1132	40,6	43,3	Ани
1139	—	—	Ганджа (Кировабад)
1192	40,7	48,6	Шемаха
1220	41,0	43,0	Ардаган
1235	40,7	46,3	Ганджа
1283	41,7	43,2	Боржоми
1318	41,8	43,7*	Мцхета
1319	—	—	Арабат, Ани
1667, 1669, 1671	40,7	48,6	Шемаха
1679	40,1	44,7	Гарни
1742	42,0	45,3	Алаверди

\* Цифра, вероятно, неточна. — Г.Г.

\*\* Вероятно, 1668.

список за I—XVIII вв. по [796] для  $I_0 \geq 8$  баллов (табл. 8.3). К сожалению, таблица, по-видимому, весьма неполна; имеются другие списки, например в работе [604]. Вопрос о сильных землетрясениях прошлых веков заслуживает отдельного, специального исследования.

И.В. Ананьиним и Т.Л. Кронрод [496] была предложена теоретическая модель изосейст, для чего использованы фактические данные по многим землетрясениям Кавказа; определены площади изосейсмических фигур в зависимости от магнитуды и интенсивности сотрясений, вытянутость и ориентация изосейст. Оказалось, что изосейсты обычно близки к эллипсам с отношением осей 0,7, но что оценки параметров 7-балльных изосейст неустойчивы. Приведена соответствующая карта для обширной площади от Кавказа до Балкан.

В сообщении С.А. Пирузяна (1967 г.) изложена методика "уточнения исходной сейсмической балльности" при выполнении работ по МСР по данным обследования древних сооружений с инженерно-геологической точки зрения и установления реакции сооружений на колебания почвы. Автор имеет богатый, собранный им фонд подобных наблюдений по всей территории республики.

Упомяну еще о статье Э.А. Джигладзе и ее соавторов [20] о соотношении между  $M$  и  $I_0$  при кавказских землетрясениях. Соотношение это выражено в аналитической, табличной и графической форме. Интенсивности 7 баллов отвечает приблизительно  $K = 12$  (при  $K = 5 + 1,6M$ ).

Можно сразу отметить одно общее для кавказских землетрясений свойство: какой бы интенсивности толчки ни достигали в эпицентре, колебания далеко не распространяются. Во-первых, это видно из того, что плейстоценовая площадь почти во всех случаях оказывается значительно меньшей, чем для большинства сильных землетрясений других регионов, например Туркмении или Средней Азии. Во-вторых, даже при самых сильных землетрясениях ощутимые колебания не выходят (или почти никогда не выходят) за пределы Кавказа. Ни одно землетрясение Кавказа не ощущалось севернее широты Ростова. Мы знаем, что карпатские землетрясения ощущаются, правда, в исключительных случаях, в Москве; землетрясения 1927 г. в Крыму заметным образом затронули всю площадь Украинской ССР; туркменские очаги продуцируют иногда колебания, доходящие до Астрахани, Куйбышева и т.п.: землетрясение 5.11.46, имевшее очаг вблизи Казанджика, ощущалось жителями высоких этажей в Москве. Ничего подобного ни разу не отмечалось при кавказских землетрясениях. Даже в случае удара

9-балльной интенсивности в эпицентре, потрясенная площадь оказывается сравнительно малой и 9-балльный эффект отмечается лишь в единичных пунктах.

Причин тому может быть несколько. Главная причина, разумеется, состоит в том, что энергия, выделяющаяся в очаге, при каждом таком землетрясении сравнительно невелика. Играет свою роль и то обстоятельство, что очаги землетрясений Кавказа, как правило, лежат неглубоко.

Другой причиной может служить то обстоятельство, что колебания, возникающие в очагах, расположенных южнее Главного Кавказского хребта — а таковых большинство — при своем распространении на север встречаются с экранирующим влиянием складчатых сооружений Большого Кавказа и не могут преодолеть этого влияния. Мне кажется это соображение заслуживающим внимания, особенно для мелких очагов. Еще в работе Н.В. Малиновского (1929 г.) указывалось на то, что структуры Главного Кавказского хребта влияют на ход сейсмических лучей, приходящих на сейсмическую станцию "Баку" с запада, отклоняя эти лучи, и тем самым вносят систематическую погрешность в вычисления азимута на эпицентр. Аналогичное в принципе явление было обнаружено Е.Ф. Саваренским при анализе хода сейсмических лучей во время Гармского землетрясения 1941 г. в Таджикистане. Об этом же говорит тот факт, что изосейсмальные зоны вытягиваются вдоль простираения складчатых структур, примеров чему можно привести сколько угодно. Другими словами, геологическое строение местности очевидно влияет на распространение сейсмических волн, и потому следует считать реальной возможность изложенного выше объяснения.

Правда, В.П. Солоненко высказал недавно [54] противоположное мнение. Основываясь на анализе изосейст преимущественно прибайкальских землетрясений, он констатировал: "Убеждение многих специалистов... в том, что сейсмические волны распространяются преимущественно вдоль складчатых систем ошибочно... На неравномерность распространения сейсмических ударов весьма существенное влияние оказывают дизъюнктивные структуры" (с. 122). Он же отметил факт резкого падения силы землетрясения "при прохождении сейсмических волн через разлом..." (с. 124). Что касается второго заключения, то оно высказывалось не раз и, вероятно, отвечает действительности, но в таком случае первый вывод автора оказывается в противоречии со вторым.

В последние годы вопросу о распространении сейсмических волн и о затухании колебаний с расстоянием посвящено немало исследований (Ананьин, Дарахвелидзе, Демиховская, Джибладзе, Кузнецов, Кронрод, Табуцадзе). Так, Э.А. Джибладзе с соавторами [585] показала, что для Кавказа на расстоянии от эпицентров в 200–300 км амплитуда колебаний убывает пропорционально  $r^{-2.1}$ , плотность потока энергии  $-r^{-4.7}$ , плотность энергии  $-r^{-4.2}$ ; с увеличением  $r$  затухание замедляется. Аналогичные результаты были получены Т.Г. Раутиан для Средней Азии [34]. Замечу, что большое внимание вопросу об усовершенствовании сейсмической шкалы уделяют сейсмологи Армении А.Г. Назаров, С.С. Дароинян [14, 28] и др.

### Макросейсмическое поле

Обычный общий вид "условного уравнения макросейсмического поля", как известно, выражается формулой  $I_0 = bM - \nu \lg h + c$ . Значение коэффициентов  $b$ ,  $\nu$ ,  $c$  меняется от места к месту, но в незначительных пределах.

Первоначальная форма, полученная Н.В. Шебалиным [64] и подтвержденная в каталоге [31], обладает численными коэффициентами  $b = 1,5$ ,  $\nu = 3,5$ ,  $c = 3,0$ .

В специальной работе по Кавказу И.В. Айвазов (Айвазишвили) [488] пришел к несколько иным цифрам:  $I_0 = 1,08 M - 1,23 \lg h + 3,22$ .

В работе И.В. Айвазишвили и В.Г. Папалашвили (1964 г., на груз. яз.) исследуется вопрос о соотношении между  $I_0$ ,  $M$  и  $h$ ; получено уравнение  $I_0 = 3,22 + 1,08 M - 1,23 \lg h$ . С помощью средних радиусов изосейст авторы получили значения  $h$  для 23 сильных землетрясений 1899–1959 гг., глубина очагов меняется от 3 до 40 км.

Д.А. Асманов и З.А. Мусалаева (1979 г.) для Дагестана дают  $I_0 = 1,5 M - 3,6 \lg h - 3$ .

Немало исследований на эту тему выполнили О.Ш. Варазанашвили, М.В. Рац, В.Г. Папалашвили, А.А. Роман; в статье Ф.Т. Кулиева по Азербайджану [633] уравнение принимает вид: для "депрессивных областей"  $I_0 = 1,4 M - 3,6 \lg h + 4,0$ ; для "горных" —  $I_0 = 1,5 M - 3,3 \lg h + 2,7$ .

"Уравнения макросейсмического поля", основанные на материалах хорошо изучен-

ных землетрясений, представляют удобный способ исчисления  $h$  по другим параметрам —  $M$  и  $I_0$ . И хотя реальная действительность, вероятно, сложнее того, что удается выразить в простой математической форме, но метод есть, и во многих случаях он приводит к определенным результатам; метод прост, разработана не только формула, но и таблица и несложные номограммы. Все это подкупает, возбуждая соблазны получить конкретные выводы без особых затруднений.

### Глубина очагов землетрясений $h$

Первое определение глубины  $h$  очагов кавказских землетрясений принадлежит А.И. Михалевскому [670]. Для Ахалкалакского 1899 г. и Горийского 1920 г. землетрясений он вычислил  $h$ , в обоих случаях равную 16 км. Для того же Горийского землетрясения другие авторы получили разные величины  $h$ : Е.А. Розова — 18–19 км, Т.М. Лебедева и В.Г. Папалашвили — 10–20 км; Н.В. Шебалин — 10–14 км; в каталоге [31] для Ахалкалакского землетрясения дается 8 км, Горийского — 11 км.

Е.А. Розова [721], используя методы Б. Гутенберга, В. Инглада и собственный, вычислила значения  $h$  для многих землетрясений 1933–1938 гг.; большая часть цифр колеблется в пределах 25–60 км. Подсчеты Е.А. Розовой показали, что "на Кавказе имеются землетрясения как с довольно глубокими фокусами, так и почти поверхностные" [720, с. 31].

В принципе уменьшение количества очагов с глубиной наблюдается всюду, но на Кавказе процент поверхностных очагов выше, чем в других местах, и, кроме того, все сильные землетрясения также обладают неглубокими очагами. Правда, позже было показано [547], что методические приемы, использованные Е.А. Розовой, приводили к некоторому завышению значения  $h$  и к недостоверному выводу о наличии на Кавказе горизонтальных поверхностной концентрации очагов.

Т.М. Лебедева [641] для Каспийского землетрясения 9.04.35. вычислила  $h$  более 200 км; это первое для Кавказа сравнительно глубокое землетрясение. В более поздней работе Т.М. Лебедева для того же землетрясения указала, что  $h = 155$  км. В работе Е.А. Розовой указано 54–74 км. У Е.И. Бюса и А.Д. Цхакая — 150 км, Н.В. Шебалин дает 110–160 км. В работе [4] — 150 км. В каталоге [31] — 90 км. Как видно, глубину очагов найти не просто. Для других случаев Т.М. Лебедева [690] приводит цифры для  $h$  от 25 до 50 км.

А.Я. Левицкая в 1949 г. нашла, что для восточной части Центрального Кавказа в большинстве случаев  $h = 25$  км, в единичных случаях — до 60 км. Точность определения  $h$  равна  $\pm 10$  км.

Н.К. Карапетян (1953 г.): очаги землетрясений Малого Кавказа залегают преимущественно в земной коре; глубина очагов на Кавказе вообще возрастает в восточном направлении.

Г.К. Твалтвадзе, Г.Е. Карцивадзе [756]: 125 определений  $h$  для периода с 16.03.50 по конец 1954 г. Значения колеблются в пределах от 0 до 30 км; таким образом, "предположение, что очаги большинства нормальных землетрясений приурочены к гранитному слою... не подтверждаются" (с. 167). Впрочем, как отметил А.Д. Цхакая, эти цифры "могут быть ошибочными" (1962, с. 578).

Надо отметить интересную, так сказать, пионерскую статью Т.М. Лебедевой [643] о глубоких землетрясениях Кавказского региона — 20.10.31, 3.05.35, 29.06.48, 14.11.53, 10.11.54 с очагами, лежащими на глубинах от 70 до 150 км, т.е. под земной корой.

В основу работы Н.В. Шебалина [66] положены определенные соотношения между магнитудой, интенсивностью землетрясений и глубиной его очага. Разработана номограмма и палетки, с помощью которых можно определить значение  $h$  по  $M$  и  $I_0$ ; в целях более надежного определения  $h$  автор использует и данные о расположении изосейст разных баллов. В итоге вычислена глубина 57 ощутимых землетрясений за время с 1911 по 1957 г. Глубины очагов колеблются от 2–3 км до 100–160 км. Автор так подытоживает свои исследования:

"1. Разработана методика определения глубины очага по совокупности сведений о магнитуде землетрясений  $M$  и данных о распределении балльности вдоль поверхности Земли.

2. Получено, что верхняя граница слоя пониженной скорости залегает на Кавказе на глубине в пределах 40–56 км.

3. Получены данные о глубине 57 ощутимых землетрясений Кавказа в пределах от 2—3 до 110—160 км.

4. Установлено существование в восточной части Кавказа и в Каспийском море зоны глубоких землетрясений, характеризующихся глубинами 40—110 км с понижением до 110—160 км в сторону Каспийского моря" (с. 167).

Краткую сводку по глубине залегания очагов Кавказских землетрясений опубликовала Э.А. Джибладзе (1960 г.); по подсчетам автора, до 60% очагов залегают не ниже 5 км, 31% — до 10 км, 9% — до 20 км. Довольно полную таблицу сведений о сильных землетрясениях (включая и данные о глубине очагов) опубликовал И.В. Айвазов (1961 г.).

Нельзя не отметить краткой, но содержательной сводки А.Д. Цхакая [755]. Автор указывает (для Кавказа) на то, что "большинство землетрясений обладает поверхностными очагами с глубиной менее 10 км" (с. 366), и лишь единичные связаны с большими глубинами — от 70 до 150 км (с. 369), а также приводит график зависимости между  $N$  (числом толчков) и  $M$  (магнитудой), статьи [757] о глубинах очагов, статьи [769] о графиках повторяемости с картой сейсмической активности — здесь автор для перехода от  $M$  к  $K$  (т.е. классу землетрясений) использует уравнение с коэффициентами, предложенными С.Л. Соловьевым:  $\lg E_{Дж} = 4,75 + 1,5M$  (позднейшие работы показывают, что целесообразнее использовать выражение  $\lg E_{Дж} = 4 + 1,6M$ ). А.Д. Цхакая констатирует: 1) Очаги сильных землетрясений, судя по макросейсмическим данным, лежат обычно в пределах первого десятка километров. 2) Инструментальные наблюдения не позволяют получить надежные сведения о глубине очагов из-за недостаточной густоты сети сейсмических станций. Исключение составляет Джавахетское нагорье, где имеется много станций, здесь глубина очагов оказывается, как правило, равной 0—10 км. 3) В некоторых эпизентральных районах работали временные экспедиционные сети станций, которые в большинстве случаев также дали для  $h$  величину 0—10 км. 4) В единичных случаях отмечаются очаги под земной корой с  $h$  от 60 до 150 км. А.Д. Цхакая не раз возвращался к проблеме нахождения глубины очагов землетрясения Кавказа.

Г.Я. Мурусидзе в 1973 г. предложил остроумный способ определения глубины очага землетрясения по записям лишь одной сейсмической станции.

Кроме того, имеется большое количество статей, посвященных описанию отдельных сравнительно сильных кавказских землетрясений, для которых в ряде случаев вычислена глубина очага. Некоторые сведения содержатся также в общих ежегодных обзорах сейсмической деятельности на Кавказе за последние годы, в сводных сейсмических бюллетенях ИФЗ АН СССР и в трудах и бюллетенях кавказских геофизических учреждений. Интересная работа опубликована в 1976 г. Г.Я. Мурусидзе [674]; автор сопоставил строение коры с глубиной гипоцентров, для чего составил ряд показательных профилей (к сожалению, без геологической интерпретации).

Последние данные по этому вопросу приведены в [31]. Согласно каталогу [31], по глубине очага  $h$  землетрясения 1800—1980 гг. распределяются следующим образом:

$h$ , км	0—9	10—19	20—29	30—39	40—49	50—59	60—69	70—79	80—89	90—99
$N$	27	54	32	25	7	4	3	5	0	1

Как видно, очаги землетрясений в основном концентрируются в земной коре, в верхней ее половине, на глубинах 10—20 км. В мантию очаги опускаются в редких случаях: одна группа сравнительно глубоких очагов (40—90 км) расположена в Каспийском море у берегов Азербайджана и Дагестана и мористее (в том числе все землетрясения с  $M > 6,0$ ); единичные очаги такого рода зафиксированы у Грозного и на крайнем северо-западе Большого Кавказа.

Некоторые из кавказских землетрясений, отличаясь значительной интенсивностью в эпицентре, носят совсем локальный характер. Таково, например, Амбролаурское землетрясение 26.09.40. В эпицентре (42,5° с.ш., 43,2° в.д., к западу от Они) оно достигло 7 баллов, но затронуло лишь несколько смежных селений, и даже на ближайших сейсмических станциях, в Тбилиси и Гори, амплитуда смещения частиц почвы достигла всего лишь нескольких микронов. Ясно, что очаг лежит совсем неглубоко; по данным Т.М. Лебедевой — у самой поверхности земли (2,5 км). При Гудермесском землетрясении 23.09.50 интенсивность в эпицентре, по некоторым данным, достигла 7 баллов, а площадь плейстосейстовой области составляет всего около 10 км<sup>2</sup>. Таких примеров

имеется немало. Подобные землетрясения представляют большой интерес, ибо они дают возможность искать определенные сейсмотектонические связи в их непосредственной форме. К сожалению, соответствующих исследований пока проведено мало. Нередко наблюдается пространственное совпадение эпицентров землетрясений с видимыми на поверхности теми или иными структурными элементами, но, во-первых, так бывает далеко не всегда, а во-вторых, достаточно ли такого совпадения для установления генетической связи между тем и другим явлением? Думаю, что нужно искать какие-то более убедительные признаки.

### Рои землетрясений и общие сотрясения

Одна из особенностей землетрясений Кавказа заключается в том, что здесь нередко отмечается появление большого количества толчков, слабо варьирующих в силе, заполняющих промежутки времени от месяца до года и связанных с ограниченной по площади областью. Это "плеяды", или "рои", землетрясений. Они отличны от повторных толчков, так как последние следуют за каким-то одним, основным, выделяющимся, а в данном случае таковой отсутствует. Пример тому — рой июньских землетрясений 1941 г. в Мегрелии (Грузия). Общее число их достигло 400, из них свыше 20 ощущалось непосредственно людьми (15.06 — с силой до 7 баллов). Для 17 из них Е.И. Бюсу [529] удалось найти эпицентры, среднее арифметическое для координат которых  $42^{\circ} 16' \text{ с.ш.}, 42^{\circ} 05' \text{ в.д.}$  Для 7 из них вычислена глубина очагов, в среднем — 16 км. Можно как будто наметить осевую линию этого роя эпицентров; внешне она совпадает, по мнению Е.И. Бюса, с зоной тектонического разрыва, "связанного с надвиганием южного крыла Южной Мегрельской синклинали" (с. 66).

В качестве другого примера можно указать на землетрясения 1946 и 1947 гг. в Приказбекском районе. Для 26 из них А.Я. Левицкая [646] определила координаты эпицентров. Они сконцентрированы вокруг горы Казбек, особенно к юго-востоку от нее. Эпицентры вытягиваются вдоль северо-западного—юго-восточного направления, т.е. вдоль оси мегантиклинория Главного Кавказского хребта, и связаны с очагами глубины преимущественно в 30 км. Наибольшей силой, до 5 баллов, отличались толчки 9.05.46, 19.05 и 15.08.47. Аналогичным примером являются Мадатапские землетрясения 1959 г., рой Гегечкорских землетрясений 1956—1957 гг. и др.

Подобные случаи — одно из проявлений, как я полагаю, тектонической подвижности обширных блоков коры (для того случая, когда напряжение рассеивается по обширному объему блока, не концентрируясь строго в каком-то одном месте).

Еще одна особенность кавказских землетрясений заключается в следующем. Некоторые из них характеризуются значительной областью сотрясения, но при небольшой интенсивности колебаний и при отсутствии ясно выраженного эпицентра. Л.А. Варданянц [546] предложил в свое время именовать подобные случаи "концертом землетрясений" или "общими сотрясениями" и полагал, что в этом случае наблюдается как бы несколько эпицентров, разделенных более спокойными участками. При этом "одновременно с главным сотрясением происходят второстепенные, приуроченные к самостоятельным очагам, которые в данный момент остаются второстепенными" (с. 58). Так, 9.04.35 произошло землетрясение, распространившееся на площади примерно  $500\,000 \text{ км}^2$ ; оно отмечено во многих пунктах на побережье Каспийского моря, в Астрахани, Кара-Богаз-Голе, Гасан-Кули, в Дагестане, Азербайджане и во многих местах Восточной Грузии. Между тем интенсивность в эпицентре, найденном по данным сейсмических станций ( $42,1^{\circ} \text{ с.ш.}, 48,8^{\circ} \text{ в.д.}$ , Каспийское море, близ Кусар-Чая), не более 6 баллов и-изосейсты провести трудно, настолько неопределенна картина их поведения. Для глубины очага давалась цифра в 90 км [31, с. 118].

Нечто в том же роде имел в виду С.А. Пирузян [699], обративший внимание на нередкие случаи одновременных, но изолированных сотрясений в пунктах, удаленных от основного эпицентра (например, при Араратском землетрясении 1840 г. и др.). Объяснение, по мнению С.А. Пирузяна, состоит в том, что "сильный, или главный, сейсмический толчок в какой-либо точке сейсмогенного разлома вызывает дополнительно новые подвижки в других точках разлома (второстепенные очаги) и, следовательно, порождает сотрясения земли над этими точками, в большинстве случаев менее интенсивные, чем при главном толчке" (с. 45). Аналогичные идеи встречались у М.Г. Агабекова, Ф.С. Ахмедбейли, Г.А. Гамбурцева.

Подобные землетрясения бывают в очень ярком выражении и в Средней Азии, особенно в Таджикистане, где они связаны с очагами до 300 км глубиной. Е.И. Бюс называл такие землетрясения "неправильными".

Мне представляется, что "общие сотрясения" вполне естественно объясняются в свете гипотезы о том, что источником колебаний служит не разрыв (или не разрывы), а вся масса породы, пришедшая в движение и испытывавшая деформацию; тогда вся эта масса, блок, структура, и будет очагом землетрясения. Другими словами, именно "общие сотрясения" должны встречаться отнюдь не редко, и именно они должны именоваться типичными, или правильными. И глубина очагов в этом случае совсем не обязательно должна считаться большой. Так, при Кубанском землетрясении с его весьма обширной областью слабых колебаний и очень сложной конфигурацией изосейст [788] глубина очага, может быть, вовсе не достигает 50 км, как указано в [31, с. 62], и в действительности будет гораздо меньше; источником колебаний может оказаться собственно чехол (пластина) новейших отложений.

#### Сейсмическая активность А и сейсмическая сотрясаемость В

Сейсмическая активность для Кавказа в целом или по республикам не раз служила темой специальных исследований (Бюс, Гоцадзе, Карапетян, Кириллова, Манукян, Ризниченко, Рубинштейн, Фабрициус, Цхакая). Одна из самых ранних карт сейсмической активности принадлежит Н.К. Карапетян и Ж.О. Манукян [603] — для территории Армянского нагорья, притом для разных периодов времени. Здесь в чистом виде выступает прямая зависимость этих карт от материала, доставляемого статистикой землетрясений. Иначе и быть не может, в том и состоит суть понятия о сейсмической активности.

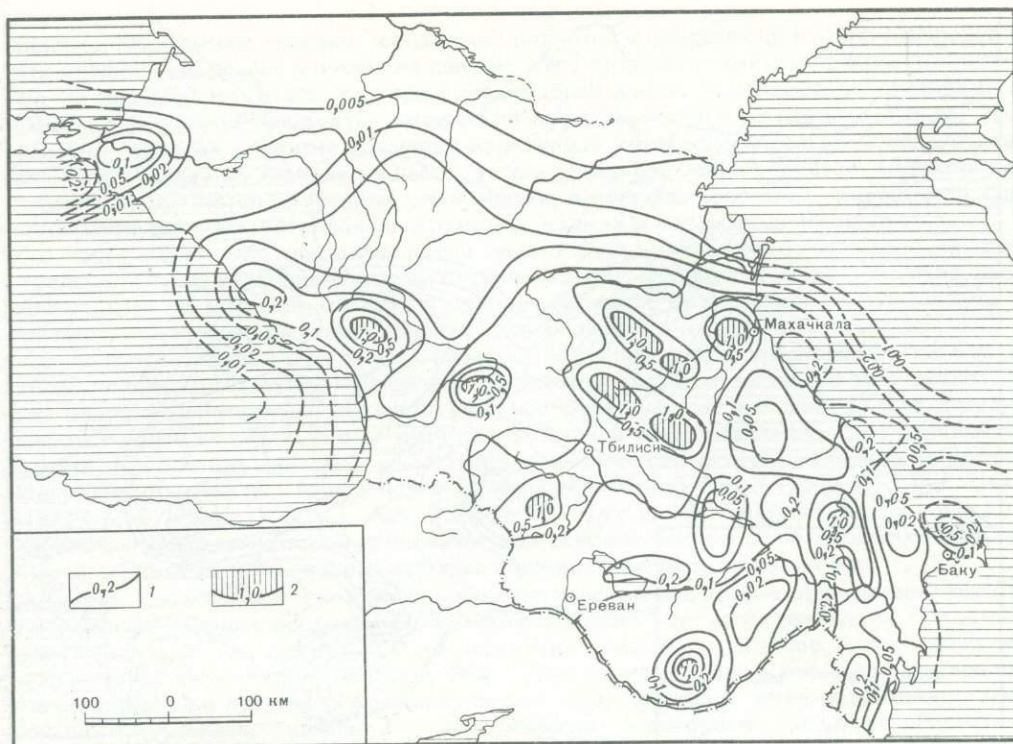
Несколько позже И.В. Кириллова [613] предложила взамен "точечной" карты эпицентров, карту их "плотности". Расчеты велись по квадратам 15 X 15 км. Подсчитывалось общее число эпицентров, относящихся к каждому квадрату, и по этим числам проводились изолинии. Термин "сейсмическая активность" появился позже [35], но И.В. Кириллова уже отметила преимущества площадного изображения сейсмических явлений (по сравнению с "точечным"), как, впрочем, об этом писали еще раньше Н.К. Карапетян и Ж.О. Манукян [603], а также Е.И. Бюс (в 1931 г.).

Здесь уместно вспомнить работу Е.И. Бюса [536], который отмечал, что "в среднем на территории Кавказской зоны 8-балльные землетрясения случались раз в 9—10 лет, 7—8-балльные — два раза в пять лет, 5—6-балльные — раз в два месяца, 4-балльные — раз в три дня, 1—3-балльные — ежедневно и притом часто несколько раз" (с. 63). Здесь Е.И. Бюс весьма близок к тем представлениям, которые позже получили наименование "сейсмическая сотрясаемость". Е.И. Бюс исчисляет "соотношение числа слабых и сильных землетрясений на весь период, приведенное к единице площади" для различных регионов, и показывает, что полученная таким образом "относительная сейсмичность" оказывается наиболее высокой у Джавахетского региона. Е.И. Бюс приводит оригинальный график сопоставления различных шкал — сейсмоэнергетической, магнитудной, энергопоказательной, энергетической; все графики растут, конечно, в одном направлении (ибо основаны на одном и том же материале).

Так мы подходим к понятию о "сейсмической сотрясаемости" [35] — методу анализа, получившему в последние годы широкое распространение, в том числе в Армении, Грузии, Азербайджане.

Нельзя не отметить в связи с этим оригинальное исследование, выполненное недавно узбекскими геологами [682]. Они попытались выяснить, в какой степени "случайными" могут считаться кавказские землетрясения. Авторы выделили на Кавказе восемь "сейсмических регионов" и для каждого из них исследовали "закономерности" проявления сильных землетрясений. Вывод таков: "В пределах Кавказского сейсмического региона распределение землетрясений во времени и по сейсмозонам носит случайный характер" (с. 76). Геологический смысл подобного заключения для меня остается неясным, может быть, вследствие иного понимания термина "случайность". Во всяком случае, исследование такого "целевого" направления перспективными считать трудно.

Я упоминал об интересной работе В.И. Бунэ и соавторов [686], где в крайне сжатой форме описаны и проанализированы сведения по основным параметрам сейсмического режима Кавказа; там же приведена карта сейсмической активности. Подобные карты в последние годы вошли в практику региональных сейсмических исследований, так же



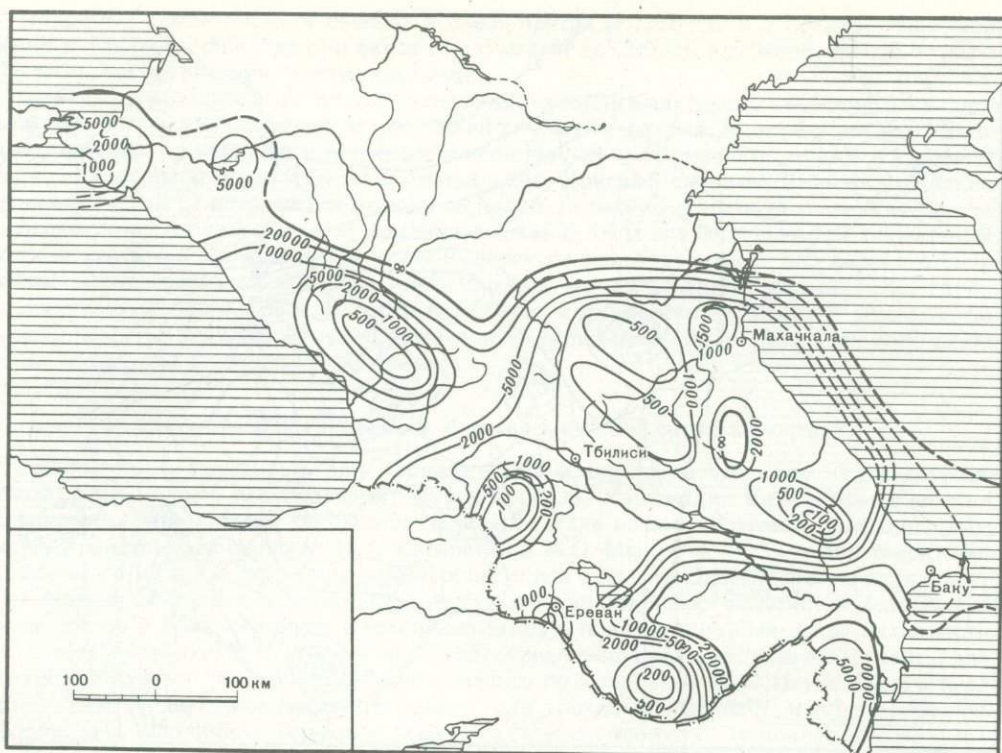
Р и с. 8.4. Карта сейсмической активности территории Кавказа [47]  
 1 — изолинии  $0 < A < 1,0$ ; 2 — площади  $A_{\max} \geq 1,0$

как и графики повторяемости; последние выражают то свойство землетрясений, которое Ю.В. Ризниченко именует даже "законом" — именно уменьшение числа событий с возрастанием их "величины" (магнитуды, интенсивности).

В работе [718] Ю.В. Ризниченко и Э.А. Джибладзе показали, что современная сейсмическая активность, рассчитанная по инструментальным наблюдениям за 6 лет (1962—1967 гг.), "сопоставима с тем, что следует из аналогичного анализа больших землетрясений, известных за предыдущие 1000 лет". Более того, общие закономерности, вытекающие из анализа данных по Кавказу, отвечают тому, что получено в этом отношении в других районах Евразии. Авторы дают формулу зависимости  $A$  от  $K_{\max}$  и публикуют карту  $K_{\max}$  для Кавказа; в центре Кавказа располагается значительная площадь с  $K_{\max} = 17$  (в том числе и район Тбилиси). Мне кажется, что эта карта подтверждает положение о том, что "чистая" статистика не всегда приводит к убедительным результатам.

Последняя по времени опубликованная карта сейсмической активности помещена в монографии [47] (рис. 8.4). В этой же монографии помещены карты "сейсмической сотрясаемости" для 7,8 и даже 9 баллов (рис. 8.5). Семибалльные сотрясения происходят в некоторых местах Кавказа с частотой один раз за 50—100 лет, 8-балльные — в 100—200 лет, 9-балльные — раз в 500—1000 лет. Цифры весьма условны, так как исходная база для расчетов весьма ограничена.

Качество информации, доставляемой этими картами, весьма существенно страдает от недостатков исходного материала, т.е. от неполноты статистики землетрясений. По этому поводу именно на Кавказе вышла в свет интересная работа Г.Я. Мурусидзе и соавторов [684], которые пишут "... период наблюденного материала, необходимого для составления стабильных карт сейсмической активности, должен быть довольно большим. . . он должен быть значительно больше периода повторяемости сильных землетрясений на изучаемой территории" (с. 159). Я уже приводил эту выдержку в полном виде в 1.6. Кратковременность учитываемых периодов времени приводит к тому, что карты сейсмической активности, а также и сотрясаемости, сильно варьируют в зави-



Р и с. 8.5. Сейсмическая сотрясаемость  $B_8$  территории Кавказа [47]

симости от того, к какому периоду времени они относятся. Да, статистика есть статистика.

Несмотря на это, понятия о сейсмической активности и сейсмической сотрясаемости вошли в фонд достижений отечественной сейсмологии. И более того, может быть, на этом принципе будут построены карты сейсмического районирования будущего.

#### 8.4. ГЕОЛОГИЯ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

**Альпийская тектоника.** Обе части Кавказа, т.е. Большой и Малый Кавказ, в мезозое представляли типичную геосинклиналь. Морской режим и постоянное, хотя и неравномерное, опускание дна моря привели к накоплению мощных толщ терригенных и карбонатных осадков, которые со временем под влиянием процессов диагенеза и метаморфизма превратились в толщи сланцев, песчаников, конгломератов и известняков; значительным объемом отличаются тела магматических пород, в особенности юрского и четвертичного возраста.

Начало кайнозоя ознаменовалось возникновением складкообразовательных движений (альпийская складчатость), активность которых достигала максимума в среднем палеогене ( $P_2$ )—миocene ( $N_1$ ). Понятие о складчатости включает такие процессы, как формирование системы различных по масштабу и форме складок (вплоть до линейных и изоклинальных), сети разрывных нарушений (по преимуществу продольных надвигов, реже сбросов, сдвигов, шарриажей), глубинных разломов, проявления магматизма, т.е. в итоге — формирование складчатой зоны альпид с ее частными структурами, весьма разнообразными по составу, строению и масштабу. Одновременно (а может быть, раньше) происходит процесс утолщения земной коры (прогибание ее подошвы), т.е. возникает "сиалический корень" (скорее всего, под влиянием тех же напряжений сжатия, результатом которых является складчатость).

Затем наступает следующий, "новейший" этап развития ( $N_2-Q$ ) — общий, хотя и неравномерный, подъем (инверсия режима) и формирование горного сооружения, т.е.

системы продольных, нередко "сводовых" поднятий и разделяющих их также продольных впадин; решающее влияние на данном этапе оказывают силы изостазии, нарушенной на предыдущем этапе, т.е. при складкообразовании. Одновременно усиливаются процессы денудации, продукты разрушения пород выносятся из гор во впадины; тем самым в пределах поднятий создается изрезанный контрастный рельеф, а впадины заполняются осадками (по преимуществу терригенного состава). В процесс поднятия постепенно вовлекаются окраинные части впадин, и площадь последних сокращается. Одновременно развиваются глубинные разломы, а также и поперечные нарушения.

В итоге образуется так называемый эпигеосинклинальный ороген, конечный член "трилогии" геосинклиналь—складчатая зона—ороген. Естественно, все три этапа проникают друг в друга, четких границ здесь не провести, но в принципе развитие типичной геосинклинали происходит именно в таком порядке и не только на Кавказе.

В последнее время в геологии наблюдается тенденция к усложнению понятия о геосинклиналих, создается множество их разновидностей и такое же множество новых малоупотребительных терминов. Или, наоборот, понятие о геосинклиналих ликвидируется вовсе из-за его якобы неопределенности и многообразия форм проявления. Думаю, что обе эти экстремальные точки зрения непродуктивны, излишни и вредят нормальному развитию нашей науки. Классические идеи J. Hall (1859 г.), J. Dana (1873 г.), E. Naugh (1900 г.), А.А. Борисяка (1924 г.), А.Д. Архангельского (1923 г.), освобожденные от некоторой первоначальной схематичности и от позднейших усложнений, модернизаций и т.п., сохраняют свою принципиальную силу до сих пор.

Кавказ, как Большой, так и Малый, в тектоническом отношении отвечает понятию об эпигеосинклинальных орогенах альпийского возраста. Он характеризуется гетерогенным строением, т.е. разделяется на несколько участков, регионов, различающихся строением и геологической историей. Это — Предкавказье (Предкавказская эпигерцинская платформа и предгорные альпийские прогибы) на севере, затем мегантиклинорий Большого Кавказа, южнее — Закавказские межгорные впадины Рионская и Куринская и, наконец, мегантиклинорий Малого Кавказа.

В пределах мегантиклинория Большого Кавказа выделяются три структурных этажа альпийского типа складкообразования: "нижний" ( $T - K_1$ ), в строении которого принимают участие преимущественно юрские сильно дислоцированные отложения; "средний" — ( $K_2 - N_1^1$ ) с преимущественным развитием верхнемеловых отложений, собранных в сравнительно простые складки; "верхний" ( $N_1^2 - Q$ ), характеризующийся в основном рыхлыми осадками неогена ( $N$ ) значительной мощности. Структурные этажи разделены отчетливыми несогласиями.

Всю площадь мегантиклинория можно разделить на две части: западную и восточную. В ядре западной части выделяется область выходов структур герцинского возраста и два небольших участка молодых ( $N - Q$ ) вулканических излияний в районе Эльбруса и Нальчика. Восточная часть представляет собой в основном обширное поле развития сильно дислоцированных, существенно терригенных отложений лейаса ( $J_1$ ).

По северному фасу мегантиклинорий Большого Кавказа граничит по более или менее резко выраженному тектоническому шву ("Северный" глубинный разлом по С.Л. Бызовой), с предгорными прогибами: Индоло-Кубанским, Восточно-Кубанским и Терско-Сунженским; по восточному краю ("Восточный" глубинный разлом) — с Дагестанским и Кусарским предгорными прогибами. Прогибы выполнены мощными толщами кайнозойских отложений.

В центре Предкавказья мегантиклинорий соприкасается с южной частью Скифской плиты, с ее относительно приподнятым палеозойским фундаментом (Ставропольский выступ).

Следует подчеркнуть наличие асимметрии в строении мегантиклинория Большого Кавказа — резко выраженную вергенцию складчатых нарушений в южном направлении. Иногда в качестве важной особенности развития Большого Кавказа отмечается тот факт, что западная его часть прошла этап геосинклинального развития ранее восточной — может быть, это обстоятельство в какой-то мере объясняет более высокий уровень сейсмических проявлений в восточной части по сравнению с западной.

В пределах Закавказской межгорной зоны выделяются приподнятый Дзирульский массив<sup>1</sup> (где выведены на поверхность метаморфические сланцы и мраморы ниже-

<sup>1</sup> Впрочем, массив можно интерпретировать как окончание южного крыла Западного антиклинория Большого Кавказа.

го палеозоя, гранитоиды, маломощные отложения мезозоя и кайнозоя), межгорные впадины Рионская и Куринская, выполненные мощными, местами дислоцированными отложениями кайнозоя. Фундамент впадин залегает на разной глубине, вплоть до 5 км (а местами, может быть, и больше).

Мегантиклинорий Малого Кавказа отличается отсутствием главного осевого поднятия и большой сложностью и пестротой состава и тектоники. В его структуре выделяется несколько приподнятых блоков, которые можно объединить в две основные группы: Сомхето-Карабахский антиклинорий на севере (иногда его считают основным) и Мисхано-Зангезурский на юге; они сложены преимущественно юрскими и меловыми породами морских фаций с большим количеством магматических ингредиентов.

Мегантиклинорий Малого Кавказа представляет в плане дугу, обращенную выпуклостью к северу и наиболее близко подходящую к структурам северного Кавказа в зоне Дзирульского массива, чему отвечает и соответственный выступ в рельефе подошвы коры.

Западная часть мегантиклинория Малого Кавказа (Аджаро-Триалетские горы) сложена в основном третичными породами ( $P, N$ ), восточная — мезозойскими с обилием магматического материала ( $J, Q$ ). В восточной части выделяются Сомхето-Карабахский и Мисхано-Зангезурский антиклинории с пролегающим между ними Севанским синклинорием.

На юге региона, по границе с Турцией, лежит Араксинская межгорная депрессия, выполненная отложениями  $N_2-Q$ .

Все структурные комплексы Кавказа пересекаются в меридиональном направлении (вдоль  $43^\circ$  в.д.) зоной грандиозного Транскавказского линейamenta (широкой зоной повышенной проницаемости и подвижности земной коры), протягивающегося от Ирака на юге до Ергеней на севере. Имеется большое число разрывов других типов и рангов — продольных (ЗСЗ), поперечных (СЮ) и диагональных (особенно СВ) простираций.

Итак, длительный этап геосинклинального развития в течение мезозоя с господством отрицательных движений земной коры сменился этапом складкообразования (альпийская складчатость) и завершился орогенным этапом, выразившимся в инверсии тектонического режима и формировании горных систем Большого и Малого Кавказа как орографических единиц. Земная кора в целом приобрела блоковое строение, что отражается и в строении приповерхностной зоны.

Стоит отметить обилие на Кавказе тектонических нарушений различных рангов — от самых крупных единиц типа складчатого сооружения всего Кавказа в целом до самых малых тектонических деформаций.

Необходимо отметить одно существенное различие в тектонических позициях Большого и Малого Кавказа. Мегантиклинорий Малого Кавказа представляет собой одно из звеньев альпийского подвижного пояса Евразии. Изгибаясь дугообразно с выпуклостью к северу, он на юго-востоке, через Ардебиль и Талыш, переходит в широтные цепи Эльбурса. На юго-западе Малый Кавказ причленяется к широтным цепям Северной Анатолии. Таким образом формируется изогнутая северная ветвь альпийского эпигеосинклинального орогена Евразии на участке Малой Азии.

Мегантиклинорий Большого Кавказа не укладывается в эту схему. Он вместе с Крымом, с одной стороны, и Балханом — с другой, представляет собой некоторого рода сателлит, спутник (кто-то именовал его аппендиксом) основной, ведущей структуры альпийского орогена Малой Азии, хотя по масштабу и яркости проявления своих тектонических черт превзошел последнюю. Странное, непонятное положение занимает Большой Кавказ, и аналога ему нет на всем протяжении альпийского пояса — от Пиренеев и Альп до Памира и Гималаев. Большой Кавказ почти касается северного фаса Малого Кавказа, сближаясь с ним на апикальном участке горизонтальной дуги Малого Кавказа, в восточной части Триалетского антиклинория. В точке сближения, на перемычке, разделяющей Рионскую и Куринскую впадины, располагается Дзирульский массив, т.е. блок фундамента, вышедший на поверхность. Севернее точки сближения в водораздельной части Главного хребта, между Казбеком и Эльбрусом, мегаантиклинорий Большого Кавказа резко сужается (до 50 км).

Позволю себе привести здесь хотя и большую, но, на мой взгляд, удачную выдержку из работы Е.Е. Милановского и В.Е. Хаина [669]: "Северная часть Кавказского перешейка, включающая Ставропольскую возвышенность и равнинные пространства к северу от нижних течений Кубани и Терека, представляет собой . . . молодую, эпигерцин-

скую Предкавказскую платформу. Ее складчатое основание сложено породами палеозоя, а осадочный чехол — мезозоем. . . и кайнозоем. Складчатое основание наиболее приподнято в средней части Предкавказья — в Ставропольском поднятии — и значительно погружается к западу от него. К югу от Ставропольского поднятия эпигерцинская платформа непосредственно сочленяется с мегантиклинорием Большого Кавказа, а по обе стороны от этого поднятия отдалена от него (поднятия Большого Кавказа. — Г.Г.) прерывистым поясом передовых (краевых) прогибов — 1) Кубанского на западе и 2) Терского на востоке" (с. 26); последний в своей восточной части непосредственно переходит (вдоль побережья Каспийского моря) в Дагестанский и Кусарский прогибы, выполненные мощными толщами кайнозойских отложений молассового типа.

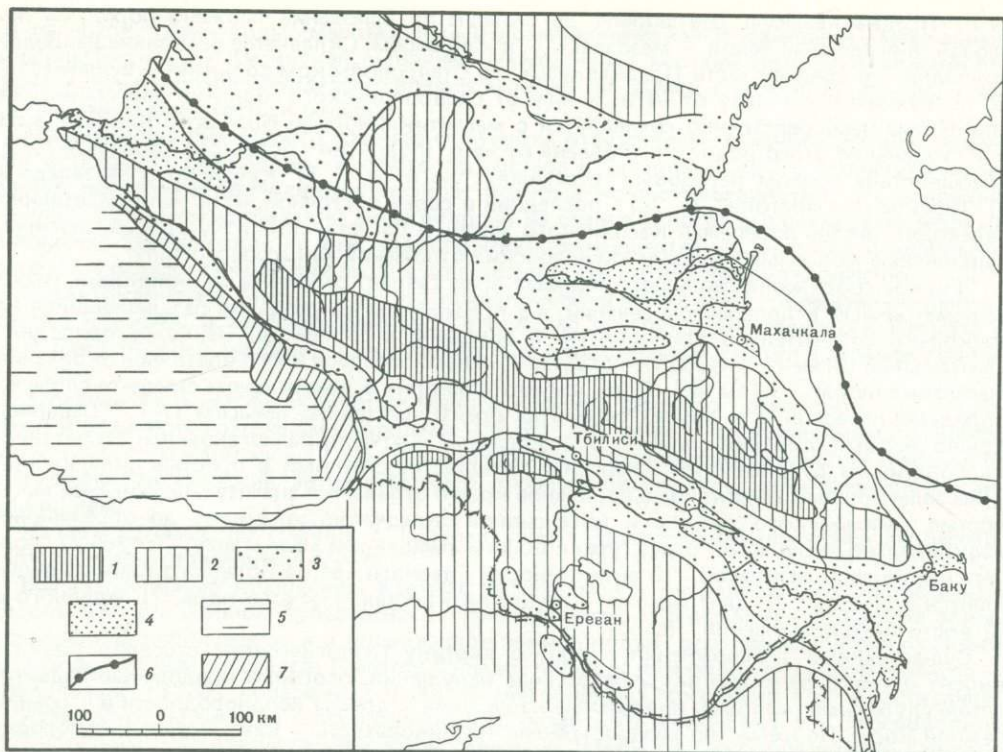
"Горное сооружение Большого Кавказа представляет собой мегантиклинорий, резко асимметричный в поперечном сечении, а в продольном направлении разделяющийся на несильно относительно приподнятых и опущенных сегментов. Наиболее приподнят центральный сегмент, а наиболее погружены северо-западное и юго-восточное окончания мегантиклинория" [Там же]. Ядро мегантиклинория в центральном сегменте сложено породами палеозоя, а в других сегментах преимущественно лейсом ( $J_1$ ). "Северное крыло мегантиклинория сложено мезозойскими и отчасти палеогеновыми терригенно-карбонатными отложениями умеренной мощности, смятыми в простые складки или даже залегающими моноκлиально. Южное крыло отличается значительно большей мощностью мезозойского разреза и интенсивной складчатостью, вплоть до образования изоклиально-чешуйчатой структуры с общим смещением масс к югу" (с. 26—27, подчеркнуто всюду авторами). "В антиклинории Главного хребта Большого Кавказа выделяются три зоны: 1) центральная — поднятий кристаллического ядра, 2) западного и 3) восточного погружения" (с. 55).

Существенные осложнения в общую картину геологического строения Кавказа вносят широко развитые здесь разрывные нарушения, особенно продольные надвиги, затем глубинные разломы, поперечные нарушения и другие неоднородности в строении земной коры. Повсеместно распространена трещиноватость — как в коренных породах осадочного чехла и эффузивных образований, так и в рыхлых породах четвертичного возраста (лессы и т.п.) с преимущественным развитием трещин по азимутам  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $315^\circ$  (Г.Н. Каттерфельд, 1980 г.). Некоторыми особенностями отличается также план развития новейших и современных движений.

Таково строение Кавказа в самых общих чертах. Вопросы тектоники региона столь часто рассматривались в специальных исследованиях, что, думаю, в общем обзоре можно ограничиться лишь ссылкой на некоторые капитальные работы, с которыми читатель, несомненно, знаком или легко может ознакомиться. К таким важнейшим работам относятся многочисленные и интересные своими идеями работы Г. Абиха (XIX в.), значительно более поздние тома "Геологии СССР", монографии или статьи Г.Д. Аджирея, Ш.А. Азизбекова, Ф.С. Ахмедбейли, М.С. Бадаляна, Б.К. Балавадзе, В.В. Белоусова, А.А. Богданова, Л.А. Варданянца, А.В. Вихерта, А.А. Габриеляна, Р.М. Гаджиева, П.Г. Гамкредидзе, Б.В. Григорьянца, М.А. Кашкая, М.С. Иоселиани, И.В. Кирилловой, Л.В. Когошвилли, Н.В. Короньского, В.Н. Крестникова, М.Г. Ломизе, Е.Е. Милановского, М.В. Муратова, К.Н. Паффенгольца, С.А. Пирузяна, В.А. Растворовой, А.Л. Рейнгарда, В.П. Ренгартена, М.М. Рубинштейна, В.И. Славина, М.Н. Смирновой, А.А. Сорского, В.Е. Хаина, А.Л. Цагарели, Н.С. Шатского, В.Н. Шолпо и многих других геологов нашего века.

Известно большое количество геологических, тектонических и близких к ним карт всего Кавказа и отдельных республик или регионов, например "Геологическая карта Кавказа" 1956 г., "Геологическая карта ГССР" 1961 г., "Тектоническая карта ГССР" 1961 г., "Схематическая тектоническая карта АрмССР" 1967 г. и многие другие, или территорий больших размеров, но захватывающих и Кавказ: "Тектоника Европы" 1964 г., "Тектоническая карта Евразии" 1966 г., "Схематическая карта расположения глубинных разломов" 1967 г., "Карта разломов 1980 г..."

Следует отметить, что в последнее время происходит принципиальный пересмотр — под углом зрения "Новой глобальной тектоники плит" — ранее устоявшихся взглядов на строение и развитие Кавказа. В качестве примера можно привести сборник [89] или брошюру [555] со множеством новых предложений по вопросам тектоники Кавказа. В частности, в упомянутом сборнике [89] имеется статья [605] с новой схемой геотектонического районирования Кавказа; трудно судить по этой заметке о достоинствах



Р и с. 8.6. Новейшая тектоника Кавказа [103]

1, 2 — абсолютные поднятия: 1 —  $> +4000$  м, 2 — от 0 до  $+4000$  м; 3, 4 — абсолютные опускания: 3 — от 0 до  $-4000$  м, 4 —  $< -4000$  м; 5 — участки коры, в пределах которых отсутствует "слой гранита"; 6 — южная граница Восточно-Европейской платформы; 7 — континентальный склон

предлагаемых модели и схемы, поскольку предельно лаконичный текст представляет лишь тезисы доклада (ноябрь 1976 г., Москва); ясное дело, столь кардинальная перестройка имеющихся схем нуждается в особенно солидной аргументации.

**Новейшие движения.** Новейший этап (в основном  $N-Q$ ) характеризуется интенсивными поднятиями, которые достигли максимума (более 4 км) в осевой части мегантиклинория Большого Кавказа. Окружающие мегантиклинорий депрессии — предгорные прогибы на севере и востоке, межгорные впадины на юге — испытывали в это время опускание, достигшее максимальных амплитуд (4–6 км) в восточных частях впадин (прилежащих к глубокой депрессии Каспийского моря) и на крайнем северо-западе региона (на нижней Кубани и в Азовском море).

После этапа многочисленных как тематических, так и региональных исследований по вопросам неотектоники Кавказа появились в последние годы обшие сводки, которыми удобно воспользоваться. К ним относятся монография Е.Е. Милановского [658] со множеством иллюстраций и генеральной картой новейших движений; книги Н.В. Думитрашко и соавторов [589], Ф.С. Ахмедбейли [506], Н.Е. Астахова [504], Л.К. Когошвили [622]; статьи (Агабеков, Ахмедбейли, Будагов, Думитрашко, Милановский, Николаев, Растворова, Хаин) и крупномасштабные карты, например "Неотектоническая карта Азербайджана" 1972 г. или аналогичные карты по другим республикам, а также по всему Кавказу (июль СССР); "Карта новейшей тектоники. . ." [104], изданная под редакцией Л.П. Полкановой; "Карта новейшей тектоники". . . [103], в том числе и Кавказа, с соответствующим описанием; сильно упрощенный вариант последней приведен на рис. 8.6. Более детальная карта неотектоники была опубликована Е.Е. Милановским [667].

Большое значение приобретает изучение рельефа, поскольку "основные этапы его формирования относятся к плиоцену и антропогену" [117, с. 39].

Новейшие движения (орогенный этап) распадаются в смысле хронологии и форм проявления на две стадии: первая, раннеорогенная, олигоцен-миоценовая ( $P-N_1$ ), характеризуется тем, что в это время "завершается отмирание последних частных геосинклинальных прогибов, формируется их складчатая структура, эти зоны спаиваются со смежными, ранее возникшими антиклинорными зонами в более крупные сложно построенные складчатые сооружения — мегантиклинории. . . Однако интенсивность общего воздымания мегантиклинориев. . . еще очень невысока, их подъем почти компенсируется денудацией, и горный рельеф возникает лишь на отдельных участках. . ." [668, с. 333].

Вторая, позднеорогенная стадия (начиная с позднего сармата —  $N_1^3 S$ ) характеризуется тем, что интенсивность воздымания антиклинория Большого Кавказа и Малого Кавказа значительно усиливается и темп его продолжает возрастать в позднем плиоцене и особенно в антропогене.

В общем за позднеорогенную стадию Большой Кавказ был приподнят до 3–5 км, а Малый Кавказ — до 2–3 км. "Воздымание в целом происходит в форме сводово-глыбовых поднятий, более дифференцированных на площади Малого Кавказа, и сопровождается вспышками вулканизма. . . Амплитуда погружения за позднеорогенную стадию в осевых зонах краевых прогибов Предкавказья доходит до 1,5–2,5 км на западе и до 5–7 км на востоке. Таким образом, погружения в восточных частях краевых межгорных прогибов, тяготеющих к Каспийской зоне поперечного опускания, были в общем более значительными, чем в их западных частях" [668, с. 334].

По Н.И. Николаеву [103], Большой Кавказ (вместе с Аджаро-Триалетским хребтом) относится к "континентальным эпигеосинклинальным орогенам конструктивного типа тектогенеза новейшего этапа развития позднекайнозойской складчатости Альпийского пояса" с преобладанием положительных вертикальных движений амплитудой в тысячи метров. Краевые и межгорные депрессии — то же, но с новейшими движениями отрицательного знака (тех же амплитуд). Малый Кавказ — несколько иное: континентальный ороген "промежуточного" типа мезозойско-кайнозойской—раннекайнозойской складчатости альпийского пояса реконструктивного типа тектогенеза новейшего этапа развития с преобладанием положительных вертикальных движений. В Предкавказье располагается континентальная молодая плита с положительными движениями в сотни метров для Ставропольского выступа и отрицательными (также в сотни метров) — для северных крыльев Азово-Кубанской и Терско-Судженской впадин.

Амплитуда поднятий и погружений за весь новейший этап, по [681], измеряется большими цифрами, чем указаны в [668], достигая 6–7 км для поднятий (на Большом Кавказе) и более 5–6 км для опусканий (в краевых и межгорных депрессиях). "Данные свидетельствуют о громадном размахе тектонических движений на юго-восточном Кавказе за период после верхнего сармата" [520, с. 382].

Значение возможных горизонтальных движений в упомянутых работах [520, 681] не подчеркивается, вероятно, из-за трудностей фиксации таких движений и отсутствия реперов, на которые можно было бы опираться в расчетах. Исследованиями В.А. Магницкого (1946 г.), а затем Ю.А. Косыгина и В.А. Магницкого (1948 г.) был разработан принцип трансформации вертикальных (преимущественно нисходящих) движений в горизонтальные, но последние и в данном случае исследованы слабее.

Замечу, что в некоторых работах было выражено мнение об отсутствии на Кавказе признаков новейшей инверсии, о том, что частная инверсия тектонического режима "ни формально, ни по существу не имеет места" (Резанов, Шевченко, 1977 г.). Нашей целью не является рассмотрение вопросов тектоники во всех деталях, и я ограничусь лишь указанием на существование такого мнения. Думаю, что работами многих авторов, в том числе В.В. Белоусова [514], существование этапа новейшей инверсии на Кавказе было доказано вполне убедительно.

Важно отметить размещение в количественном выражении зон повышенных значений горизонтального градиента новейших вертикальных движений  $grad v$ . В этом отношении можно сослаться на вычисления и соответствующую карту из работы [668], где выделены "зоны с преобладанием различных градиентов" в единицах  $n$  км/10 км при  $n$ , изменяющимся от 0 до 5 км (с. 82). Максимальными цифрами характеризуются северный и южный фасы восточной половины Большого Кавказа, зона сочленения мегантиклинориев Большого и Малого Кавказа севернее Тбилиси, северный борт Рийонской впадины, зона контакта Индоло-Кубанского прогиба с зоной периклинального погружения

западной части Большого Кавказа, некоторые места на площади мегантиклинория Малого Кавказа (вдоль северного борта Араксинской впадины и др.). Я попытался на основе карты Е.Е. Милановского построить схему распределения градиентов скорости новейших вертикальных тектонических движений и выделить особо участки движений со значениями градиентов порядка  $(8-9) \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$  (что обычно считается одним из признаков повышенной сейсмической опасности); дать более детальную картину распределения градиентов в масштабе карты, учитывая дробность движений и обилие в ряде районов сложных локальных структур, невозможно. Тем не менее карта отчетливо показывает, что контрастные новейшие движения связаны в подавляющем большинстве случаев с теми же участками, которые разграничивают области интенсивных движений различного знака на протяжении всего альпийского этапа, что свидетельствует об унаследованности новейших движений от альпийских. Отсюда следует, что, связывая сейсмические явления в основном с современными и новейшими движениями земной коры, мы можем в нужных случаях апеллировать и к альпийским движениям вообще. Тем самым подчеркивается значение анализа всей геологической предыстории района, необходимость чего отмечали в ряде своих исследований Б.А. Петрушевский, а в последнее время (на материале Таджикистана) — П.Н. Николаев.

Роль новейших движений в процессе сейсмогенезиса — эта тема специально рассматривалась в ряде работ.

В.А. Растворова [708] подчеркивала три главных особенности движений новейшего этапа: новейшие движения 1) характеризуются в целом разрастанием сводового поднятия Большого Кавказа за счет окружающих его депрессий; 2) неравномерно проявляются во времени, усиливаясь в конце миоцена—начале плиоцена, в конце плиоцена—начале четвертичного периода, в середине четвертичного периода; 3) неравномерно проявляются и в пространстве, со временем сдвигаясь на восток.

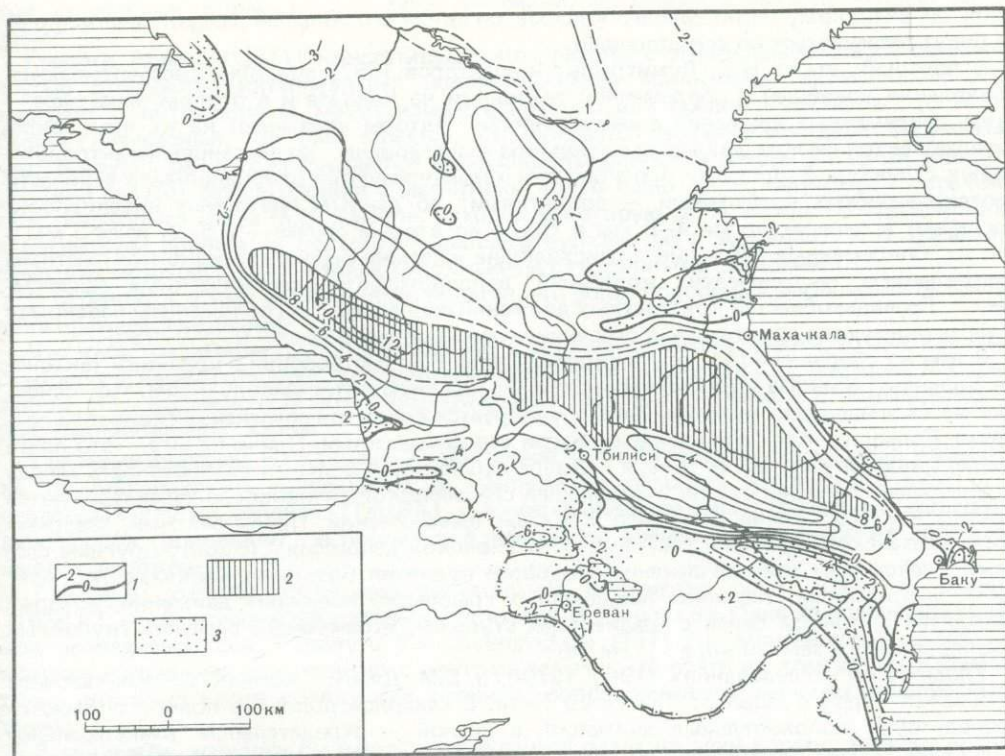
Подчеркивается, что на Западном Кавказе новейшие движения были весьма интенсивными в позднем миоцене, на Восточном — в среднем плиоцене, и высокую сейсмичность восточной части в сравнении с западной В.А. Растворова объясняет тем, что "с середины плиоцена произошел сдвиг тектонической активности на восток" (с. 1180). Кроме того, отмечая сейсмогенерирующую роль зон сочленения областей поднятия с областями опускания, поскольку здесь новейшие движения наиболее контрастны, В.А. Растворова выражает удивление в том, что для районов Ахалкалакского, Зангезурского, Краснополянского, расположенных в области поднятий, связь сейсмичности с новейшими тектоническими движениями остается неясной. Думаю, что наоборот: в концепции "объемного очага" именно области интенсивного поднятия должны обладать высокой сейсмичностью. В.А. Растворова обращает внимание на соотношение сейсмичности с полем гравитационных аномалий, особенно в переходных зонах от поднятий и опусканий, где есть основание ожидать наличия в недрах коры "гравитационных ступеней".

Имеются другие работы В.А. Растворовой (1960, 1961 гг.) на ту же тему. Вопрос о связи новейших движений с сейсмичностью рассматривали также А.А. Габриелян, М.Н. Смирнова, Н.А. Введенская и многие другие.

В итоге к настоящему времени нет сомнений в том, что новейшая тектоника служит основным фактором, основным показателем при сравнительном анализе сейсмического режима той или иной территории.

**Современные движения.** Для оценки современных движений можно воспользоваться данными Н.В. Думитрашко и Д.А. Лилиенберга [588], В.А. Матцковой [666] или, наконец, Международной ассоциации геодезии МГГС [105] (рис. 8.7). Последняя, т.е. карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы масштаба 1:2 500 000, составленная под редакцией Ю.А. Мещерякова, представляет сводку имевшихся на 1970 г. материалов, в том числе по Кавказу. Все эти карты составлены по материалам фрагментарным и эпизодическим. Они дают лишь самое общее представление о ходе современных вертикальных движений в мм/год — представление, вероятно, правильное, но с широкими возможностями дальнейших значительных уточнений. Современным движениям посвящены также статьи Б.К. Балавадзе и Л.В. Когошвили и многих других авторов.

Имеющиеся материалы показывают, что в современную эпоху развитие Кавказа идет в основном в том же направлении, что и в течение новейшего этапа. Скорость поднятий антиклинорных участков определяется цифрами в 4 мм/год и более. Скорость опусканий в осевых частях синклинорных участков определяется подобными же цифрами.



Р и с. 8.7. Современные тектонические вертикальные движения земной коры Кавказа [105]

1 — изолинии вертикальных положительных (со знаком "+") и отрицательных (со знаком "-") движений; 2 — положительные движения  $\geq 8$  мм; 3 — отрицательные движения, от 0 мм и ниже

Современные движения характеризуются такой же дробностью, как и новейшие, и, судя по карте, можно выделить ряд районов весьма контрастных современных движений с быстрой сменой их амплитуд или знака на небольших пространствах. В отдельных местах отмечаются выдающиеся скорости вертикальных движений. Так, поднятия некоторых антиклинальных хребтов в зоне Евлаха, Нухи, Закавказья происходят со скоростью до 16 мм/год; отдельные тектонические блоки на фоне относительно опускающейся Алазано-Агрчайской депрессии поднимаются со скоростью до 30 мм/год. Для Центрального Кавказа получены такие средние цифры (для последнего этапа в 20 000 лет): 15 мм/год для высокогорья, 10 мм/год для среднегорья, 2,5 мм/год для низкогорья [715]. Следует учитывать неравномерность движений во времени, даже возможность смены знака движений на протяжении указанного периода.

Межгорные депрессии характеризуются низкими цифрами, обычно в пределах десятых долей миллиметра в год или самых первых миллиметров, но (что кажется неожиданным) отрицательные цифры здесь вовсе не преобладают, наоборот, они часто сменяются хотя и столь же низкими, но положительными значениями. По-видимому, это говорит о неустойчивости современных процессов прогибаний и вовлечения многих участков, до сих пор испытывавших опускания, в процесс воздымания — ведущий процесс новейшего этапа развития Кавказа.

Карта [105], естественно, не содержит данных за последнее десятилетие, но, обращаясь к таковым, можно сказать, что общая тенденция, намеченная картой Ю.А. Мещерякова, сохраняется.

В этих условиях можно высказать предположение о том, что основным генератором сейсмических явлений служит блок земной коры в целом, которому отвечает мегантиклинорий Большого Кавказа, и очаги землетрясений должны быть в основном приурочены — как оно и есть в действительности — к контактам этого активного блока с окружающими его по периферии депрессиями, краевыми и межгорными. То же относится к

столь же активному блоку Малого Кавказа, но ввиду его большей раздробленности очаги будут рассеиваться по всей площади.

В большой статье Н.В. Думитрашко и соавторов [587] подробно рассматриваются проявления новейшей и современной тектоники на Кавказе и в особом параграфе — связь современных движений с сейсмичностью. Авторы указывают на то, что "современные тектонические движения в основном унаследованы от неогеновых и антропогенных структур. В пределах прогибов они характеризуются опусканиями, а в области неотектонических воздыманий — поднятиями; по данным повторных нивелировок, достигают в первом случае 4—6 мм в год, а во втором случае — 1,5—2, реже 3 мм в год. . . Современные движения, происходящие на стыке районов с резко контрастным направлением тектонических колебаний, сопровождаются сейсмическими эффектами. . . Границы областей контрастных движений совпадают с расположением изоаномал и характеризуются различиями в строении гравитационного поля" (с. 249—250).

В том же сборнике [114] опубликована статья В.А. Растворовой о новейшей тектонике Большого Кавказа и его сейсмичности. Автор приходит к выводу о том, что "основная масса эпицентров землетрясений группируется вдоль зон сочленения сводового поднятия Большого Кавказа с окружающими его депрессиями. Причем с юга — это почти непрерывная сейсмическая зона, а с севера наблюдается большая разорванность между отдельными группами очагов. Наибольшей сейсмической активностью характеризуются районы южного склона Большого Кавказа: Шемахинский, Приказбекский, северный борт Алазанской долины и северный борт Рионской депрессии" (с.260). Другими словами, "сейсмичны зоны сочленения сводового поднятия Большого Кавказа с окружающими депрессиями, т.е. зоны повышенных градиентов новейших движений, которые находятся в прямой связи с градиентами ступеней, отражающих резкость глубинных границ раздела в земной коре" [Там же].

Упомяну об исследованиях (1966, 1979 гг.) В.М. Джигия, касавшихся Кавказского побережья Черного моря от Туапсе до Поти. В северной половине полосы побережья господствуют положительные движения, в южной — отрицательные (максимальное опускание — близ Самтредиа), но диапазон колебаний как в ту, так и в другую сторону весьма мал (порядка первых миллиметров в год). Вопросы сейсмичности не были темой исследований автора, тем не менее он находит возможным отметить, что "сейсмические районы характеризуются повышенными значениями скоростей современных движений, а также их дифференцированным характером".

В общем, как писали М.С. Иоселиани и В.Г. Папалашвили [596], "проявление сейсмической деятельности приурочено к районам современных тектонических движений" с. 37. Отсюда необходимость уделить внимание современным движениям. Именно последним должна принадлежать решающая роль в возбуждении сейсмических явлений. К сожалению, реальных доказательств тому, в том числе и по Кавказу, пока мало. Имеющиеся карты современных движений такого мелкого масштаба, что дать на этом материале какие-либо определенные заключения было бы рискованно.

**Вулканизм.** Возникает вопрос: имеют ли отношение к землетрясениям известные на Кавказе голоценовые вулканы? Я уже говорил о том, что непосредственной и тесной связи между теми и другими не существует, но что в самом общем виде как вулканы, так и землетрясения оказываются связанными общностью причины — альпийской складчатостью с ее новейшими фазами. Да, на Кавказе есть землетрясения и есть голоценовые вулканы. Наибольшей сейсмической активностью отличается Джавахетское нагорье — здесь особенно широко развиты лавовые поля и известно немало вулканических конусов (в пределах Абул-Самсарского хребта). Сравнительно активна сейсмическая жизнь района Минеральных Вод (в Предкавказье) — здесь имеется широко известная группа послемеловых лакколлитов. Почти вся территория Армении — это широко развитое поле эффузивов со множеством вулканических аппаратов, начиная с Алагёза, и здесь немало сильных землетрясений. Приходится выделять сейсмически активный район Центральной части Большого Кавказа, тот район, к которому относятся Казбек и Эльбрус — грандиозные вулканы Главного Кавказского хребта.

Трудно дать более конкретные сопоставления, специальных исследований на эту тему не велось. Но в таком, самом общем виде мы можем констатировать некоторую связь (может быть, и генетическую) между вулканами и землетрясениями. Даже не только вулканами — новейшая тектоническая активность гранодиоритового батолита Зангезурского хребта свидетельствует о том, что здесь можно говорить и о криптовулканичес-

кой активности коры, т. е. о землетрясениях, связанных с магматическими явлениями.

Геологи Армении [511] констатируют, что "районы с относительно слабой сейсмичностью отличаются интенсивными положительными магнитными аномалиями, связанными с интрузивным магматизмом основного или среднего составов" (с. 144). Вывод интересный, но мне кажется, он нуждается в более солидной аргументации; в других районах наблюдаются иные закономерности, и говорить о связи (или отсутствии связей) землетрясений с магнитным полем было бы, пожалуй, преждевременным. Несколько ранее М.С. Бадалян находил некоторую связь между геотермическим и магнитным полями (в областях новейшего вулканизма в Армении). А.Л. Цагарели связывал мезозойско-кайнозойский вулканизм с глубинными разломами.

Я ограничиваю этими замечаниями, полагая, что более подробные заключения были бы года преждевременными.

Что касается литературы по магматизму и вулканическим явлениям, то она, как уже говорилось, весьма обширна. Упомяну лишь о некоторых работах Г.Д. Аджирея, М.С. Бадаляна, В.Н. Котляра, Н.П. Костенко, Л.Н. Леонтьева, М.Г. Ломизе, Е.Е. Милановского, В.Н. Павлинова, В.Е. Хаина.

**Грязевые вулканы.** На Кавказе - в восточной части Куринской депрессии, в Кобыстане, на Апшеронском полуострове, на прилежащих островах Каспийского моря и в некоторых других районах (Тамань) - имеется немалое число грязевых (газонефтяных) сопок (вулканов), активных и в настоящее время. Общее число их достигает многих десятков.

Грязевым сопкам посвящено значительное количество работ. Одна из ранних (1928 г.) - обширная и обстоятельная статья А.И. Сорокина. Одна из позднейших сводок принадлежит В.А. Горину и З.А. Бунят-Заде (1971 г.). Многие авторы касались вопроса специально или попутно с другими темами. Но почти во всех случаях отмечалось, что извержения сопок, как правило, сопровождаются легкими колебаниями почвы.

В сущности, хотелось бы иметь определенный ответ на один вопрос: наличие активных грязевых вулканов увеличивает сейсмическую опасность или уменьшает? Думаю, что сейчас имеется возможность сформулировать ответ.

Грязевые вулканы возникают в особых геологических условиях: в межгорных или предгорных депрессиях, выполненных рыхлыми терригенными осадками большой мощности, содержащих в своем составе флюиды (вода, нефть, газ) и подверженных воздействию альпийской складчатости. Последнее обстоятельство обуславливает проявление сейсмических сил, возникающих на больших глубинах и независимо от наличия или отсутствия грязевых проявлений; в этом смысле грязевые вулканы никак не влияют на основной тектонический и сейсмический фон (сейсмический "климат", как имел обыкновение говорить Ю.В. Ризниченко). Но грязевые извержения, собственно, могут рождать специфические колебания почвы, слабые и далеко не распространяющиеся, возникающие в процессе деятельности вулкана и практически неопасные. Такие колебания не раз отмечались во время извержений грязевых вулканов. Именно в таком смысле понимая связь этих явлений (грязевых извержений) с землетрясениями, Ф.С. Ахмедбейли писал [507]: "О неотектонической активности Нижнекуринской зоны можно судить и по периодическим вспышкам многочисленных грязевых вулканов. Почти все они приурочены к тектоническим разрывам. Часть этих разрывов, возникших в доновейшее время, продолжает оставаться активными дислокациями и в новейшем этапе" (с. 24). Впрочем, о том же писал более ста лет тому назад, в 1849 г. (с. 157), Г. Абрих: "Быть может, ни на одном месте на земном шаре не обнаруживается так ясно тесное соотношение между землетрясениями, производящими трещины, с явлениями грязевых вулканов, сальсами, поднимающимися из земли горячими газами и нефтяными ключами как на юго-восточной оконечности Кавказа, между Шемахой, Баку и Сальяном, составляющей часть великой Арало-Каспийской низменности, где почва чаще всего потрясается". Но позже он же отмечал, что во время сильного землетрясения 1859 г. в Шемахе грязевые сопки проявили "полнейшее бездействие", что явно подтверждает "независимость динамической силы, вызывающей землетрясения" [478, с. 113]. Правда, об оживлении деятельности грязевых вулканов при землетрясениях имеются и другие сведения.

Некоторые землетрясения, ощущавшиеся в г. Баку, были так или иначе связаны с

грязевыми вулканами, например землетрясение 22.11.58, его очаг находился в море к югу от Баку, близ банки Макарова, где возникавшие якобы тектонические разрывы, предполагаемое смещение одного из крыльев и само землетрясение — все это, как считают авторы, описавшие этот случай, суть следствия извержения грязевого вулкана (М.Г. Агабеков и др., 1960 г.).

Г.П. Тамразян [754] составил общую карту распределения грязевых вулканов в Восточном Азербайджане; из карты следует, что области проявления основной массы грязевых вулканов (Тоурогай, Шонгар, Баяната, Кейрека) никак не соответствуют участкам концентрации эпицентров землетрясений. Автор, выделяя несколько грязевулканических зон, вынужден был отметить лишь то обстоятельство, что последние "в конечном счете" обусловлены "сложным взаимодействием воздымающегося Кавказа и погружающегося Каспия" (с. 8—10).

В небольшой, но весьма содержательной статье З.А. Буниат-Заде [521] на тему о газонефтяном вулканизме и его связи с сейсмичностью говорится: "Если в одном из очагов эруптивного аппарата вулкана насыщение находящейся под большим давлением парагазовой смеси приближается к равновесию с давлением вышележащего в эруптивном канале столба брекчии, то даже незначительные подвижки недр в этом районе, приводящие либо к поступлению в очаг новых порций парагазовой смеси, либо создавшие новые дизъюнктивные нарушения и ослабляющие противодействие закупоривающей "пробки" в канале эрупции, нарушают равновесие и вызывают извержение газонефтяного вулкана" (с. 35). Изложение тяжеловатое, но из него следует, как полагает автор, что "газонефтевулканические извержения усиливают сейсмичность областей и районов своего развития" (с. 36). Скорее, пожалуй, наоборот — землетрясения, как следует из первой цитаты, провоцируют и активизируют деятельность газонефтяных вулканов. Так или иначе, но какая-то взаимозависимость тех и других, возможно, и существует.

Грязевые извержения описаны многими авторами: А.Д. Архангельским, З.А. Буниат-Заде, Н.В. Малиновским, Г.П. Тамразяном и др. Любопытная статья принадлежит Н.Ивашищеву (1961 г.). И едва ли не во всех этих публикациях сообщается о колебаниях почвы, сопровождавших грязевые извержения.

**Водные источники.** Состав вод и режим водных источников нередко меняются в связи с землетрясениями. Факт этот давно известен. Отмечается это явление и на Кавказе.

Специальные статьи по этому поводу давно, в 1942 и 1946 гг., опубликовал Е.И. Бюс. В статье [525] автор показывает, что прежние наблюдения на этот счет F. Moldenhauer не свободны от недочетов, затем приводит подробный список "нарушений режима вод на Кавказе от землетрясений" с 1139 по 1941 г. и приходит к выводу о том, что "1) на Кавказе при землетрясениях иногда происходят изменения в режиме источников и 2) воздействие это неодинаково как во времени, так и пространстве" (с. 112). Явления эти, как о том говорил еще в 1912 г. Б.Б. Голицын [9], могут оказаться полезными для прогноза землетрясений. Но при этом Е.И. Бюс призывал к аккуратности и осторожности при наблюдениях, чтобы не лишиться их достоверности.

Спорадически отмечаются колебания (изменения в составе или температуре вод) в скважинах [544]. П.Н. Никитин [678] отмечал, что в городе бывали 7-балльные землетрясения (в 1905, 1921 гг.), указывал, что они сопровождались изменениями режима минеральных вод источников, а также режима нефтяных скважин. Специальные исследования этого вопроса в отношении нефтяных скважин в районе г. Гудермеса и Пятигорских Минеральных вод провела М.Н. Смирнова [738].

Упомяну об исследованиях источников А.Н. Огильви в 1925 г., В.А. Игумнова в 1971 г. Стоит отметить также то обстоятельство, что в последнее время режим источников и состав подземных вод стали использоваться при поисках предвестников землетрясений.

**Сейсмодислокации.** В последнее время интерес к так называемым сейсмодислокациям, которые можно наблюдать в сейсмоопасных регионах, значительно возрос, особенно после специальных исследований на эту тему В.Г. Трифонова, В.П. Солоненко и др. Справедливости ради надо заметить, что нарушения в почве и рельефе, создаваемые землетрясениями, отмечались многими предыдущими исследователями: отмечались трещины в земле, обвалы и оползни на крутых склонах горных возвышенностей и т.п.

В.Н. Вебером и И.В. Мушкетовым для Ахалкалакского землетрясения 1899 г., К.И. Богдановичем и В.Н. Вебером — для Шемахинского землетрясения 1902 г., Е.И. Бюсом — для многих значительных землетрясений и т.д. Но систематическим изучением именно таких явлений физико-геологического значения и связанных с землетрясениями геологи заинтересовались лишь в последнее время.

Известны многочисленные сейсмогравитационные нарушения — оползни, обвалы, — сопровождавшие землетрясение 25.09.59 в Красной Поляне [714], землетрясение 16.07.63 в Чхалте. Замечательные деформации возникли в почве при Дагестанском землетрясении 14.05.70, в частности здесь отмечен грандиозный срыв целого блока пород неогена, соскользнувшего к реке по наклонной поверхности напластования нижележащих слоев глины (см. рис. 8.12).

В сборнике [222] описаны многочисленные нарушения подобного рода на Кавказе В.А. Агамирзоевым, А.А. Габриеляном, Э.К. Гюлем, Л.В. Когошвили, А.Б. Островским, С.А. Пирузяном и др.

В монографии [689] содержится описание замечательных палеосейсмодислокаций, открытых и изученных В.П. Солоненко, В.С. Хромовских, В.М. Жилиным, Р.М. Семеновым — структуры Бзыбь, Абакура, Квира, Акиба, Гоби, Амкел, Утриш и др.; в основном они выражаются тектоническими разрывами, сместители которых с большей или меньшей сохранностью наблюдаются в форме уступов рельефов, "сейсморвов" и т.п. или в форме грабенных горстов; наблюдаются древние обвалы, приуроченные к таким нарушениям. Сведений о землетрясениях, вызвавших или вызванных этими нарушениями, нет, но их принадлежность к голоцену и именно к землетрясениям прошлого сомнений не вызывает.

Подобные нарушения свидетельствуют о смещениях и деформации определенных блоков земной коры, более или менее крупных, с возникновением разрывов или без таковых и, по-видимому, должны наблюдаться во всех случаях землетрясений, особенно с неглубокими очагами. Разрывы легче фиксируются на поверхности, чем общее воздымание, опускания, изгибы, но последние накапливаясь раз за разом, легко обнаруживаются методами геоморфологии, неотектоники и геодезии.

Во всяком случае, как отмечено в [222], "современные и голоценовые сейсмодислокации, а также палеосейсмодислокации — одно из ярких, хотя отнюдь не единственное проявление тектонической активности земного шара" (с. 116), и следует обратить на них специальное внимание при полевых сейсмогеологических исследованиях.

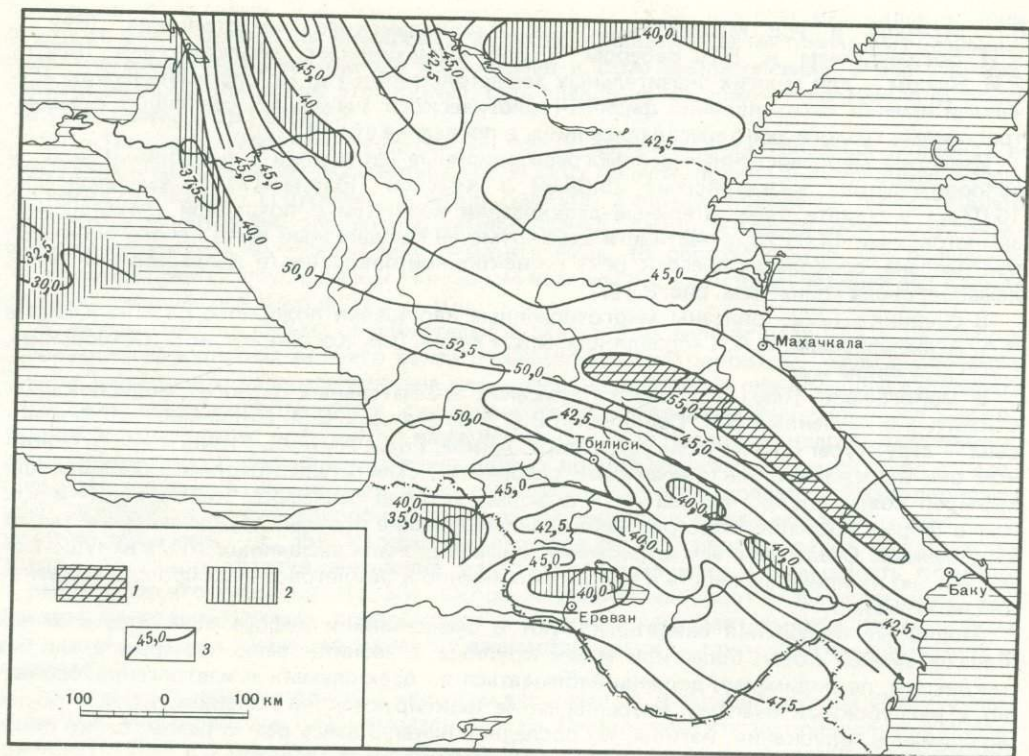
Литература по сейсмодислокациям пока еще, по количеству изданий, невелика, но некоторые работы весьма показательны (П.Н. Куприн, П.Г. Солоненко, В.С. Хромовских и др.).

## 8.5. ГЕОФИЗИКА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

**Строение земной коры.** Собираясь рассмотреть вопрос об особенностях земной коры на Кавказе, я опять встречаюсь с трудностью отбора наиболее достоверного варианта из множества имеющихся решений. Опубликовано уже немало соответствующих схем. Наиболее существенные работы принадлежат Б.К. Балавадзе [512 и др.], А.Х. Баграмяну, М.С. Иоселиани, Ш.С. Оганисяну, В.Г. Папалашвили, Д.И. Сихарулидзе, Л.К. Татевосяну, Г.К. Твалтвадзе, Г.Ш. Шенгелия. Некоторым эталоном модели строения земной коры Кавказа может служить схема Г.К. Твалтвадзе [755] для района Ткибули; здесь фиксировано наличие "слоев": седиментного ( $v_{1P} = 4,3$  км/с), гранитного ( $v_{2P} = 5,5$  км/с), базальтового ( $v_{3P} = 6,5$  км/с) и слоя подкорového вещества ( $v_{4P} = 7,9-8,0$  км/с).

Приведу здесь выкопировку из позднейшей работы В.Б. Соллогуба и А.В. Чекунова [193] (рис. 8.8).

Как видно, мощность коры характеризуется здесь в общем довольно значительными цифрами — 40–55 км. В окружающих Кавказ районах кора тоньше: к северу, в пределах прилегающей к Кавказу части Скифской плиты — около 40–42 км; в центральной части Черноморской впадины — около 25–30 км; в юго-восточной части Каспийской впадины — около 30 км. Таким образом, Кавказу отвечает в некоторой мере обособленный участок коры повышенной мощности по сравнению с окружающими районами (в том числе и с юга).



Р и с. 8.8. Мощность земной коры на Кавказе [193]  
 1,2 — толщина коры: 1 —  $\geq 55$  км, 2 —  $\leq 40$  км; 3 — изолинии мощности (в км)

Далее на описываемой территории можно выделить несколько участков наиболее глубокого положения поверхности  $M$ , до 50–55 км, среди которых наиболее ярко выделяются западная и восточная части Большого Кавказа.

В зоне тектонических депрессий мощность коры сокращается (до 40 км). Иными словами, соотношение между элементами новейшей тектоники, рельефом дневной поверхности и толщиной коры отвечает обычным закономерностям, характерным для большинства случаев (хотя и не для всех) и заключающимся в появлении корней под приподнятыми участками молодых складчатых систем. В целом в поверхности Мохоровичича наблюдается отчетливо выраженная линейность с вытянутостью вдоль основного Кавказского (ЗСЗ) направления. Осевым участкам западной и восточной половины мегантиклинория отвечают участки заметного погружения коры до 50–55 км.

Наибольшие наклоны подошвы коры — до  $10^\circ$  — отмечаются в восточной части северного ограничения Большого Кавказа, т.е. на сочленении его с Терско-Каспийским прогибом и вдоль "южного" глубинного разлома, т.е. в сочленении мегантиклинория с расположенными южнее межгорными депрессиями. Другими словами, полосы крутых наклонов поверхности Мохор, т.е. полосы наибольших градиентов этой поверхности, окаймляют наиболее приподнятые участки мегантиклинория Большого Кавказа. На Малом Кавказе конфигурация изолиний наклонов менее выразительна. Наклоны не превышают  $5^\circ$ – $6^\circ$ , но и здесь они подчеркивают простираение основных структурных элементов, следуя дугообразному изгибу последних (с выпуклостью, направленной к северу).

В целом строение коры на Кавказе довольно сложное, с признаками существенной дифференциации, что отмечалось многими авторами, например [669]. К аналогичному выводу о блоковом строении коры приходит и А.А. Борисов [154], хотя он одновременно отмечает, что "Кавказский регион в целом может рассматриваться в виде хотя и сложной по внутреннему строению, но единой глыбы, характеризующейся большой

мощностью земной коры и, естественно, сравнительно глубоким погружением ее основания в верхнюю мантию", т.е. глыбы, развивающейся "как единое, взаимосвязанное целое, резко отчлененное от сопредельных структурных элементов" (с. 146). О том же, т.е. о блоках, говорил В.З. Рябой [192, с. 16]: "... в результате интерпретации материалов о временах пробега волн от удаленных землетрясений в пределах Кавказской складчатой системы выделен ряд блоков с повышенными и пониженными скоростями, имеющих сравнительно небольшие линейные размеры", — со ссылкой на Л.П. Винника. О блоках, я полагаю, думал А.А. Сорский [748], отмечая "мозаичное" строение мегантиклинория Малого Кавказа, брахиморфность и куполовидность строения Кавказа в целом (с. 25).

Сложный рельеф поверхности Мохоровичича со сравнительно крутыми углами наклона в сочетании с сеткой глубинных разломов (как и разрывов других рангов) действительно позволяет говорить о блоках земной коры, что имеет прямое отношение к сейсмотектонике, поскольку динамика блоков в основном контролирует сейсмический процесс. К тому же выводу, в частности, склоняются Р.Ф. Володарский и его соавторы по статье 1974 г.

Существенной особенностью прилегающих к Кавказу с запада и востока впадин, т.е. центральной части Черноморской впадины и южной части Каспийской, служит отсутствие "гранитного" слоя (что обычно сопровождается понижением сейсмической активности) и большая мощность рыхлых осадков, выполняющих дно впадин. Если на осадочный чехол в пределах самого Кавказа приходится не более 20—25% от общей мощности коры, то для Черноморской и Южно-Каспийской впадин эти цифры повышаются до 50% [154, с. 143]. Состав и возраст этих рыхлых осадков неясны: по-видимому, верхняя их часть соответствует кайнозою, а нижняя — мезозою.

Что касается литературы по строению земной коры, то дать здесь сколько-нибудь полный список работ совершенно невозможно.

**Глубинные разломы.** Важной особенностью глубинного строения Кавказа служит наличие в его пределах так называемых глубинных разломов. Под этим термином мы понимаем широкий ряд деформаций коры, среди которых можно выделить — не всегда достаточно определенно — линии различного смысла: собственно глубинные разломы, резко выраженные ступени или флексуры в консолидированной коре, отчетливо проявляющиеся полосы или цепочки магматических тел, крутые наклоны поверхности М и т.п., словом, линии или направления, которые можно интерпретировать как зоны повышенной тектонической подвижности и которые обнаруживаются по комплексу геологических и геофизических наблюдений; притом они находят то или иное выражение в особенностях геологического строения поверхностных толщ, геофизических полей и даже рельефа, хотя и не всегда [178]. Значение и роль подобных разломов в геологическом развитии и металлогении Кавказа (а также Гималаев) подчеркнули недавно А. Синха и А. Джингран [826].

Основными линиями такого рода на Большом Кавказе следует считать разломы (зоны или полосы той или иной ширины), ограничивающие мегантиклинорий Большого Кавказа с севера, северо-востока, юга и юго-запада.

"Северный" разлом проходит по линии Тамань—Хадыженск—Карачаевск—Тырныауз—Садон—Махачкала (с запада на восток), следуя вдоль северного фаса мегантиклинория, он отделяет собою приподнятые блоки последнего от расположенных севернее Азово-Кубанской впадины, Ставропольского выступа, Терско-Сунженского предгорного прогиба с возрастанием контраста в вертикальных движениях с запад на восток.

"Восточный" разлом проходит по линии Кизляр—Махачкала—Дивичи—Ленкорань (с севера на юг), отделяя северо-восточное крыло мегантиклинория, восточную расширенную часть Куринской межгорной впадины и Талышский антиклинорий от Дагестанского и Кусарского краевых прогибов и Каспийской впадины вообще. В пределах Куринской депрессии этот разлом отвечает восточному краю так называемого "Кюрдамирского моста", т.е. относительно приподнятого блока фундамента депрессии. А.А. Борисов [154, с. 141] считал, что "Восточный разлом" непрерывно протягивается от Ленкорани до Махачкалы с тем, что всюду здесь западное его крыло, в том числе и в пределах Куринской депрессии, оказывается приподнятым по отношению к восточному.

"Южный" разлом отвечает южному фасу мегантиклинория Большого Кавказа, отделяя его по линии Шемаха—Закаталь—Пасанаури—Амбролаури—Сухуми от Куринской и Рионской межгорных впадин. Далее, в северо-западной своей части, он отделяет при-

поднятые участки западной половины мегантиклинория от впадины Черного моря, приблизительно отвечая положению континентального склона. От Новороссийска, по всей видимости, он следует в широтном направлении на соединение с "Южным" разломом Крыма. Зона "Южного" разлома на северо-западе, на траверсе Новороссийска и Анапы, осложняется появлением сложных и разнообразных дислокаций, прослеженных и под водой; в них участвуют толщи от мела до четвертичных, причем кора разбита на блоки, погружающиеся по ступенчатым сбросам к югу, т.е. к центру впадин, что отмечали А.А. Терехов и его соавторы.

На Малом Кавказе труднее выделить основные разломы, но главный из них протягивается, по-видимому, по северному фасу Сомхето-Карабахского и Аджаро-Триалетского антиклинория, намечая собой главную зону сочленения мегантиклинория Малого Кавказа с расположенными севернее межгорными впадинами. Некоторые авторы отмечают сложность строения этой зоны сочленения (М.А. Кашкай, Л.Н. Леонтьев, Г.П. Тамразян).

Важное значение в сеймотектоническом отношении имеет еще один крупный разлом (лучше сказать, линеамент), который проходит по линии Арарат—Арагац—Ленинakan—Джавахетское нагорье—Гори. В полосе влияния этого разлома осуществляется перегиб простирающихся складчатых структур Малого Кавказа, лежат гигантские конусы вулканов Арарат и Арагац, располагается строго меридиональная цепочка голоценовых вулканов Абул-Самсарского хребта как одного из элементов высокоактивного в сейсмическом отношении Джавахетского нагорья. Далее к северу зона разлома проходит вблизи восточного края Дзирульского массива, отмечающего здесь наиболее приподнятую часть фундамента межгорных тектонических депрессий, Куринской (Картлийской) и Рионской (Колхидской). Здесь же фиксирован сложный узел пересечения крупных тектонических разрывов различной ориентировки. Еще севернее мы вступаем в область пережима, максимального сужения мегантиклинория Большого Кавказа, разделяющего последний на восточную и западную части с появлением уступа на поверхности древнейшего палеозойского фундамента, подстилающего породы "нижнего" структурного этажа ( $T - K_1$ ); уступ отделяет западную часть Большого Кавказа с выходами древних пород, испытавших герцинскую складчатость, от восточной, где выходят на поверхность только породы "нижнего" этажа.

Трассу этого крупного, глобального значения, линеамента есть основание протягивать и к северу, через восточный край Ставропольского выступа вплоть до Ергеней, и к югу, вдоль границ Турции и Ирана в Ирак, едва ли не до Багдада. Впервые он был намечен в его северной части в пределах платформы еще А.П. Карпинским [100]. Затем к вопросу обращались многие авторы, давая этой линии ту или иную геологическую интерпретацию. Интересные указания на эту тему имеются у Н.С. Шатского [778]. Геофизические материалы позволили А.А. Борисову в 1965 г. протянуть этот разрыв в том же меридиональном направлении вдоль того же меридиана ( $43^\circ - 44^\circ$ ) с некоторым отклонением к западу, в сторону Нальчика, что согласуется с положением границы, отделяющей Пятигорский выступ мегантиклинория от прилежащей к нему с востока Кабардинской впадины (т.е. вновь ступени с опусканием восточного крыла). В тексте монографии А.А. Борисова [154] указывается на несколько иное продолжение — в направлении вершины "Дагестанского клина" (с. 142). Я склонен в согласии с Б.Г. Соколовым протягивать этот разлом в северном направлении вплоть до Ергеней и далее [743]. Но нельзя отрицать возможности существования дополнительной, северо-восточной ветви его, идущей на Орджоникидзе, Грозный и дальше на северо-восток. Этот "косой" отрезок разрыва может, по-видимому, указывать на сдвиговую составляющую движений со смещением западного крыла в юго-западном направлении по отношению к восточному, что подчеркивает блоковый характер тектоники и значение горизонтальных движений в данном месте. Ясно намечена эта ветвь разлома на карте Е.Е. Милановского и В.Е. Хаина [669].

В том же направлении пытался разрешить вопрос М.М. Рубинштейн [722]. Сопоставляя составленную им схему тектонического районирования территории Грузии с материалами по сейсмичности, он выделял ряд участков повышенной сейсмической деятельности. В первую очередь к таким участкам относится меридиональная полоса, заключенная между  $43^\circ$  и  $45^\circ$  в.д.; "сейсмичность этой полосы, соответствующей максимальному сближению Русской платформы и Сирийского выступа Гондваны, несомненно находится в генетической связи с приуроченным к ней же молодым воздыманием Дзи-

рульского кристаллического массива и наибольшим поднятием Главного Кавказского хребта" (с. 148). В другой, более поздней работе [725] М.М. Рубинштейн подтвердил сейсмогенетическую роль меридиональной полосы между  $43^{\circ}$  и  $45^{\circ}$  в.д., в том числе в Джавахетском нагорье, где проходит Абул-Самсарский разлом — "основная сейсмогенетическая линия Ахалкалакского нагорья" (с. 101). Если следовать Б.Г. Сократову [743], то северное продолжение этого разлома можно искать в районе Журавского, Элисты, даже еще севернее; на участке Предкавказья Б.Г. Сократов называет этот разлом Восточно-Ставропольским скрытым глубинным разломом. Значение этого разлома в пределах Предкавказья отмечали М.Н. Смирнова и В.А. Станулис (1968 г.). В пределах Кавказа я предпочитаю называть этот линеамент Транскавказским.

Кроме перечисленных основных линеаментов, намечается ряд других, менее существенных и не столь достоверных: северо-западные — Ереванский, Зангезурский, Прикуринский; северо-восточные — Мегри—Сумгаит, Ленинанкан—Кизляр, дугообразный Сочи—Майкоп—Азовское море и др. В большом числе они показаны, например, на картах В.А. Растворовой или А.И. Полетаева (рукописные материалы).

Указывают и на так называемый Черноморско-Адлерский разлом, проходящий от Сухуми в субмеридиональном направлении вплоть до Адыгейского выступа в Предкавказье; если он существует, то, во всяком случае, ему следует придавать неодинаковый геологический смысл в разных его частях. На юге он разделяет совершенно различные по своему строению и развитию части коры Кавказа и Черного моря. На севере такая его роль затухивается, и хотя, по данным геофизики, он как будто бы намечается, но на геологической обстановке в поверхностных толщах он сказывается слабее и не нарушает спокойного периклинального погружения западной части мегантиклинория Большого Кавказа в западно-северо-западном направлении. Все это не совсем достоверные разломы, и я предпочитаю их пока не показывать: "... установлено, что из огромного количества глубинных разломов на Большом Кавказе "живущими", или сейсмогенными, в современную эпоху являются очень немногие" [493, с. 65].

В дальнейшем многие исследователи с успехом использовали понятие о глубинных разломах; были составлены карты разломов для всей территории СССР, в том числе и Кавказа, с широким использованием не только обычных геологических, но и дистанционных методов (в том числе космических), геофизических данных (особенно ГСЗ, гравиметрии, магнитометрии), осуществлены интересные региональные, теоретические и экспериментальные работы.

К сожалению, одновременно у некоторых авторов возникло стремление апеллировать к понятию о глубинных разломах и в тех случаях, когда в том не было надобности, или понимать их слишком узко или формально, т.е. в качестве собственно разрывных дислокаций более или менее крупных масштабов. Такое, слишком непосредственное, восприятие подобных нарушений несколько обедняет их реальное содержание и может даже дисквалифицировать всю идею о роли глубинных разломов в динамике Земли.

К вопросу о глубинных разломах относятся, кроме названных ранее, многие работы: С.Л. Бызовой, А.А. Габриеляна, М.С. Иоселиани, М.А. Кашкая, М.Н. Смирновой, Г.П. Тамразяна, Н.С. Шатского, Э.Ш. Шихалибейли и многих других.

Глубинные разломы, по определению, затрагивают поверхность консолидированной коры, т.е. кристаллического докембрийского фундамента фанерозойских толщ. Следовательно, строение поверхности фундамента как один из элементов строения коры вообще может иметь известное отношение к распределению сейсмических очагов. У нас нет достаточно надежных данных для суждения о рельефе поверхности фундамента, но некоторые работы на эту тему имеются. В 1982 г. А.С. Караханян подготовил диссертацию по вопросу о линеаментах, в том числе глубинных разломах, фиксируемых с помощью аэрокосмических снимков.

**Гравитационное поле.** Еще в 1958 г. Ш.С. Оганисян [685] предпринял попытку сопоставить между собой очаги землетрясений и гравитационное поле (в южной половине территории Армении); оказалось, что "сейсмически активные зоны одновременно являются зонами больших градиентов силы тяжести" [с. 79]. Позже, в 1967 г., Ш.С. Оганисян подтвердил и уточнил эти выводы. Отнюдь не исключена возможность того, что этот вывод имеет более общее значение.

В 1960 г. И.В. Кириллова и А.А. Сорский [619] показали — уже для всего Кавказа — что зоны больших градиентов силы тяжести во многих случаях отвечают уже известным сейсмическим зонам, например в полосе Сочи—Нуха—Ленкорань, вдоль северных границ

Сомхето-Карабахской складчатой системы и Севанского синклинория. В той же статье авторы дают карты: "Геологические явления и структурные особенности, имеющие существенное значение для сопоставления сейсмичности и тектоники Кавказа" и схему "Расположения структурных элементов Кавказа" — схема, весьма близкая к принятой нами.

Затем М.Е. Артемьев с соавторами [500] показал, что в сейсмически опасных зонах (при  $K = 11 \div 16$ ) изостатические аномалии  $\Delta g \geq 70$  мГал, а горизонтальный градиент поля силы тяжести превышает 1:5 мГал/км. Интерес представляет для нас и карта остаточных изостатических аномалий Кавказа, опубликованная М.Е. Артемьевым и Б.К. Балавадзе [499], а также дополняющая ее схема модулей горизонтальных градиентов остаточных изостатических аномалий.

Одна из позднейших попыток корреляции сейсмических и гравиметрических материалов по Кавказу принадлежит Э.А. Джибладзе [175]: "Мы попытались сопоставить сейсмическую активность с градиентами изостатической гравитационной аномалии для Кавказа" (с. 59). Но "не удалось получить достаточно определенной корреляционной зависимости" и при сопоставлении суммарной энергии землетрясений с изостатическими аномалиями.

Проведя аналогичное в принципе исследование, Е.Н. Люстих с соавторами [616] в свое время показал, что "участкам повышенных значений горизонтальных градиентов, гравитационным ступеням, соответствуют зоны разломов, выявленных геологическими методами. В свою очередь, с некоторыми из этих разломов, активизированных в настоящее время, связаны очаги землетрясений" (с. 59).

Э.А. Джибладзе использовала различные показатели как сейсмического поля, так и гравитационного и в конце концов получила некоторые результаты, на основании чего попыталась составить карту максимальных возможных землетрясений  $K_{\max}$ ; оказалось, что почти вся территория Кавказа лежит в пределах поля  $K_{\max} = 16$ . В некоторых других работах  $K_{\max}$  оценивается в 17.

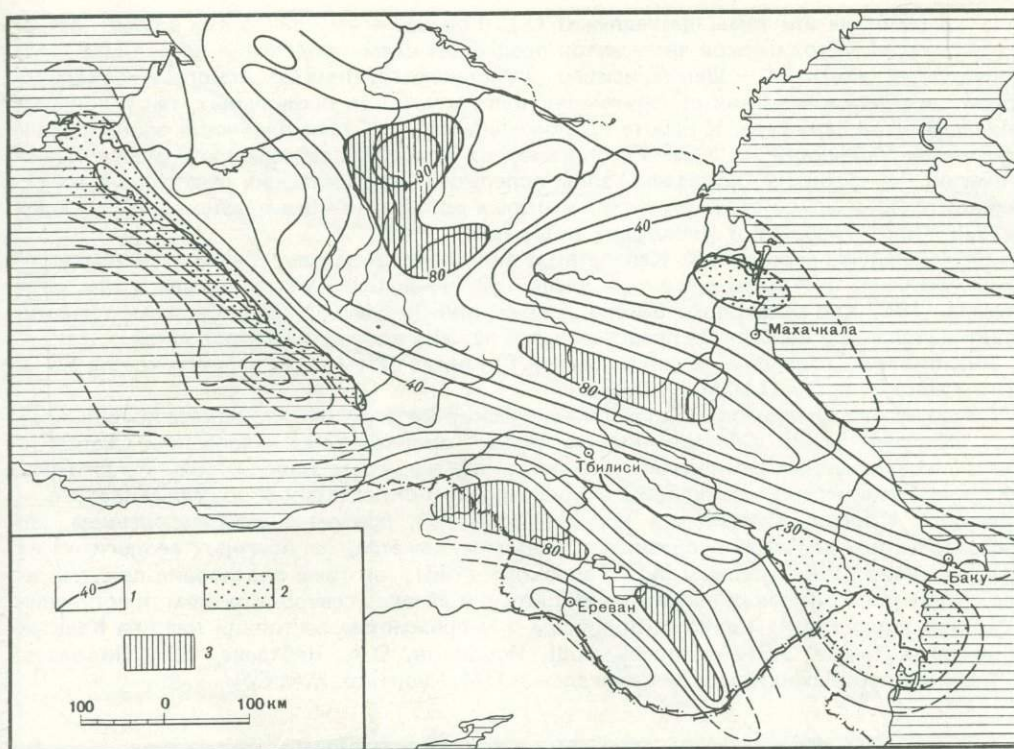
Также трудно увязать между собой магнитное поле и сейсмические проявления. Даже магматические явления, широко развитые на Малом Кавказе, весьма условно и лишь предварительно увязываются с тектоническим строением, сеткой глубинных разломов и геофизическими полями. Так, "выяснение связи вулканизма с глубинными разломами здесь несколько затруднительно" [511, с. 55]. Геомагматизм на Кавказе изучен Б.А. Матушкиным (диссертация, 1969 г.), но без упоминания о связи с сейсмичностью. Не станем вдаваться в эту специфическую область.

**Геотермальное поле.** Тепловой поток эндогенного происхождения, казалось бы, должен стоять в теснейшей связи с сейсмическими проявлениями: и то и другое — показатели динамической активности планеты. Однако такой связи, по крайней мере в явном виде, не наблюдается.

Венгерским Национальным геофизическим комитетом была недавно опубликована [790] геотермическая карта Европы (в том числе, по советским данным, и Кавказа). По данным карты, несколько повышенными значениями теплового потока характеризуются столь различные тектонические площади, как Малый Кавказ (более  $45 \text{ mvm}^{-2}$ ) и Ставропольский выступ (более 60 ед.). Центральные части мегантиклинория Большого Кавказа несут пониженные значения потока (менее 30 ед.). Кстати, Апеннинский полуостров, например (точнее, Апеннинский мегантиклинорий, в пределах которого сосредоточены основные очаговые зоны сильных землетрясений), никак не отражается на усилении теплового потока.

Имеется и другой, более современный вариант геотермальной карты [797] (рис.8.9). Вариант этот существенно отличается от предыдущего хотя бы тем, что центральные части мегантиклинория Большого Кавказа в данном случае оказываются полем не пониженных, а повышенных значений теплового потока (больше  $80 \text{ mvm}^{-2}$ ). Обращают на себя внимание также межгорные депрессии, Рионская и Куринская, с их низкими значениями теплового потока —  $0,25^{\circ}$ — $0,35^{\circ}$  на 1 км, что авторы склонны объяснять низкой теплопроводностью рыхлых толщ молодых осадков большой мощности.

В целом говорить о какой-либо более или менее конкретной связи между термальными и сейсмическими явлениями на Кавказе, да и вообще, было бы, пожалуй, преждевременным. Авторы работы [790] сообщают, что ими не обнаружено какого-либо строгого соответствия "между региональным распределением геотермических градиентов и какими-либо геологическими фактами" (с. 11—6).



Р и с. 8.9. Карта теплового потока [797]  
 1 — значение  $mW^{-2} m$ ; 2 —  $mW^{-2} m < 30$ ; 3 — значения  $mW^{-2} m > 80$

Кстати отметим заключение, сформулированное в одной из глав монографии [304], а именно: "параметры магнитного и электромагнитного поля и термического поля обычно плохо вяжутся с сейсмичностью" (с.58). Думаю, что к данному вопросу можно пока больше не обращаться.

**Напряженное состояние земной коры.** Едва ли не самой ранней работой по вопросу о динамике очагов землетрясений, о механизме очага, оказалась статья В.И. Кейлиса-Борока 1950 г. [212], изложившего принципиальные основы метода изучения подвижек вдоль разрыва как источнике подземного удара.

Затем последовали исследования М.В. Гзовского — сначала статья 1954 г. о моделировании полей тектонических напряжений, а позже — его фундаментальная монография [166], где предложена теория и методические приемы анализа напряжений в недрах Земли; автор дал примеры такого анализа для всей территории СССР, а также для Кавказа. Весь Кавказ заключен в зону, где среднегодовое потребление энергии на тектоническое деформирование всей толщи коры достигает  $10^{14}$ – $10^{15}$  Дж. Автор дал схему направлений действия главных напряжений и относительной величины максимальных касательных напряжений в земной коре на территории СССР, в том числе и Кавказа, по данным о сейсмичности за последние 50 лет. Теоретические соображения М.В. Гзовский дополняет экспериментами и моделированием полей напряжений. В монографии М.В. Гзовского приводятся расчеты и основанные на них карты. Для Кавказа максимальные касательные напряжения  $\tau_{max}$  почти во всех случаях оказываются северо-восточной или субмеридиональной ориентировки. Я уже отмечал то значение, которое приобрела монография М.В. Гзовского [166] в становлении тектонофизики как науки, и в частности в развитии учения о механизме очага землетрясения.

Следует отметить столь же существенное значение для развития методов изучения механизма очагов землетрясений коллективной работы Л.М. Балакиной и других авторов [189].

Цикл работ на эти темы принадлежит О.Д. Гоцадзе — ему лично или в соавторстве. В [571] после методической части автор предлагает схему выделения на Кавказе “эпицентральных участков” — Шемахинского, Дагестанского, Приказбекского, Ахалкалакского, — и в каждом из них обнаруживает присутствие как продольных, так и поперечных элементов структур. К работе приложены карты: “Схема плотности эпицентров и зон разной балльности” и “Схема геологических критериев сейсмичности и дислокаций в очагах”; в частности, показаны “зоны поперечных вертикальных перегибов в современной тектонической структуре” (из которых достаточно убедительной представляется та, что протягивается от Ленкорани до Шемахи).

Затем следуют работы Н.К. Карапетян о динамических параметрах очагов землетрясений, особенно в Армении ( в том числе [602]). Е.И. Широкова писала о том же — сначала [785] для обширного района, а затем для Зангезура [786]. Ее схема ориентировки напряжений на Кавказе представляется ясной и вполне правдоподобной.

Аналогичное исследование для Западной Грузии, а затем для Главного хребта Большого Кавказа провел О.М. Майсурадзе.

Попытку охарактеризовать поле тектонических напряжений на Кавказе предприняла Л.С. Шенгелия [782]. Составленная ею карта “ ориентировки напряжений сжатия” в очагах исследованных землетрясений Кавказа подтверждает вывод о том, что сжимающие напряжения перпендикулярны к простираниям складчатых сооружений Малого и Большого Кавказа. Сейсмологи нередко отмечают, притом с удовлетворением, это обстоятельство, достаточно очевидное, как мне кажется, из обычных геологических представлений. Так было и у М.В. Гзовского [166]; он тоже подтвердил представление о субмеридиональных напряжениях сжатия в западно-северо-западном простирании активных структур на Кавказе. Вопросом о напряженном состоянии недр на Кавказе занимались также Э.Б. Агаларова, А.Ш. Исмаилов, О.А. Лебедева, П.Н. Николаев, А.Р. Шихзаидов. Важные работы принадлежат О.И. Гуценко, Л.А. Сим.

## 8.6. СОВРЕМЕННОЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ КАВКАЗА

Опираясь на вышеизложенные материалы, особенно по вопросам тектоники, а также новейшим движениям и строению коры, я посчитал возможным остановиться на следующей схеме современного тектонического расчленения Кавказа (в скобках указывается возраст отложений, преобладающих в выходах на дневную поверхность), рис. 8.10.

### I. Предкавказье (I.1 — I.2)

- I.1 — Русская плита, ее юго-восточный “угол” — Манычский и Самурский прогибы, Ергени, Прикаспийская синеклиза и т.п., в том числе
- I.2 — Ставропольский выступ — складчатый герцинский фундамент, палеоген-неогеновый чехол

### II. Мегантиклинорий Большого Кавказа (II.1—II.6)

#### Западный антиклинорий (II.1—II.4)

- II.1 — Ядро антиклинория (кристаллические и метаморфические породы *PR* и *PZ*)
- II.2 — Северное крыло антиклинория (*J, K*)
- II.3 — Южное крыло антиклинория (*J, K*)
- II.4 — Западная (Таманская) периклиналь (*N, Q*)

#### Восточный антиклинорий (II.5—II.6)

- II.5 — Восточный антиклинорий (*J*)
- II.6 — Восточная (Апшеронская, Бакинская) периклиналь (*N<sub>1</sub>*)

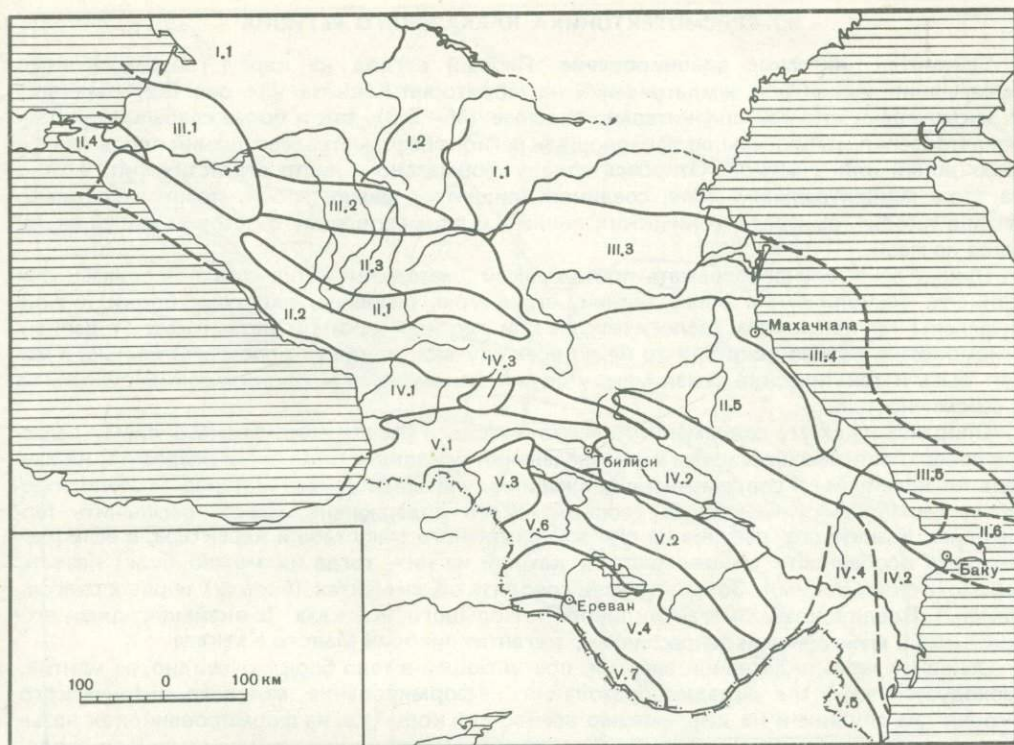
### III. Краевые (передовые, предгорные) прогибы мегантиклинория Большого Кавказа (III.1—III.5)

#### Азово-Кубанский прогиб (III.1—III.2)

- III.1 — Западно-Кубанский (Индоло-Кубанский) прогиб (*N<sub>2</sub>*)
- III.2 — Восточно-Кубанский прогиб (*N<sub>2</sub>*)

#### Терско-Каспийский прогиб (III.3—III.5)

- III.3 — Терско-Сунженский прогиб (*KZ*)
- III.4 — Дагестанский прогиб (*P*)
- III.5 — Кусарский прогиб (*N*)



Р и с. 8.10. Тектоническое районирование Кавказа  
Пояснение индексов см. в тексте (раздел 8.6)

#### IV. Межгорные впадины (IV.1--IV.4)

- IV.1 — Рионская (Колхидская) впадина ( $P_2 - N_1$ )
- IV.2 — Куринская впадина ( $N_1 - Q$ )
- IV.3 — Дзирульский массив
- IV.4 — Кюрдмирский погребенный выступ

#### V. Мегантиклинорий Малого Кавказа (V.1--V.7)

- V.1 — Аджаро-Триалетский антиклинорий ( $P$ )
- V.2 — Сомхето-Карабахский антиклинорий ( $J$ )
- V.2 — Джавахетское (Ахалкалакское) нагорье ( $KZ$ )
- V.4 — Мисхано-Зангезурский антиклинорий ( $J$ )
- V.5 — Талышский антиклинорий ( $N$ )
- V.6 — Севанская впадина ( $K$ )
- V.7 — Араксинская впадина ( $N-Q$ )

Не могу не отметить, что предлагаемое тектоническое районирование близко стоит к тем схемам, которые были предложены в разное время другими авторами, в особенности [669]; можно указать также на работу [542], где, например, указано, что "в геотектоническом отношении территория Грузии расчленяется на пять основных единиц: I — антиклинорий Главного Кавказского хребта, II — складчатая система южного склона Большого Кавказа, III — Грузинская глыба, IV — Аджаро-Триалетская складчатая система и V — Артвинско-Болнисская (Сомхитская) глыба" (с.249). Имеются аналогичные схемы и по другим республикам, и по всему Кавказу в целом [547, 717] и многие другие, причем иногда заметно отличающиеся от предлагаемой.

Нет надобности говорить, что нанесенные на карту (см. рис. 8.10) границы весьма условны — особенно в тех местах, где структуры одного блока постепенно переходят по простираанию в структуры другого блока.

## 8.7. СЕЙСМОТЕКТОНИКА КAVKAZСКОГО РЕГИОНА

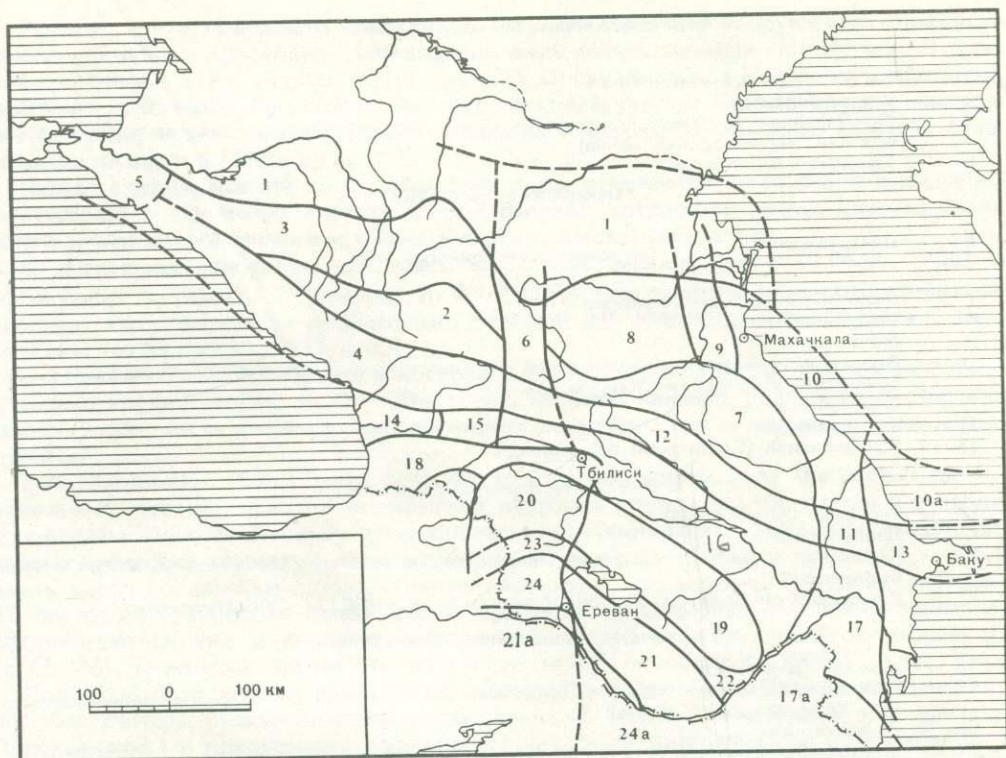
**Сейсмотектоническое районирование.** Первый взгляд на карту географического размещения эпицентров землетрясений на территории Кавказа (см. рис. 8.2) приводит к заключению, что как сравнительно сильные ( $M \geq 5,0$ ), так и более слабые ( $M < 5,0$ ) землетрясения разбросаны по всей площади региона без заметных сгущений вдоль каких-либо линий или участков. Относясь к делу формально и чисто статистически, можно на этом эпицентральной поле, соединяя эпицентры между собой, провести сколько угодно якобы "сейсмотектонических линий", и примеров тому в истории нашей науки было не мало.

Нужно решительно возражать против такой "методики". Только в том случае, если какие-то тектонические зоны (линии, структуры, разрывы, площади, блоки и т.п.) выделены по признакам геологическим или геофизическим и независимо от данных сейсмологии, можно искать, и то не во всех случаях, какие-то пространственные, а может быть и генетические связи между двумя феноменами — геологическим строением и сейсмичностью.

Опираясь на схему современного тектонического расчленения Кавказа, схему рельефа поверхности Мохоровичича и распределения основных глубинных разломов, на данные по новейшим и современным движениям, учитывая другие материалы геологического, геоморфологического и геофизического содержания, можно расчленить территорию Кавказского региона на ряд зон различного масштаба и характера, и если рассмотреть особенности сейсмичности в каждой из них, тогда их можно будет назвать сейсмотектоническими. Зоны эти, если говорить об элементах (блоках) первых рангов, таковы: Предкавказье, мегантиклинорий Большого Кавказа (с окаймляющими его краевыми и межгорными депрессиями), мегантиклинорий Малого Кавказа.

Основная часть эндогенной энергии, поступающей в тело блока, очевидно, из мантии, расходуется на этапе складкообразования на формирование мощного сиалического "корня" на глубине и на деформацию всей толщи коры (т.е. на формирование так называемой складчатой зоны), а на этапе орогенном — на формирование крупного сводово-глыбового поднятия как единого целого в приповерхностной оболочке. Какая-то доля этой энергии в процессе перемещения массивов пород освобождается (сбрасывается при прекращении процесса смещения) с тем, что каждая частица таким образом деформированного блока испускает накопленную ранее потенциальную энергию упругого напряжения, перешедшую в форму кинетической энергии деформации с образованием как новых упругих, так и разнообразных остаточных деформаций (в том числе и разрывных). Значительная роль в этом деле принадлежит "шовным" зонам, контактам деформируемого блока с соседними, которые могут обладать иной динамикой. В этих случаях амплитуда смещения частиц массива нередко достигает в окрестностях "шовной" зоны максимальных значений, и тогда крылья зоны (именно крылья, а не сместитель разрыва) становятся очагом землетрясения. В этом и состоит роль контрастных, дифференцированных движений, особенно заметных именно на периферии блока, в его краевых, "шовных" зонах. Последние обладают значительной шириной — от нескольких десятков до сотни километров: переход от области господства положительных вертикальных новейших движений к области отрицательных требует какого-то пространства, выражается в сложной системе разнообразных деформаций, наклонов, складок, флексур, ступеней, разрывов (в том числе продольных надвигов, диагональных сдвигов и глубинных разломов). Если исходить из пропорций, вытекающих из эксперимента [166], то ширина переходной зоны будет достигать примерно 1/5 части от ширины воздымающегося блока, что дает для структур масштаба Большого Кавказа не менее чем 50 км. Во всей такой зоне могут возникнуть очаги землетрясений. Каждая из выделенных таким путем сейсмотектонических зон будет характеризоваться своей квазиоднородной (в пределах зоны) геодинамической обстановкой и своим свойственным данной зоне сейсмическим полем (частота, глубина очагов, магнитуда, интенсивность колебаний, затухание волн и другие параметры сейсмического режима). Притом, как справедливо заметил в свое время О.Д. Гоцадзе [576], "если ограничиться рассмотрением одной сейсмоактивной зоны", то для нее "мыслимо искать" и признаки периодичности "процесса накопления и высвобождения энергии деформации земной коры" (с.18).

За последние десятилетия географическое распространение сейсмоопасных зон на Кавказе в целом выяснено. Основные закономерности подчеркиваются землетрясениями



Р и с. 8.11 Схема сеймотектонического районирования Кавказа (составил Г.П. Горшков)  
 Наименование сеймотектонических зон см. в тексте (раздел 8.7)

ми с  $M \geq 6$ . Те же закономерности отражаются на распределении очагов землетрясений с  $M$  от 5 до 6. Землетрясений с  $M \leq 5$  много, но они рассеяны и регистрируются, по-видимому, не исчерпывающим образом.

Подавляющая масса очагов землетрясений расположена в пределах земной коры, ее верхней части. Очаги в мантии встречаются редко, в одиночных случаях, и не всегда достоверны.

В тектоническом отношении на территории Кавказа выделяется несколько блоков различного значения и масштаба, развитием которых в кайнозое определяется сейсмический режим.

Областями относительных поднятий за новейший этап являются мегантиклинорий Большого Кавказа (Западный, Центральный, Восточный блоки, Дзирульский массив), мегантиклинорий Малого Кавказа, (Аджаро-Триалетский, Сомхето-Карабахский, Зангезурский, Ардебильский блоки). Областями относительного погружения являются передовые прогибы (Кубано-Индольский, Терско-Каспийский блоки), межгорные впадины (Колхидский, Куринский, Севанский, Карский, Араксинский блоки).

Тектонические напряжения накапливаются во всей толще земной коры и верхней мантии. Ими обусловлены геодинамика и само существование блоков земной коры и их относительные перемещения в течение новейшего этапа; напряжения снимаются посредством сейсмических толчков. Картина несколько осложняется влиянием процессов голоценового вулканизма и грязевых извержений.

В итоге можно предложить следующую схему расчленения Кавказского региона на сеймотектонические зоны (или блоки, структуры, элементы, массы) 3-го ранга (или порядка): 1–24 – сеймотектонические зоны (рис. 8.11).

#### А. Предкавказье

- 1 – “Предкавказье” (юго-восточные фрагменты Русской плиты: северные борта Азово-Кубанского и Терско-Суженского прогибов, Ставропольский выступ и т.п.)

*Б. Мегантиклинорий Большого Кавказа (МБК)*

Западный антиклинорий МБК

- 2 — Ядро Западного антиклинория
- 3 — Северо-Западная
- 4 — Юго-Западная (а также прилежащие к ней участки впадины — сейсмотектоническая подзона "Черноморская", № 4а)
- 5 — Таманская периклиналь

Центральная часть МБК

- 6 — Центральная
- Восточный антиклинорий МБК
- 7 — Ядро Восточного антиклинория
  - 8 — Северо-Восточная
  - 9 — Махачкалинская
  - 10 — Восточная (а также отходящая от нее к юго-востоку по дну Каспийского моря сейсмотектоническая зона №10а — "Каспийская")
  - 11 — Шемахинская
  - 12 — Юго-Восточная
  - 13 — Апшеронская (Бакинская) периклиналь

*В. Межгорные впадины Закавказья*

- 14 — Рионская (Колхидская)
- 15 — Дзирульская
- 16 — Куринская (с ее восточным фрагментом сейсмотектонической подзоной № 16а — "Кобыстанская")
- 17 — Кюрдамирская (с ее южным продолжением подзоной №17а — "Ардебильская")

*Г. Мегантиклинорий Малого Кавказа (ММК)*

- 18 — Аджаро-Триалетская
- 19 — Сомхето-Карабахская (с ее продолжением на юго-востоке — сейсмотектоническая подзона "Ардебильская", № 17а)
- 20 — Джавахетская
- 21 — Мисхано-Зангезурская (21а — в Турции)
- 22 — Севанская
- 23 — Ленинанская
- 24 — Араксинская (24а — в Иране)

Перечисленные сейсмотектонические зоны достаточно наглядно выявляются при рассмотрении геологических и тектонических, а также эпицентральных карт всего Кавказа, особенно карт позднейших, т.е. сравнительно полных (см. рис. 8.2). Во многом наше районирование территории Кавказа в сейсмотектоническом отношении близко к тому, что уже предлагалось другими авторами, как в целом, так и по частям территории, например [499, с.86] и др.

Нет надобности говорить, что предлагаемое расчленение достаточно условно. Часто сейсмотектонические зоны переходят одна в другую по простиранию, и границы провести между ними трудно. В этом случае значительную помощь оказывают материалы по сейсмической статистике, ибо каждая зона отличается своим сейсмическим режимом.

В некоторых случаях приходилось обращаться к материалам по смежным с Кавказом территориям — по северо-востоку Турции и северо-западу Ирана. Для этих территорий уже имеется значительная библиография.

Ниже рассмотрим несколько подробнее сейсмотектонические особенности каждой из выделенных зон, от № 1 до № 24.

## 8.8. СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ № 1–24

### А. Предкавказье

*Сейсмотектоническая зона № 1 — "Предкавказье",  $N_m = 1 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800–1980 гг.<sup>1</sup>

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
19.04.26	45,3	39,3	50	5,4	6,7	Кубань

<sup>1</sup> Здесь и для других зон — по данным каталога [31], а также ежегодникам [16] за 1975–1977 гг. с дополнениями.

Русская плита граничит с Кавказским горноскладчатым сооружением приблизительно по линии Краснодар—Минеральные воды—Орджоникидзе—Махачкала. В этом юго-восточном "углу" плиты, т.е. в пределах Предкавказья, выделяются: небольшой фрагмент собственно Русской плиты, юго-западный участок Прикаспийской синеклизы, северные борта Азово-Кубанской впадины и Терско-Сунженского прогиба, Ставропольский выступ [568 и др.].

Нельзя сказать, что эта зона асейсмична, здесь отмечаются, хотя редко и в слабом выражении (в единичных случаях до 6–7 баллов), сотрясения почвы, возбуждаемые источниками, расположенными южнее, а иногда и местными очагами.

К последним относится, например, Кубанское землетрясение 19.04.26 [706] с магнитудой, по разным источникам, от 4 1/4 до 5,4. Оно охватило неожиданно большую площадь, что объясняется сравнительно большой для Кавказа глубиной очага — около 50 км (от 33 до 75 км [31, с. 62]).

О геологической обстановке, в которой возникло Кубанское землетрясение, судить довольно трудно. Тогда, в 20-х–30-х годах, не было никаких данных ни о строении земной коры, ни о новейших тектонических движениях, ни о глубине очагов землетрясений.

Л.А. Варданянц [546], учитывая, что в Ставропольском крае подземные толчки отмечались и ранее, находил возможным выделить группу очагов, которые в целом приурочены "к осевой линии Ставропольской антиклинали... Здесь мы имеем, во-первых, наиболее поднятую часть антиклинали, во-вторых, здесь должны (!? — Г.Г.) иметь место продольные дизъюнктивные нарушения... и, наконец, в-третьих, несколько восточнее Ставрополя имеет место пересечение меридиональной линии поднятия, оформившегося уже в миоцене, с широтной линией Ставропольской антиклинали" (с. 65–66). Та же точка зрения отражена в работе В.Г. Гниловского [565].

Подобные соображения не выглядят достаточно надежными. Прежде всего нет основания считать Ставропольскую возвышенность "одним из сейсмических центров Предкавказья" и приписывать ставропольскому очагу "значительную интенсивность", как это делает В.Г. Гниловский [565, с. 117]. Землетрясения здесь редки и слабы. Что же касается геологических соображений, то неясно, есть ли реальные основания связывать очаги с дизъюнктивными нарушениями, тем более, что само существование последних не доказано. Наконец, упоминаемое Л.А. Варданянцем пересечение меридиональной и широтной тектонических линий достаточно неопределенно.

В то же время здесь есть более надежные ориентиры сейсмотектонического характера — именно заметные осложнения в рельефе подошвы коры, которая в данном месте опущена до глубин около 45 км (что соответствует глубине очага) и образует род узкого "корыта" (с меридиональным, точнее, северо-северо-западным простираанием), пролегающего между такими же узкими гребнями (с отметками до 37,5 км). Подобного типа "ров" отражает, вероятно, какое-то поле напряжений, присущих коре.

Имеет смысл также обратиться к материалам по неотектонике: в зоне очага Кубанского землетрясения проходит четко выраженная граница плиты с блоком Индоло-Кубанского прогиба, основание которого опущено в зоне контакта до отметок 2000 м (см. рис. 8.6).

Следует указать также на факт значительного усложнения структуры осадочного чехла на пространстве от Краснодара до Ставрополя, что выражается в рельефе подошвы чехла к началу позднеюрского времени, к началу кайнозоя (в "керестинское" время) и, наконец, в "мамайское" время сармата и что отлично выражено в конфигурации изогипс соответствующих поверхностей, ювелирно вычерченных Г.А. Масляевым [664]. Подобные деформации, естественно, отражают особенности строения коры [663, 665].

Вопрос о глубине очага Кубанского землетрясения нельзя считать решенным окончательно еще и по другим причинам. Обладая очень большой областью распространения при слабой интенсивности и нечетком эпицентре, землетрясение это напоминает собой зафиксированные в других местах Кавказа так называемые "общие сотрясения", которые могут возникать в результате активности обширных "наложенных" блоков горизонтальной протяженности, расположенных близ поверхности, представляя один обширный мелкий очаг. В данном случае такой активной структурой может явиться весь массив "наложенного" Западно-Кубанского прогиба, в особенности его северное крыло. Тогда может быть получено новое звучание мысль Л.А. Варданянца

о роли находящейся здесь "наиболее поднятой части антиклинали", да и осложнения в структуре чехла, отмеченные Г.А. Масляевым, логично приобретут и сейсмические функции.

Так или иначе, вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Тщательно собранные сведения о последствиях Кубанского землетрясения можно найти в работе И.Н. Ярославцева [788]. Здесь же сведения о всех известных из различных источников землетрясениях на Северо-Западном Кавказе (Кубань, Тамань, Анапа) с 1794 по 1926 г. Автор говорит: "Ближайшее рассмотрение сейсмической деятельности на Кубани позволяет резко отграничить два района: Таманский и Анапский" (с. 55). В свой список автор включает и все случаи "сопочной деятельности". Приводятся две карты: изосейст землетрясения 1926 г. и "эпифокальных районов". Вопросы геологии остались, по всей видимости, в стороне от интересов автора.

Кубанское землетрясение было не единственным в Предкавказье, некоторые сведения о местных землетрясениях можно найти в статьях И.В. Ананьина, Л.И. Апостолова, В.Г. Гнилового, Э.А. Казина, П.Н. Никитина; значительное землетрясение 2.10.71 близ Ставрополя ( $M = 4,5$ ,  $I_0$  до 7 баллов,  $h$  около 2 км) описано в статье И.П. Зарайского и соавторов.

В южной части Предкавказья, в зоне контакта структур Предкавказья с Западным антиклинорием Большого Кавказа, произошло 6-балльное землетрясение близ Курджиново (12.11.54); я отношу его к зоне № 2, к ее северной границе.

Немало эпицентров слабых ( $M < 4$ ) мелких ( $h < 20$  км) землетрясений включено в каталог [31] (см. рис. 8.2).

Таким образом, хотя в практическом отношении землетрясения Предкавказья и неопасны, они тем не менее служат свидетельством некоторой современной активности юго-восточного участка Русской плиты.

Что касается расчета  $N_m$ , то цифра эта, наименьшая для Кавказа, весьма условна — границы площади зоны № 1 достаточно неопределенны. Таким образом, цифра дает лишь самое общее представление об уровне сейсмической деятельности в этой обширной зоне.

*Сейсмотектоническая зона № 2 — "Ядро Западного антиклинория"*, мегантиклинорий Большого Кавказа, Западный антиклинорий, ядро Западного антиклинория,  $N_m \approx 250 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
18.06.02	43,0	42,0	30	5,2	—	Хаиши
21.10.05	43,3	41,7	35	6,4	7	Теберда
21.10.05	43,6	41,2	32	5,6	6	Архыз
25.09.06	43,4	42,8	26	5,0	5—6	Тырныауз
16.07.63	43,2	41,6	05	6,4	9	Чхалта

В геологическом отношении зона № 2 представляет собой высокогорное протерозойско-палеозойское ядро западной части мегантиклинория Большого Кавказа с выходами метаморфических пород палеозоя и с обилием магматических пород гранитоидного состава эпохи герцинской и более древних складчатостей.

Землетрясения в Архызе и Тырныаузе (и, вероятно, в Курджинове 12.11.54:  $\varphi = 43,9^\circ$  с.ш.;  $\lambda = 40,9^\circ$  в.д.;  $h = 17$  км,  $M = 4,6$ ,  $I_0 = 6$  баллов) тяготеют к северной границе зоны № 2; в Хаиши и Чхалте (и, вероятно, в Теберде) — к южной. Особый интерес представляют собой землетрясения в Теберде 1905 г. и Чхалте 1963 г., связанные с очагами, очень близкими географически, но различающимися по глубине. По каждому из них имеется специальная литература (Л.Ф. Кратковский, Л.Н. Махатадзе, Б.Л. Соловьев, Д.Д. Табидзе, Н.А. Ходырев, А.Д. Цхакая и др.), подробно описаны повреждения зданий и многочисленные нарушения поверхности земли ("гравитационная денудация"): обвалы, в том числе скальные, оползни, оплывины, трещины, затем изменения режима водных источников и т.п.) "...хотя в плейстоценовой области Чхалтинского землетрясения факты его (т.е. проходящего здесь главного надвига Большого Кавказа. — Г.Г.) омоложения при этом землетрясении... не наблюдались", но "связь эпицентра с главным надвигом Большого Кавказа не вызывает сомнения и является подтверждением его жизненности и в настоящее время", — утверждают А.Д. Цхакая и его соавторы (1966 г.).

И в другом месте те же авторы, используя почти те же формулировки, констатируют: "Эпицентр Чхалтинского землетрясения, очевидно, связан с главным надвигом южного склона, вдоль которого (вдоль склона или надвига? — Г.Г.) кристаллическое ядро Большого Кавказского хребта непосредственно надвинуто на верхнепалеозойские и нижнеюрские геосинклинальные отложения. Этот вывод основывается на фактах совпадения самых крупных обвалов в эпицентральной области с линией выхода плоскости этого надвига на поверхность рельефа... Чхалтинское землетрясение 16.07.63 явилось подтверждением жизненности главного надвига в настоящее время" [772а, с. 50]. Последняя статья содержит много интересных фотографий "гравитационных деформаций" на горных склонах в зоне эпицентра, а также поврежденных построек.

Приблизительно о том же писал Б.Л. Соловьев: "Причиной данного землетрясения... служит, по-видимому, подвигка по линии древнего разлома или возникновение нового разлома, связанные с выдвиганием структуры Главного Кавказского хребта. В основе этого выдвигания, помимо магматических явлений, возможно, лежат также изостатические процессы, вызванные сокращением размеров современного оледенения, что, с одной стороны, приводит к увеличению давления массы воды на дно Черного моря, а с другой — к разгрузке Главного Кавказского хребта от тяжести залегающих на нем долговечных снегов и льдов" [744, с. 85].

Учитывая малую глубину очага ( $h \approx 5$  км), думаю, что действительно, в данном случае (что бывает далеко не всегда) очаг можно связывать с подвижками по разрыву, выходящему на поверхность (точнее, в нашей интерпретации, с подвижками крыльев этого разрыва). Что же касается соображений Б.Л. Соловьева о роли магматических процессов, изостатических сил, ледников и денудации, то нетрудно видеть ненадежность подобных построений.

Некоторые авторы считают, что известные в Абхазии озера — Рица, Малая Рица, Амткели — суть результат запруживания рек обвалами при древних землетрясениях [672]. К аналогичным выводам в отношении других озер, т.е. бессточных впадин на Черноморском побережье Кавказа, приходят и другие авторы. Об этом пишет, например, А.Б. Островский в отношении оз. Абрау, которое автор считает связанным с запруживанием древней речной долины обвалом, вызванным землетрясением 9—10-балльной силы при "вспышке неотектонической и сейсмической активности, завершившейся в недавнем геологическом прошлом (ориентировочно 2—7 тысяч лет назад)" [687, с. 97].

Землетрясение в Теберде 1905 г. подробно изучению не подвергалось, но можно думать, что геологические условия, в которых оно возникло, были аналогичными чхалтинским с той разницей, что глубина его очага достигала 30 км или даже больше и эпицентр находился чуть севернее Чхалтинского, что может указывать на северное падение сместителя сейсмоактивного надвига, т.е. всяческого крыла зоны надвигания пород фундамента на южное лежащее крыло антиклинория, сложенное более молодыми породами.

К зоне № 2 относятся землетрясения значительной интенсивности, но с  $M < 5,0$ , интересные по ряду причин. Это следующие землетрясения: 12.11.54,  $43,9^\circ$  с.ш.,  $40,9^\circ$  в.д.,  $h = 17$  км,  $M = 4,6$ ,  $I_0 = 6$  баллов — Восточная Лаба; 27.12.55,  $43,6^\circ$  с.ш.,  $40,1^\circ$  в.д.,  $h = 3$  км,  $M = 4,4$ ,  $I_0 = 7-8$  баллов — Красная Поляна; 6.03.63,  $44,3^\circ$  с.ш.,  $39,6^\circ$  в.д.,  $h = 1$  км,  $M = 3,3$ ,  $I_0 = 7$  баллов — Ацгаро-Птиш; 13.05.68,  $43,5^\circ$  с.ш.,  $40,6^\circ$  в.д.,  $h = 15$  км,  $M = 4,5$ ,  $I_0 = 6$  баллов — Бзыбь.

Землетрясение в Курджиново (Верхняя Лаба) 12.11.54 относится к зоне контакта сейсмотектонических зон № 2 и № 3. Уверенности в правильном определении местоположения его эпицентра нет, тем не менее в [566] сообщается, что "в тектоническом отношении очаг этого землетрясения, по-видимому, имеет связь с протягивающимися здесь продольными разломами, с которыми также связаны выходы минеральных источников" (с. 130).

Одни из позднейших заметных толчков в зоне — это землетрясение в районе р. Бзыби 13.05 и 10.07.68. Имеется схема изосейст для одного из них.

Древнее ядро Западного антиклинория Большого Кавказа привлекало внимание многих геологов. В частности, определенный интерес для нас представляет указание В.Е. Хаина и М.Г. Ломизе на наличие на Западном Кавказе (Лагонакское плато) и в других местах "молодых подвижек по древним разломам" [759] как свидетельство современной тектонической активности региона.

И именно Западный Кавказ, особенно зона ядра и южного крыла антиклинория, а также и южный склон Восточной части Кавказа, обладают примерами замечательных нарушений рельефа, современными сейсмодислокациями, открытыми и описанными В.П. Солоненко и его коллегами [54, 689 и др.]. Еще раньше об аналогичных примерах писали Л.В. Когошвили [621] и А.Б. Островский [687], а также другие авторы, не придавая, однако, своим наблюдениям особого значения.

Современные сейсмодислокации выражаются в разных формах: дислокации "сейсмотектонические", "гравитационно-сейсмотектонические", "сейсмогравитационные" — таковы основные типы сейсмодислокаций по [745]. На Западном Кавказе встречаются, по-видимому, сейсмодислокации всех трех типов, и ярким их выражением могут служить "структуры" Акиба, Хумпрери, Бзыбь, Квира и др.

Размещение на местности подобных "структур" позволило В.П. Солоненко составить вариант схемы сейсмического районирования части Большого Кавказа, причем учитывались сейсмодислокации всего южного склона Главного хребта до Шемахинского региона на востоке и до Джавахетского нагорья на юге, данные археологии и истории древних сооружений и, естественно, сведения о сильных землетрясениях далекого прошлого.

В.П. Солоненко не сомневается в сейсмической природе обнаруженных им "структур" и предлагает формулу для длины  $l$  разрывов, возникающих на поверхности при землетрясениях с неглубокими очагами:  $\lg l = 0,99 M - 6,18$ .

Как отнестись к предложенной В.П. Солоненко интерпретации обнаруженных им ярких форм так называемых сейсмодислокаций? Надо отметить большую заслугу В.П. Солоненко, который обратил должное внимание на подобные нарушения и в Сибири (Прибайкалье), и в других местах (Монголия, Средняя Азия, Кавказ). Но одновременно следует отметить, что отличие сейсмогенных дислокаций от нарушений экзогенного происхождения не всегда проступает с ясностью, в этом деле нужна большая осторожность.

Наличие на Западном Кавказе впечатляющих "сейсмодислокаций" крупного масштаба В.П. Солоненко и В.С. Хромовских связывают с оживлением ("необычайной вспышкой") сейсмической и вулканической деятельности в Средиземноморском поясе в I—V веках н.э. [745, с. 46], после чего напряженность эндогенных процессов как будто спадает. Я не думаю, что режим глубинных процессов может меняться за такое короткое время, но если это так, тогда современная потенциальная сейсмическая опасность этих регионов снижается и не остается оснований для выделения в регионе 9—10-балльных зон. В.П. Солоненко полагает, что его данные "рушат" обычное представление о "потолке" сейсмической опасности для Кавказа (8 баллов). Однако учет малой вероятности очень сильных землетрясений и отличия "нормативной" карты сейсмического районирования от карты максимальных возможных землетрясений лежат в основе метода сейсмического районирования.

Добавлю, что интересные исследования, связанные с сейсмотектонической зоной № 2, проводили Ш.А. Джабуа, В.А. Растворова, Д.Н. Рустанович, А.Д. Цхакая, Д.И. Сихарулидзе и др.

*Сейсмотектоническая зона № 3 — "Северо-Западная", мегантиклинорий Большого Кавказа, Западный антиклинорий, северное крыло,  $N_m \approx 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
26.12.1844	41,1	43,0	10	5,0	7	Пятигорск
29.06.21	43,9	42,8	22	5,6	7	Кисловодск

В пределах этой зоны осуществляется переход от участков с преобладанием положительных вертикальных тектонических движений, достигающих максимума в полосе водораздела западной части Большого Кавказа, к глубоким опусканиям в Индоло-Кубанском и Восточно-Кубанском краевых прогибах. Смена знака новейших движений осуществляется на границе выходов мезозойских (мел) и кайнозойских (палеоген, неоген) отложений. Неясно, существует ли вдоль этой границы глубинный разлом; без труда можно представить себе нормальное моноклиналиное погружение к северу всех толщ, от юрских до неогеновых. Может быть, этим объясняется отсутствие сильных и очень малое число слабых землетрясений на всей территории зоны № 3.

Единственное землетрясение, достойное того, чтобы его отметить, Верхне-Птишское 1963 г. ( $M = 3,3$ ,  $I_0 = 7$  баллов,  $h = 1,3$  км), произошло на северо-западном продолжении оси древнего ядра антиклинория (зона № 2) и в своем происхождении связано, скорее всего, с режимом зоны № 2.

Но есть в зоне № 3 один участок, отличающийся от остальных геологическим строением и сейсмическим режимом, — это район Минеральных Вод. При жестких условиях отбора землетрясений для нашего списка в последнем для Минераловодского района оказалось два землетрясения: 1844 и 1921 гг. (довольно большое число более слабых землетрясений не попало в этот список, но они собраны и описаны многими авторами [599, 678–680, 705, 738]); затем Тамбуканское землетрясение 30.01.1868 [599] и т.п. Некоторые из землетрясений достигали интенсивности, по-видимому, в 7 баллов: 23.01.09; 29.06.21; 10.02.29, ряд толчков в прошлом веке. Э.А. Казин в статье 1982 г. отмечает для района КМВ несколько 6-балльных (1875, 1940, 1967 гг.) и два 7-балльных (1895, 1921 гг.) землетрясения.

Какова причина заметной сейсмичности района Минеральных Вод? Могут лишь отметить некоторые особенности геологии, которые, вероятно, имеют отношение к возбуждению сейсмических сил. К данному участку, т.е. к району Минеральных Вод, подходит северо-западный "угол" Терско-Сунженского прогиба, причем контраст между отрицательными движениями прогиба и положительными в Кумском выступе фундамента дополняется поворотом и скупиванием изолиний подошвы коры. Здесь расположены широко известные, но, с точки зрения геолога, неожиданные для Северного Кавказа проявления недавней магматической деятельности в форме лакколитов Бештау, Змеиной и других изолированных гор (см., например [624; 688]). Все это довольно абстрактные и чисто качественные построения, но они в какой-то степени могут содействовать объяснению несколько повышенной сейсмической активности района Минеральных Вод.

Вопросу о местных землетрясениях посвящена позднейшая заметка П.Н. Никитина [679]. Автор указывает на то, что с 1771 г. здесь было отмечено свыше 200 местных землетрясений; из них в 1819, 1923, 1844 и 1921 гг. интенсивность подземных толчков достигала, по мнению автора, 7 баллов; то же для двух последних дает каталог [31]. Сейсмогеологические построения П.Н. Никитина следуют традиции, т.е. соответствуют идее о сейсмогенном значении разрывных нарушений. В целом "территория КМВ является сейсмоактивной. Характерной сейсмической особенностью этого района является незначительная глубина очагов большинства землетрясений и приуроченность их к разломам фундамента" [679, с. 152]. Акцент на роли фундамента, вероятно, правомерен, глубина очагов отнюдь не мала, и коренные породы мела и третичные лежат почти в ненарушенном положении, так что источник сейсм нужно искать на глубине, но отнюдь не обязательно думать о разрывах в фундаменте. Более обоснованы ассоциации с вулканическими проявлениями: вряд ли случайно совпадение последних с сейсмическими центрами.

Добавлю, что в одной из работ М.Н. Смирновой описывались изменения режима (дебита, температуры) минеральных источников в районе Пятигорска. Вывод, к которому пришла М.Н. Смирнова, таков: "Характер изменения режима источников свидетельствует о достаточно сложном влиянии землетрясений на режим Пятигорских минеральных источников" [738, с. 81]. Да, пока результаты в этом отношении неоднозначны и выводы весьма дискуссионны.

Сейсмотектоническая зона № 4 — "Юго-Западная", мегантиклинорий Большого Кавказа, Западный антиклинорий, южное крыло,  $N_m \approx 7 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

#### Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800–1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
07.07.1870	43,6	39,9	13	5,3	7–8	Сочи
21.10.05	43,3	41,7	35	5,1	7–8	Лазаревская
26.01.57	42,6	42,3	19	5,3	7	Гегечкори
29.01.57	42,5	42,4	16	5,1	7	"
29.01.57	42,5	42,4	09	5,3	8	"
04.12.70	43,8	39,3	07	5,1	7–8	Сочи

В несколько иных условиях развивается сейсмотектоническая зона № 4. Здесь интенсивность новейших движений заметно выше, чем на северном крыле, отме-

чается наличие изоклинальных и опрокинутых складок с их очевидной южной или юго-западной vergenцией, более четко выражена контактная зона с полосой депрессий — Черноморской и Рионской (М.Е. Астахов, Н.В. Думитрашко). Вдоль побережья, по всей видимости, проходит глубинный разлом, отвечающий в рельефе дна моря крутому континентальному склону; на юго-востоке трасса разлома переходит на сушу, обозначая границу между толщами юры и мела Сванетского, Эгрисского и Рачинского хребтов зоны № 4 и глубокой Рионской межгорной впадины сейсмостектонической зоны № 14 с ее мощными накоплениями кайнозойских осадков.

Эпицентры землетрясений, по крайней мере за последние десятилетия, отражают существование двух групп очагов, уже себя проявивших: Сочинской и Эгрисской.

К Сочинской группе относятся землетрясения 1870 и 1970 гг. с  $M > 5,0$ , а также более слабые с  $M < 5,0$ , но  $I_0$  от 7 до 8 баллов: 21 и 27.12.55 (Краснополянские) и 25.09.59.

К Эгрисской группе — землетрясения Гегечкорские 1957 г. с  $M > 5,0$ , а также 6—7-балльные землетрясения 7.11.30 (Мегрело-Сванское), 21.12.38, 26.11.40, 15.06.41 13.09.48, 25.12.55, 5.07.58 с  $M < 5,0$ .

*Сочинская группа землетрясений.* После сильного землетрясения 1970 г., почти неизученного, в Красной Поляне 21.12 и 27.12.55, произошло аналогичное землетрясение. Эпицентры землетрясений 1970 и 1955 гг. лежат почти рядом, интенсивность одинакова (7—8 баллов), а различия в  $M$  и  $h$  разительны:  $M = 5,3$  при глубине 13 км в первом случае, и  $M = 4,4$  при  $h = 3$  км во втором. Казалось бы, — отличный пример взаимосвязи между  $M$ ,  $h$  и  $I_0$ , однако эти величины, особенно для первого случая, и не могли быть иными, так как вытекают из заранее принятой формулы макросейсмического поля, т.е., не учитывая особенностей расчета, мы могли бы впасть в забавную логическую ошибку.

О геологической обстановке в районе Красной Поляны можно судить по статье В.Н. Робинсона, который вне всякой связи с землетрясением 1955 г. писал: "Основными элементами тектоники района Красной Поляны... являются два крупных продольных разрыва, по которым более древние толщи надвинуты с севера на юг на более молодые. Другой характерной чертой тектоники данной области является система складчатости промежуточной зоны между этими надвигами" [719, с. 1087]; амплитуда последних достигает нескольких километров. В статье подробно рассматриваются вопросы статиграфии, имеется геологическая карта (по которой, правда, трудно судить о местоположении надвигов).

Сейсмогеологические аспекты краснополянских землетрясений 1955 г. рассмотрены в статье Д.Н. Рустановича: "... активным сейсмическим процессам подвержены в настоящий период склоны Большого Кавказа и Черноморское побережье... Весьма убедительно видна приуроченность очагов к поверхностным структурам... Полоса эпицентров, проходящая через Красную Поляну на северо-запад, соответствует линии крупнейшего надвига, определяющего собой южную границу зоны сланцевой депрессии и северную границу Передового хребта" [728, с. 94]. Далее отмечается, что "сильные землетрясения происходят в тех же местах, где происходят и слабые землетрясения" (с. 95), и дается график повторяемости (с. 97). Вывод таков: "...основная часть очагов местных землетрясений приурочена к живущим поверхностным структурам... Однако ... причины проявления сейсмичности связаны с более глубокими и сложными тектоническими процессами... Область сводового поднятия Большого Кавказа и Гагринский массив не сейсмичны. Не сейсмично и дно опускающейся Черноморской впадины. Сейсмичными оказываются склоны Большого Кавказа и Черноморское побережье, т.е. переходные зоны, заключенные между областями поднятий и опусканий" (с. 98), это наша сейсмостектоническая зона № 4.

Конечно, установить непосредственную генетическую связь между каким-либо определенным тектоническим разрывом и очагом землетрясения весьма соблазнительно, но мотивировать такую связь только пространственным совпадением эпицентров и трасс разрыва будет недостаточно.

Стоит также иметь в виду, что происхождение, развитие и конфигурация упомянутого в [728] надвига обусловлены процессами главной фазы альпийской складчатости, тогда как новейшие движения, к которым апеллирует автор упомянутой статьи, мо-же, они развивались позднее и по несколько иному плану.

В работе отмечается также сейсмогенная роль "глубинных поперечных разломов",

проходящих вдоль рек Мзымты, Мацесты, Сочи, Шахе. Если эти поперечные разрывы и существуют, то вряд ли их можно относить все же к категории "глубинных разломов".

Краснополянскому землетрясению 1955 г. посвящен отдельный выпуск бюллетеня Совета по сейсмологии АН СССР [626]. Здесь в статье Д.К. Рустановича отмечено, что "северо-восточнее Красной Поляны, в пределах Главного Кавказского хребта, располагаются породы докембрийского фундамента, представленные кристаллическими сланцами, песчаниками и известняками" (с. 56); южнее, от перевала Псеашхо до Красной Поляны, расположена зона флиша  $J_1$ , а южнее Красной Поляны — флиш  $J_3$  и  $K$ . Отмеченные полосы разделяются продольными надвигами. Совпадение эпицентров землетрясений с линиями тектонических нарушений "позволяет думать о возможной связи очагов землетрясений с тектоническими нарушениями" (с. 61). Более конкретных указаний на сеймотектонические связи автор не дает.

В статье Ш.А. Джабуа того же сборника отмечено, что "бассейн р. Мзымты представлен параллельными складками, серией параллельных надвигов с плоскостями падения на север", что район эпицентра "расположен на границе приподнятого с севера Главного Кавказского хребта и сланцевой депрессии южного склона, где находится поселок Красная Поляна" (с. 4) и что здесь имеются и поперечные разрывы, причем участок сочленения Главного надвига и поперечного разлома имеет "сейсмогенетический характер". Термин "характер" в приложении к объектам тектонического содержания всегда несколько смущает; в данном случае хотелось бы видеть более реальные признаки его сейсмогенерирующей роли.

В статье [606] говорится, что "географическое расположение очагов местных землетрясений, а также небольшие их глубины свидетельствуют о приуроченности их к живущим поверхностным структурам" (с. 238). К сожалению, под термином "структуры" авторы понимают, как следует из дальнейшего, лишь надвиги или другие разрывные нарушения.

Роли разрывов при Краснополянском землетрясении касалась и В.А. Растворова. Она полагала, что "в расположении эпицентров намечается определенная закономерность. Одни из них тяготеют к зонам продольных уступов, включая уступ на материковом склоне, другие группируются вдоль речных долин" [711, с. 36]. К статье приложена карта расположения эпицентров, а также элементов тектоники и гидрографии. Карта действительно интересна по своему фактическому содержанию, но увидеть в ней те закономерности, о которых говорит приведенная цитата, можно лишь при особом желании их обнаружить.

Годом раньше, в 1960 г., вышла в свет статья В.А. Растворовой и Д.Н. Рустановича, описавших то же Краснополянское землетрясение 1955 г. Авторы сообщают: "...рассматривая в целом систему поднимающегося свода Большого Кавказа и погружающуюся впадину Черного моря, мы видим, что сейсмической оказывается переходная зона (наша сеймотектоническая зона № 4. — Г.Г.). Осевая зона сводового поднятия Большого Кавказа и дно Черноморской впадины несейсмичны" [714, с. 115]. Относительно впадины Черного моря это верно; что же касается осевой зоны сводового поднятия Большого Кавказа, то здесь дело заключается в том, как проводить границы сеймотектонических зон. По нашей схеме очаги некоторых сильных землетрясений относятся именно к сводовому поднятию (сеймотектоническая зона № 2).

В 1969—1971 гг. в районе Сочи вновь были отмечены многочисленные подземные толчки, т.е. рой толчков, сильнейший из которых относится к 4.12.70; толчки сопровождался поднятием побережья вблизи от эпицентра (поселок Лоо) на десятки сантиметров. Опубликованы интересные схемы, из которых видно тяготение линейного роя эпицентров к северо-западному — юго-восточному направлению.

Следует отметить, что для района Сочи—Хоста имеются работы, затрагивающие вопросы сейсмического микрорайонирования, например А.З. Каца.

*Эгрисская группа землетрясений.* Уже давно Л.А. Варданянц [546] предложил выделять на Черноморском побережье Кавказа сейсмически активные районы: Туапсинский, Лазаревский, Сочинский, Гагринский, Сухумский. Да, такие группы эпицентров землетрясений имеются, но можно добавить к ним еще Эгрисскую зону, расположенную на крайнем юго-восточном участке сеймотектонической зоны № 4. В геологическом отношении все участки зоны № 4 нужно считать квазиоднородными.

Среди 6—7-балльных землетрясений за последние годы здесь отмечены: Мегрело-

Сванское 1930 г. ( $M = 4,8$ ); Амбролаурское 1940 г. ( $M = 3,5$ ); Менджийское 1951 г. ( $M = 4,7$ ); Западно-Грузинское 1941 г., 1948 г. ( $M = 4,3-4,7$ ); Верхне-Мегрельское 1955 г. ( $M = 4,8$ ); Гегечкорское 1957 г. ( $M = 5,3$ ); Ачигварское 1958 г. ( $M = 4,0$ ); Лазаревское 1959 г. ( $M = 4,3$ ).

Мегрело-Сванское землетрясение 7.11.30 относится к каньону р. Ингури. Здесь в предгорьях Главного Кавказского хребта имеется ряд постепенно повышающихся террас, "за которыми следуют хребты с разломами, сбросами, надвигами... Эпицентр Мегрело-Сванского землетрясения находится около того места ущелья реки Ингури, где она резко поворачивает на ЗЮЗ. Имеющийся здесь изгиб осей складок обуславливает поворот в течении реки. Здесь естественно предполагать (! — Г.Г.) наличие продольных разрывов в этой части зоны южного склона Главного хребта, где южнее селения Джвари проходит краевая полоса миоценовых депрессий. Очаг нашего землетрясения, очевидно (! — Г.Г.), связан с одним из этих разрывов". Так писал Е.И. Бюс [529, с. 43-44]. Следовательно, можно "предполагать" наличие разрывов, с которыми, "очевидно", связано землетрясение... Неубедительное построение. Конечно, теоретически подобная связь может быть и не исключена, однако в данном случае она, вероятно, сложнее. Дело в том, что очаг толчка 7.11.30 лежал на значительной глубине — где-то в пределах от 14 до 30 км, т.е. уже в кристаллической части коры. Разрывы же, отмеченные на поверхности, должны пониматься как осложнение структуры осадочной оболочки, лишь отражающее строение глубоких горизонтов, с которыми связан очаг Мегрело-Сванского землетрясения.

26.09.40 в зоне № 4 произошло Амбролаурское землетрясение, детально описанное в [638]. Эпицентр землетрясения:  $42,5^{\circ}$  с.ш.,  $43,2^{\circ}$  в.д.,  $h \approx 2$  км,  $M = 3,5$ ,  $I_0 = 4$  балла. Т.М. Лебедева пишет: "Землетрясения с малой глубиной очага довольно редко (наоборот, часто! — Г.Г.) встречаются на Кавказе, а потому землетрясение в Амбролаури вызвало у нас большой интерес" [638, с. 30]. И далее: "Вертикальные толчки в эпицентре, необычайно малая область сотрясений, большая интенсивность в эпицентре, незначительный микросейсмический радиус действия... также подтверждают, что очаг землетрясения лежит близко к поверхности земли" (с. 36). Вероятно, это все так, но, замечу, вертикальные толчки в эпицентре будут при всякой  $h$ , малая область сотрясений будет не только при малой  $h$ , но и при малой величине энергии, и т.д. И далее: "По словам академика Джанелидзе, на основании его наблюдений, вблизи г. Амбролаури имеется тектоническая линия, проходящая в меридиональном направлении. Это землетрясение, очевидно (? — Г.Г.), связано с этой тектонической линией" (с. 44). Приятно видеть столь безапелляционное доверие сейсмолога к данным геологии, но хотелось бы видеть более убедительные свидетельства связи между землетрясением и "тектонической линией". Между прочим, разрывов меридионального направления близ Амбролаури нет ни на геологической карте Кавказа В.Д. Голубятникова и Д.В. Наливкина, ни на геологической карте Грузинской ССР П.Д. Гамкрелидзе, ни на тектонической карте Грузинской ССР Л.Л. Цагарели.

Землетрясения 11.06 и 15.06.41 в Менджи были сильнейшими (6-7 баллов) из множества подземных толчков (более 500), образующих "рой землетрясений", происходящих на время от 3.06 до 18.07.41; для 17 из них удалось определить положение эпицентров, которые концентрируются вдоль некоторой "эпицентральной осевой линии". Глубина залегания очагов июньского роя землетрясений колеблется в пределах от 13 до 19 км (или менее). Указанная выше эпицентральной осевой линией роя расположена в зоне разрыва, "связанного с надвиганием южного крыла Мегрельской синклинали на юг". "Причину активизации здесь геологических сил указать трудно. Ее, возможно, следует искать в условиях изостатического выравнивания на участке восточной прибрежной полосы Черного моря, где происходит непрерывный перенос материи с возвышенных мест в черноморскую впадину" [529, с. 66].

К этому же району относится и рой гегечкорских землетрясений 1956-1957 гг., одно из них, именно 29.01.57, достигло интенсивности 8 баллов (при  $M = 5,3$ ). Оно сопровождалось целым "роем" толчков, охвативших время с конца 1956 по начало 1957 г. Для более чем 200 толчков было определено положение эпицентров [541]. Глубина очагов местных землетрясений составляет не более 25-30 км; часто менее 10 км. Имеются карты изосейст некоторых гегечкорских землетрясений. "Эпицентры Гегечкорского района укладываются на линии Мегрельского глубинного разлома, установленного М.М. Рубинштейном... Этот разлом проходит вдоль западного

склона мелового известнякового массива горы Асхи, через кулисообразно расположенные брахиантиклинали Абедати, Накалакеви, Тамакони и Экисмта, и затем, скрываясь под покровом четвертичных отложений Колхидской низменности, протягиваются в сторону Поти" [763, с. 999].

О.М. Майсурадзе [653] пишет об этом так: "1) В Цхакая-Гегечкорской сейсмотектонической полосе проходит тектоническая линия разлома с северным и северо-восточным простиранием, являющаяся сейсмогенетической. 2) Плоскость разлома этой тектонической линии имеет юго-восточный наклон"; и далее: линия эта "не представляет простую линию разлома, она осложнена продольными разломами" и т.д. К сожалению, связь "линии" с землетрясениями остается недоказанной.

Рой гегечкорских землетрясений 1956–1957 гг. описан также в более ранней статье О.М. Майсурадзе (1960); вопросов геологии автор не затрагивает. С.А. Пирузян в 1957 г. рассмотрел вопрос о влиянии "микрogeологии" (грунта, подземных вод, рельефа) на интенсивность колебаний при гегечкорских землетрясениях.

Что касается Ачигварского землетрясения 5.07.58, то оно, а также его многочисленные афтершоки расположены в полосе южных отрогов Кодорского хребта. "В геологическом отношении они приурочены к зоне глубинного разлома, вдоль которого происходит сочленение Грузинской глыбы с геосинклинальной зоной южного склона Большого Кавказа" [772, с. 1390].

К описываемому району относится также Западно-Грузинское землетрясение 13.09.48 ( $M = 4,3$ ,  $I_0 = 6$  баллов,  $h = 15$  км). Его эпицентр "лежит в соседстве, вероятно (! — Г.Г.), с одной из линий разлома на подступах к предгорьям Мегрельского хребта" [532, с. 81].

Данный район в сейсмотектоническом отношении представляет значительный интерес. Контакт Главного Кавказского хребта с Рионской депрессией осложнен наличием ярко выраженной Мегрельской изометричной синклинали. Вдоль ее северного борта в контакте меловых и третичных отложений проходит ряд разрывов, имеющих характер поддвига структур Большого Кавказа под синклиналь. Вдоль восточного ограничения синклинали проходит Мегрельский разлом, отмеченный М.М. Рубинштейном. Он выражен на поверхности рядом кулисообразно расположенных антиклиналей, содержащих в ядре меловые отложения и осложненных дополнительными разрывами. Сейсмические проявления приурочены к периферии Мегрельской синклинали, главным образом к ее северному и юго-восточному обрамлениям. Как линия соприкосновения активных блоков — Мегрельского и смежных с ним — Мегрельский разлом может играть значительную роль. Значение же процессов изостатического выравнивания, на что иногда указывалось, в данном случае остается недоказанным.

Добавлю, что землетрясения в Грузии рассмотрены в статье [654], а затем в диссертации О.М. Майсурадзе. Автор, по-видимому, в соответствии с идеями М.М. Рубинштейна, полагает, что "основными геотектоническими элементами" в Грузии являются: 1) западная часть геoантиклинория Главного хребта; 2) западная часть складчатой системы южного склона; 3) западная часть Грузинской глыбы; 4) западная часть Аджаро-Триалетской складчатой системы. Излагаются результаты некоторых расчетов и наблюдений, из чего следует, что очаги землетрясений тесно связаны с известными тектоническими разрывами. Сомнений в добротности вычислений О.М. Майсурадзе, естественно, нет, но геологическая интерпретация, слишком "ортодоксальная", вызывает большие сомнения. Не принимает ли автор желаемое за действительное?

Вообще же нельзя не отметить ярко выраженного стремления ученых, занимавшихся землетрясениями Мегрелии и многих других сейсмотектонических зон, устанавливать связь землетрясений с тектоническими разрывами, иногда даже не привлекая данных о глубинах очагов и основываясь только на соседстве эпицентров с разрывами, видимыми на поверхности. Нет ничего опаснее подобного примитивного приема; он прямо ведет к ошибкам, и примеров тому было немало. Подчеркну, что решения сейсмотектонических задач нужно искать не в подвижках по разрывам, а в деформации блоков коры или мантии.

В дополнение к обзору сейсмотектонической обстановки в зоне № 4 коснусь вопроса о сейсмичности впадины Черного моря (сейсмотектоническая зона № 4а), поскольку эта впадина граничит с зоной № 4.

В пределах глубоководной части впадины в условиях отсутствия слоя "гранита" эпицентров землетрясений практически нет. Сейсмоактивные структуры дна моря, при-

уроченные к области перехода от материка к впадине и совпадающие с узкой полосой континентального склона, выраженного здесь вполне отчетливо, мы включаем в пределы зоны № 4. В некоторой близости от берега находился эпицентр землетрясения 19.01.35, известного как Черноморско-Сухумское; расстояние от берега около 100 км,  $\varphi = 42,4^\circ$  с.ш.,  $\lambda = 40^\circ$  в.д.,  $M = 4,7$ ; на суше  $l = 6$  баллов,  $h = 22$  км. Другое землетрясение — 21.10.05; эпицентр его сначала помещали в море, на траверсе Сочи, но при более детальном изучении выяснилось, что он расположен близ пос. Лазаревское [31, с. 94] или Тебердинское [720, с. 32], т.е. в группе сочинских очагов. Скорее всего мы имеем здесь дело с примером "общих сотрясений", вызванных распространенным (весьма обширным) очагом, и искать один гипоцентр в данном случае вряд ли целесообразно.

Е.Е. Милановский, рассматривая геологическую историю впадины Черного моря, отметил: "В неоген-четвертичное время впадина еще более расширилась в результате поглощения ею отдельных участков альпийских складчатых сооружений — южных частей мегантиклинорий Крыма и Северо-Западного Кавказа... На ряде участков этот процесс продолжается и до современности, о чем говорят почти полное отсутствие четвертичных морских террас на южном берегу Крыма и северном побережье Турции и многочисленные сейсмические очаги на прилегающих к ним краевых участках Черноморской впадины" [427, с. 41]. Статья интересная, содержательная, но что касается идеи о расширении Черноморской впадины, то вывод этот все еще остается дискуссионным, как и та роль, которая в данном случае предназначена очагам землетрясений.

Касаясь вопросов сейсмичности в зоне № 4, следует упомянуть, что именно здесь расположена крупнейшая плотина ГЭС на р. Ингури. Вопросы сейсмичности района Ингури-ГЭС рассматривал А.Д. Цхакая, отметивший, что с 1955 г. здесь усилилась сейсмическая деятельность, и что исходя из общей обстановки, следует отнести район, тяготеющий к створу плотины, к 8-балльной зоне, но не исключена возможность проявления здесь и 9-балльных толчков. Поэтому "в качестве расчетного балла при проектировании ответственных сооружений Ингури-ГЭС, следует принять 9 баллов" [768, с. 96]. Полагая, что это правильное заключение, хотя вопрос и остается пока еще дискуссионным. Недавно его вновь касался Г.Я. Мурусидзе, один и с соавторами. Ряд статей, относящихся к проблеме сейсмичности района Ингури-ГЭС, можно найти в [597].

Вопросы тектоники, и особенно трещиноватости района Ингури-ГЭС, рассмотрели в 1977 г. П.Н. Николаев и О.А. Лебедева. Анализ 25 000 замеров ориентировки трещин в мезозойских отложениях показал, что в районе неоднократно происходила смена полей тектонических напряжений, что каждая структура обладает своим набором полей, контролирующих трещиноватость, что, однако, происходит на фоне общего регионального поля напряжений. На последнем этапе вся территория оказывается сферой действия единого поля напряжений с вертикальной (не горизонтальной!) ориентировкой оси сжатия  $\sigma_3$ . Этому полю якобы отвечают обнаруженные здесь сейсмодислокации.

*Сеймотектоническая зона № 5 — "Таманская периклинали", мегантиклинорий Большого Кавказа, Западный антиклинорий, Таманская периклинали,  $N_m \approx 25 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$l_0$ , балл	Район
20.02.1834	44,8	36,9	20	5,5	6—7	Анапа
9.10.1879	45,1	37,8	22	5,7	7	Новая Кубань
5.07.1881	45,0	38,1	30	5,1	5—6	Крымск
12.10.05	44,7	37,4	15	5,1	6—7	Анапа
12.07.66	44,7	37,3	55	5,8	7	"
22.07.72	44,8	37,2	19	5,2	5	"

Сеймотектоническая зона № 5, с востока ограниченная линией Славянск-на-Кубани—Крымск—Новороссийск, отличается, как видно из таблицы, довольно интенсивной сейсмической деятельностью: здесь на небольшой площади за 150 лет отмечено по меньшей мере 6 землетрясений с  $M > 5$  и притом все с местными очагами. Глубина очагов землетрясений, колеблясь от 15 до 55 км, превышала среднюю глубину очагов всего Кавказа, но интенсивность колебаний на поверхности достигала иногда 7 баллов. К списку можно добавить еще ряд землетрясений с  $M < 5,0$ , но тоже заметной интенсивности, например 8.01.69 ( $M = 4,9$ ,  $h = 18$  км, Анапа) и значительное число более слабых типа Абинского 25.05.68.

В чем же состоит причина очевидной активности Таманской периклинали?

В обычных случаях в пределах альпийского подвижного пояса новейшие поднятия сопровождаются повышением сейсмического потенциала по сравнению со структурами погружения. Будем ли мы следовать от центра поднятия к его периферии вдоль оси деформации или поперек оси — в обоих случаях мы увидим снижение сейсмической активности вплоть до ее почти полного исчезновения на площади недеформированной платформы. Так обстоит дело в большинстве случаев.

Таманская периклинали (зона № 5) Большого Кавказа дает пример обратных соотношений: ось Западного антиклинория в западном направлении погружается, складки замыкаются, все толщи одна за другой последовательно уходят вглубь, что сопровождается, естественно, резким поворотом простираний, и на низменных пространствах Таманского полуострова и неглубоком дне Керченского пролива господствуют лишь верхнекайнозойские отложения, а землетрясения, тем не менее, держатся на уровне  $M > 5$ , и их немало; соответственно повышены значения сейсмической активности  $A$  (до  $A = 0,2$ ), максимальной магнитуды  $K_{max}$  до 15 и сотрясаемости  $B$ . Приблизительно таковы же эти параметры на Апшеронском полуострове, т.е. в пределах юго-восточной периклинали Восточного антиклинория (зона № 13) Большого Кавказа.

Явление это не ускользнуло от внимания исследователей, занимавшихся землетрясениями Северо-Западного Кавказа. Так, И.В. Ананьин приходит к следующим выводам: "...район западного окончания Западного Кавказа является чрезвычайно тектонически подвижной зоной, в которой на большой территории могут накапливаться огромные напряжения, скорее всего связанные с поперечными структурами" [590, с. 38]; большое число эпицентров сильных землетрясений располагается "вдоль побережья Черного моря от района Сочи до Анапы и, вероятно, связано с зоной движений по разломам между опускающимся дном Черного моря и поднимающимся относительно него Западным Кавказом" (с. 35).

Кстати, отмечу, что на большую "неоднородность" Анапского района в геологическом отношении, усложненную "активностью" грязевого вулканизма и резким "спадом" гравитационных аномалий, обращалось внимание в работе [498]; я не уверен в том, что грязевой вулканизм, а также "спад" аномалий силы тяжести свидетельствуют об усилении "неоднородности" и, следовательно, повышения сейсмической опасности, но строение периклинали действительно отмечается значительной сложностью и разнообразием.

Возвращаясь к работе [490], напомним, что автор (со ссылкой на А.Н. Шарданова [775]), описывает систему поперечных разломов, которые якобы "хорошо выявляются на Западном Кавказе и Предкавказье не только по геологическим, но и по геофизическим данным" (с. 36) и подчеркивает особую роль этих поперечных (т.е. субмеридиональных) разломов и мест их пересечения с продольными. В целом Западный Кавказ и Западное Предкавказье представляют собой сейсмоактивные зоны, в которых возникало большое число шестибалльных и несколько семибалльных землетрясений. Возможны новые землетрясения с магнитудой до  $5\frac{1}{2}$ , а возможно, и более" [490, с. 38]. Последнее, по-видимому, вполне справедливо, но в тенденции обязательно искать в сейсмогеологических целях глубинные разломы я вижу не более чем отражение "поветрия", которым "заражены" многие сейсмологи, "замороженные" понятием о тектонических разрывах и их сейсмогенерирующей роли. Поперечные разломы на геологических и тектонических картах Западного Кавказа и Предкавказья хотя нередки и многочисленны, но не очень достоверны, а соответствующие карты противоречат друг другу. А.Н. Шарданов, рисуя разломы на своей схеме тектонического строения Краснодарского края, сам нередко говорит о них лишь в форме предположения [775, с. 150].

Впрочем, один взгляд на карту эпицентров, землетрясений и тектонического строения Предкавказья [490] показывает, что лишь большое стремление автора обнаружить какие-то поперечные сейсмогенерирующие дизъюнктивные линии заставляет проводить их там, где более объективный взгляд обнаружить их не в состоянии.

Многие геофизики рисуют здесь аналогичные поперечные разломы, но у каждого автора — своя схема, не совпадающая с другими. На многих схемах, вполне объективных, поперечных разрывов нет вообще. Таким образом, апеллировать в данном случае к таким сугубо гипотетическим факторам, как поперечные глубинные разломы, по меньшей мере преждевременно.

Эпицентры землетрясения Крымска и Новой Кубани, с одной стороны, и Анапы —

с другой, как бы окружают Таманскую периклиналь Западного антиклинория, о котором говорилось выше. Резкий поворот простираний альпийских структур обычно сопровождается заметным усилением сейсмических проявлений, и, хотя в этот процесс вовлекается ряд других факторов, в целом эта тенденция обычно сохраняется. Думается, что и здесь, в зоне № 5, мы встречаемся именно с такой картиной.

Напомним, что материалы археологии позволяют говорить о том, что в 63 г. до н.э. было отмечено 8-балльное землетрясение с эпицентром где-то на Таманском полуострове или в Керченском проливе ( $M = 6,4$ ,  $h \approx 20$  км, землетрясение Пантикапейское, по [31, с. 56]). Сведения эти еще нуждаются в тщательной проверке, но если они подтвердятся, то Таманское полукольцо эпицентров (или даже "кольцо") будет с запада замкнуто.

Дополнительное осложнение общей обстановки состоит в том, что к сеймотектонической зоне № 5 подходит с востоко-юго-востока "Южный" глубинный разлом, вернее более или менее широкая зона этого разлома, что создает условия для возникновения эпицентров землетрясений в полосе континентального склона, т.е. в море южнее Анапы. Землетрясение 12.07.66 было скорее всего именно таковым [643а]. Глубина очага этого землетрясения превышает 50 км; то же для Кубанского землетрясения 1926 г. Очевидно, что на погружении Кавказа имеются какие-то неоднородности в мантии, отраженные в специфике местной геологии.

Те же акценты подчеркнуты в статье [495]: "Вдоль простирания Большого Кавказа (простиранием обладают не хребты, а слои. — Г.Г.) тянутся глубинные зоны разломов (разломов может быть несколько, а зона — одна. — Г.Г.). Наиболее сейсмоактивной зоной разломов является зона, тянущаяся вдоль береговой линии Кавказа: Сочи—Анапа... Особенно сейсмоактивными участками этой зоны являются районы пересечения с ней поперечных зон разломов. На Западном Кавказе имеются две ярко выраженные поперечные зоны: первая в районе Сочи, вторая — в районе Анапы ("ярко выраженные"? Они обе весьма проблематичны; на последней карте глубинных разломов [178] их нет. — Г.Г.)... Данное землетрясение (12.07.66. — Г.Г.) произошло в прибрежной части между Анапой и Новороссийском и, вероятно, связано с подвижками в зоне разломов, тянущейся вдоль береговой линии" [495, с. 56]. Мысль ясная, но я бы выразил ее иначе: очаги землетрясений возникают здесь в результате смещений при поднятии блока Западного Кавказа, надвигающегося на опущенный блок Черноморской впадины; конечно, доказательства реальности этой идеи надо еще разыскивать. Эпицентры находятся в море, где мы имеем мало данных.

В коллективной заметке об Анапском землетрясении 12.07.66 [494] еще раз подчеркивается "неоднородность Анапо-Новороссийской зоны в геологическом отношении" (с. 125), а также то, что "вероятность возникновения сильных землетрясений" до 6—7 баллов здесь "наибольшая по сравнению с соседними районами побережья" [Там же].

Имеется попытка расчета  $K_{max}$  возможных землетрясений для территории сопряжения Крыма и Кавказа по комплексу данных о сейсмической активности, о горизонтальном градиенте изостатических аномалий силы тяжести, о скорости современных вертикальных движений, выявленных методами геодезии и геоморфологии. Максимальных значений достигает рассчитанное  $K_{max}$  (до  $K = 16$ ) в районе Чхалты и Анапы и восточнее Сочи [586]. Впрочем, этот вывод вытекает из материалов по статистике землетрясений: статистика хороша, но она вряд ли может дать что-либо существенное помимо того, что было заложено в расчеты.

*Сеймотектоническая зона № 6 — "Центральная", мегантиклинорий Большого Кавказа, центральная часть мегантиклинория,  $N_m \approx 25 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
14.01.15	42,8	44,7	19	5,4	7	Гудемакар
21.01.15	42,8	44,7	30	5,2	6	"
10.02.29	43,1	43,9	17	5,3	7	Урух
15.08.47	42,5	45,0	25	5,5	7	Гудемакар
20.02.75	42,5	45,1	05	5,1	8	Борисахо

Продвигаясь вдоль оси мегантиклинория Большого Кавказа с запада на восток, от Западного антиклинория к Восточному, мы пересекаем на границе между ними важ-

ную сейсмоструктурную зону — известный поперечный, т.е. субмеридиональный, ли-  
неament, который мы называем Центральным или Транскавказским. Он протягивается  
от Багдада на юге до Ергеней на севере (а возможно, и еще далее на север) и носит гло-  
бальный характер, хотя и проявляется по-разному и в разной степени очевидности,  
в том числе и в сейсмическом отношении. В данном случае, т.е. на отрезке осевой части  
мегантиклинория Большого Кавказа между Казбеком и Эльбрусом, сейсмическая ха-  
рактеристика зоны линеамента оказывается, как ни странно, весьма невыразительной.

Здесь, в пересечении мегантиклинория Большого Кавказа с Транскавказским лине-  
amentом, т.е. на площади между Алагиром и Орджоникидзе, с одной стороны, и Гори и  
Тбилиси — с другой, известно в нашем веке немного землетрясений с  $M > 5,0$ , например  
близ Уруха в 1929 г.<sup>1</sup> Известно несколько более слабых толчков, в том числе 23.04.23  
(Салгирское землетрясение) и 6.04.32 (Приказбекское землетрясение) с  $M$  от 4,5 до  
4,9. Землетрясения 1915, 1947, 1949, 1951, 1955, 1957 гг. с малой площадью распро-  
странения колебаний достигали в некоторых пунктах, быть может, 6—7 баллов. Слабые  
толчки фиксировались нередко.

А.Я. Левицкая обнаружила, что глубина очагов местных землетрясений как будто  
увеличивается в северном направлении и что "такое распределение очагов по глубинам  
объясняется различием геологического строения земной коры в этих районах" [646,  
с. 36] — замечание, которое, я полагаю, можно с той же степенью справедливости отнес-  
ти к любому району.

В той же работе А.Я. Левицкая подчеркивает, что "очаги распределяются преиму-  
щественно по направлению ЮВ—СЗ, параллельно Главному Кавказскому хребту, причем  
наибольшая их часть сконцентрирована к юго-востоку от горы Казбек" (с. 36). Любо-  
пытно, что Л.А. Варданянц, изучавший этот вопрос, полагал, что очаги здесь лежат в  
основном к северу от Казбека, а не к юго-востоку. Карта эпицентров А.Л. Левицкой  
показывает, что очаги, отмеченные в 1932—1947 гг., формируют полосу меридиональ-  
ного, а не ЮВ—СЗ направления, что ближе отвечает ориентировке упомянутого Транс-  
кавказского линеамента и согласуется с аналогичной ориентировкой сместителя сейсмо-  
генных разрывов, согласно интерпретации В.И. Кейлис-Борока [609].

Говоря о сейсмоструктурной Центрального Кавказа, Л.А. Варданянц [545] наметил  
здесь четыре сейсмоструктурных "зоны". Северная проходит на участке южнее Ала-  
гира и Орджоникидзе и относится к северному ограничению мегантиклинория. Южнее  
проходит Кассара-Дарьяльская зона, отвечающая в геоморфологическом смысле Боко-  
вому хребту. Здесь зафиксировано большое число продольных разрывов, а мезозой-  
ские отложения формируют ряд узких блоков, испытывающих интенсивные, хотя и  
неодинаковые, поднятия с относительной амплитудой в сотни метров. Южнее намеча-  
ется сейсмоструктурная зона по линии Джава—Душети с ответвлением на Пасанаури;  
она относится к южному ограничению Большого Кавказа. Четвертая зона, Гори-Тбили-  
си, расположена уже в пределах северной части Аджаро-Триалетской складчатой систе-  
мы. Таким образом, к Центральной части Большого Кавказа собственно относится  
лишь Кассара-Дарьяльская зона Л.А. Варданянца. Я склонен несколько расширить ее  
пределы, соединив две первых зоны вместе, и считая объединенную полосу естествен-  
ным продолжением сейсмоструктурной зоны № 2.

Один вполне конкретный пример сейсмоструктурных соотношений был дан для  
центральной части теми же авторами — А.Я. Левицкой, Л.А. Варданянцем [647] —  
в связи с землетрясением 6.04.32 в Приказбекском районе на северных склонах Боко-  
вого хребта (последний лучше именовать, как предлагают авторы, Казбекско-Диабазо-  
вым). В тектоническом смысле здесь имеется "длинный клин, обращенный острым реб-  
ром вниз и выжатый кверху... Как с севера, так и с юга горст ограничен зонами круп-  
ных сбросов и надвигов... Горст находится в неустойчивом положении, и подвижки  
вдоль сбросовых трещин, пересекающих и ограничивающих горст, продолжаются еще  
и сейчас" (с. 280). Геологические и геоморфологические признаки современных и  
интенсивных вертикальных движений Л.А. Варданянц наблюдал при полевых исследо-  
ваниях в Горной Осетии. В другой работе Л.А. Варданянц отмечает, что "самое подни-  
жание горста, вполне понятно, происходит до известной степени прерывисто, т.е. скач-  
ками, и должно сопровождаться более или менее сильными землетрясениями" [549,

<sup>1</sup> Может быть, его следует относить к зоне № 3.

с. 55]. Да, вероятно, так, и не сюда ли относится землетрясение 7.09.1890, которое отмечал А.В. Пастухов при восхождении на гору Халацы?

В 50-х годах В.Н. Крестников предпринял попытку сопоставления сейсмичности с тектоникой для центральной части Большого Кавказа. Он в развитие своей же схемы (1947 г. выделил на этой территории ряд структурных зон (синклиории и антиклиории), показал их на карте и одновременно поместил здесь же "все эпицентры землетрясений" за 1932—1951 гг. Точность определения координат эпицентров  $\pm 10$  км; глубина очагов 25 км, иногда до 60 км. Наблюдается две зоны концентрации эпицентров: 1) между Казбеком и реками Алазанью и Аргунюм (их верховья) и 2) в районе г. Закапалы. Первая из зон охватывает область развития трех крупных структур, "с жизнью которых связана сейсмичность" [627, с. 1138]. Горстообразное поднятие антиклиория Бокового хребта, динамика антиклиория Главного хребта, развитие Бежетинского синклиория — таковы тектонические процессы, которые ведут к возникновению очагов землетрясений: "...эпицентры в районе Казбека приурочиваются к области еще продолжающегося горстообразного поднятия Бокового хребта, на что ранее указывал Л.А. Варданянц. Общее поднятие антиклиория вызывает дальнейшее развитие подвижек по разломам. С жизнью этого антиклиория связано Дарьяльское землетрясение 1915 г., достигшее силы в 8 б. ..." [Там же]. «С дальнейшим формированием антиклиория Бокового хребта и Бежетинского синклиория связан ряд эпицентров в между-речье Аргуна и Андийского Койсу. Сгущение эпицентров в верховьях рек Алазани, Иори и Пшавской Арагвы приурочено к области западного погружения антиклиория Главного хребта... Сейсмичность этого участка обусловлена в основном продолжающимся сводовым поднятием антиклиория и его стремлением к дальнейшему развитию в западном направлении, что и вызывает "вспарывание" отложений верхней и средней юры и продолжение подвижек по разрывам» [Там же]. О больших деталях В.Н. Крестников не говорит, учитывая, вероятно, значительную глубину очагов.

Гудамаркарские землетрясения описаны в [692, 760, 762]. Эпицентры землетрясений расположены в Душетском и Казбекском районах; здесь же поблизости находится и Борисахо с его известными очагами 1975 г. А.Д. Цхакая [760] обследовал последствия землетрясения во множестве населенных пунктов (более сотни), определил положение эпицентров и площадь сотрясения, но геологических вопросов в своих работах не затрагивал. В статье [692] авторы ограничиваются лишь самым общим указанием на "существование определенной связи между распределением очагов землетрясений и геологическим строением района". Описывая Гудамаркарское землетрясение 15.08.47, а также Мтатусетское 2.11.51 и Варташенское 2.09.53 (может быть, их лучше отнести к сеймотектонической зоне № 12), авторы приходят к выводу: "Сопоставление геологических и сейсмических данных позволяет придти к общему заключению о том, что проявления активной сейсмической деятельности приурочены к районам современных тектонических движений" (с. 126). В чем состоит сущность такой "приуроченности", не разъясняется.

Весьма существенные результаты были получены О.Д. Гоцадзе [571] по вопросу о динамических параметрах очагов землетрясений некоторых сейсмоопасных регионов: Шемахинского, Ахалкалакского, Дагестанского, Приказбекского.

Для динамической характеристики очагов были использованы знаки смещений части почвы — в основном в соответствии с методическими предложениями А.В. Введенской [159] и В.И. Кейлис-Борока [212, 609]. Следует иметь в виду, что во всех случаях данный метод предусматривает наличие подвижек типа деформаций скалывания с образованием в очаге землетрясения разрыва сплошности пород. Подобная динамическая модель очага отвечает понятию о диполе, или двойной силе. Имеется возможность представить себе подобную модель несколько иного содержания: не разрыв, а деформируемая структура с теми же в общем динамическими параметрами, которые вытекают из анализа знаков смещений. С учетом данной поправки следует отметить итоги расчетов О.Д. Гоцадзе для Приказбекской группы очагов, которые характеризуются меридиональным простиранием подземных плоскостей "разрывов" с постепенным поворотом простираний по мере перемещения очагов к востоку [571, с. 297]. Вопросом о динамических параметрах землетрясений Кавказа, в том числе Большого Кавказа и его центральной части, занималась Е.И. Широкова, которая показала, что "в очагах преобладающего числа землетрясений сжимающие напряжения действуют в направлении, перпендикулярном простиранию структур или близком к нему" [785, с. 1302].

Нужно еще, вероятно, отметить, что землетрясения зоны № 6 нередко влекут за собой крупные обвалы в скальных породах и в ледниках (Девдоракском, Геналдонском и др.), причем эти обвалы приурочены в основном к трассам многочисленных продольных разрывов, разделяющих продольные же блоки [544], что несомненно следует иметь в виду при сооружении транскавказских шоссейных и железной дорог [545].

Как экзотический эпизод отмечу статьи Э.П. Тамразяна (1956—1962 гг.), который пытался установить связь землетрясений Приказбекского района с упругими приливами в теле Земли, вызванными влиянием Луны; подозреваю, что использованная автором сейсмическая статистика была небезупречной. О возможном влиянии Луны и Солнца писали также П.С. Матвеев и В.Г. Голубицкий (1961 г.).

*Сеймотектоническая зона № 7 — "Ядро Восточного антиклинория", мегантиклинория Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, зона ядра Восточного антиклинория,*  
 $N_m \approx 2 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
12.03.1844	42,5	46,7	15	5,3	7	Хунзах
14.07.77	42,4	47,2	08	5,0	6	Дургелин

Ядро восточной части мегантиклинория Большого Кавказа (блок II.5 на рис. 8.10) со всех сторон окаймлено шовными зонами (зонами крупных глубинных разломов) изменчивой, но всегда значительной ширины и во всех случаях со своей, вполне определенной, сеймотектонической характеристикой. Шовные зоны отличаются в общем большой частотой и высокой интенсивностью землетрясений, само же ядро (сеймотектоническая зона № 7) содержит гораздо меньше эпицентров землетрясений.

В нашем списке за последние почти 200 лет имеется только одно сильное ( $M = 5,3$ ) землетрясение — именно в Хунзахе 12.03.1844, но оно было давно, и нет уверенности в правильности и достоверности сведений о местоположении его эпицентра, пределах распространения колебаний и глубине очага; для последней даются значения от 5 до 50 км [31, с. 80].

За время с 1911 по 1963 г. для этой территории отмечено некоторое количество толчков с  $M < 4$  (см. рис. 8.2).

Наконец, сюда могли проникать колебания 6- или 5-балльной интенсивности от очагов соседних сеймотектонических зон, например в 1839, 1913, 1948 или 1970 гг.

В целом сравнительно невысокая сейсмическая активность сеймотектонической зоны № 7 остается фактом, и это обстоятельство ставит перед нами один принципиально существенный вопрос: всегда ли центральные части таких крупных, приподнятых на новейшем этапе, блоков земной коры, как блок II.5 (см. рис. 8.10) не несут на себе очагов сильных землетрясений? Да, блок, или крупная тектоническая структура, как единое геодинамическое целое может испытывать деформацию, подобную обширному, но пологому своду с максимальной амплитудой воздымания по оси, но без заметной дифференциации движений в центральной части (ядре). Именно так обстоит дело в блоке II.5: обширные пространства заняты монотонными выходами юрских отложений без появления на поверхности более глубоких горизонтов фундамента или более молодых отложений (мела, третичных), что могло бы свидетельствовать о дифференциации движений внутри блока; имеющиеся же многочисленные разрывы типа сбросов или надвигов по амплитуде не превышают нескольких сот метров [627] и к категории глубинных не относятся.

В том же случае, если признаки такой дифференциации имеются, например в блоке II.1, где выведены на поверхность даже породы палеозоя и протерозоя, и новейшие движения интенсивны, тогда сейсмическая опасность возрастает.

Следует иметь в виду также еще одно обстоятельство — возможную миграцию складчатости со временем. Так, касаясь юго-восточного Кавказа, М.Г. Агабеков писал: "Своды складок, выраженные в более молодых образованиях, по отношению к сводам складок, отражающихся в более древних отложениях... мигрируют в южном направлении" [117, с. 16]. То же относится к Апшеронскому полуострову. Я вижу в этом одну из форм того процесса, который характерен для альпийских сооружений Кавказа вообще, — втягивание в процесс воздымания смежных с поднятиями участков депрессий и соответственное расширение площади сейсмогенных зон со временем. В сеймотектоническом отношении подобная миграция складчатости может приобретать весьма существенное значение, но вопрос требует специального изучения и расчетов.

## Б. Мегантиклинорий Большого Кавказа

Сейсмотектоническая зона № 8 – “Северо-Восточная”, мегантиклинорий Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, северное крыло,  $N_m = 40 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800–1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
16.10.1886	43,5	45,9	30	5,8	6–7	Червленая
10.08.12	43,5	45,1	50	5,7	8	Терское
24.10.33	42,9	45,9	10	5,2	7–8	Ведено
09.11.50	43,3	46,1	19	5,0	6	Гудермес
09.06.69	42,3	45,2	25	5,1	6–7	Ачхой
28.07.76	43,2	45,6	28	6,2	8–9	Грозный

Сейсмотектоническая зона № 8, обладая значительной шириной, включает в себя различные по смыслу элементы тектоники. Основой для выделения этой зоны служит наличие в данном месте специфических структур, знаменующих собой переход от поля преобладания вертикальных новейших положительных движений на юге (т.е. на северном крыле тектонического блока ядра Восточного антиклинория, II.5) к полю преобладания аналогичных, но отрицательных движений (в Терско-Сунженском прогибе, III.3). Переход этот сопровождается сложной складчатостью, обилием тектонических разрывов и резко выраженной шовной зоной, ядром которой служит “Северный” глубинный разлом (его восточный отрезок). Концентрация и осложнение тектонических деформаций особенно наглядно выражены в южной половине Терско-Сунженского прогиба, где подошва фундамента прогиба опущена наиболее глубоко (до 5 км), мощность новейших толщ достигает максимальных значений, на поверхность во многих местах выводятся отложения  $N_1$  и отмечается изобилие широтных складок в новейших толщах (включая Терскую и Сунженскую антиклинали).

Различие между южной и северной частями прогиба отмечала, например, М.Н. Смирнова [736]: “По характеру геологического строения и сейсмичности... выделяются: а) Северное крыло мегантиклинория Большого Кавказа, б) Терский краевой прогиб, в) Скифская плита и Лабино-Малкинская зона” (с. 19). Терский краевой прогиб “неоднороден по характеру сейсмичности. Внутренняя зона (складчатое крыло) характеризуется значительной сейсмичностью.., внешняя зона (платформенное крыло) – весьма слабой” (с. 20). То же обстоятельство с очевидностью вытекает из рассмотрения карты эпицентров землетрясений центрального и восточного Предкавказья [117, с. 108]. Значительное усложнение рельефа фундамента южной части прогиба в сравнении с северной отмечает также Г.А. Масляев, что видно хотя бы по изопахитам морских акчагыльских и апшеронских отложений [654, с. 662].

Учитывая изложенное, южную половину прогиба я включаю в пределы сейсмотектонической зоны № 8, подобно тому как южные участки северного крыла Западного антиклинория в зону № 3; северная половина прогиба, характеризующаяся выполаживанием складчатых нарушений, преобладанием пологого моноклиналиного (с падением к югу) залегания слоев осадочного чехла и постепенным сокращением (в северном направлении) мощности новейших толщ, лежит уже за пределами зоны № 8, относясь к зоне № 1.

Как видно из таблицы, на территорию зоны ложится несколько эпицентров землетрясений значительной силы. Из них к северным структурам относятся землетрясения 1886 г. (Червленая) и 1912 г. (Терское).

Несколько южнее лежит эпицентр землетрясения 1950 г. в Гудермесе. В.П. Петров (рукопись 1951 г.) отметил малую глубину очага и относил последний к “строго определенным линиям разрыва”, протягивающегося вдоль северного крыла Гудермесской антиклинали по ее границе с депрессионной областью. Ярko выраженные в неогеновых слоях деформации в пределах Терско-Сунженского прогиба, в том числе и Гудермесского хребта, возможно, связаны с мелкими очагами многочисленных слабых землетрясений, и я предположил бы относить землетрясение 1950 г. на счет активности самой антиклинали, ее массы и подвижности, но не собственно разрыва.

Недавно появилась статья, затрагивающая именно землетрясение “Гудермесского сейсмического очага” [662]. Он, очаг, “проявлял себя неоднократно и был известен в каталогах под названием Умахан-Юртовский очаг” (с. 212). Наиболее значительными землетрясениями, отмеченными здесь, были толчки 31.03 и 9.11.50 ( $M = 4,2$  и  $5,0$  со-

ответственно). Геологическое строение здесь характеризуется наличием антиклинали, к которой приурочено нефтяное месторождение. Антиклиналь, сложенная слоями от верхнемелового до преимущественно неогенового возраста (возраст движений — послепашеронский), протягивается в направлении СЗ—ЮВ, ограничена вдоль крыльев продольными надвигами, падающими в сторону осевой части, и разбита поперечными нарушениями на блоки. К одному из них, именно Истисунскому, "приурочены очаги землетрясений 1950—1955 гг." (с. 216). "Район Гудермеса характеризуется резко контрастными новейшими тектоническими движениями, и на фоне воздымания Терской антиклинальной зоны у ее подножия наблюдаются наиболее интенсивные опускания (со скоростью 5 мм/год). Все эти показатели позволяют рассматривать Гудермескую антиклиналь как потенциально сейсмичную" (с. 219). Все правильно, именно антиклиналь, в особенности те нарушения в фундаменте, которые ее создали, и оказываются источником землетрясений.

"Таким образом, — пишут В.В. Малышева и ее соавторы, — землетрясения 1950—1955 гг. на Гудермеском нефтяном месторождении по своей природе являются тектоническими. Спусковым механизмом этого процесса является интенсивный отбор жидкости и газа" (с. 222). Вот последнее заключение мне представляется спорным: землетрясения здесь происходили и раньше, до начала эксплуатации месторождений, например в 1853, 1872, 1904 гг., как о том упоминают сами авторы.

Заслуживает внимания также Аргунское землетрясение 2.03.66 в районе пос. Советский (бывший Шатой), описанное в статьях И.В. Ананьина, Д.Н. Рустановича, М.Н. Смирновой и др. Оно было несильным ( $M = 4,9$ ,  $I_0 = 7$  баллов), но значительная увлажненность местных рыхлых грунтов привела к возникновению впечатляющих оползней. "Геологически эпицентральная зона ... связана с пересечением глубинных разломов разных направлений: Шатоевским разломом общекавказского направления и поперечным Аргунским разломом [730, с. 27—28]. Да, мистическая сила понятия "тектонический разлом" сказывается и в этой работе. Если этот разлом существует, то, как говорят авторы, "он разделяет два блока земной коры: приподнятый на западе и опущенный на востоке". Не в активности ли этих блоков — блоков, а не разделяющего их разрыва — и состоит причина возникновения в этих местах очагов землетрясений?

И.В. Ананьиним эта ситуация описывается так: "Очаг землетрясения связан с поперечной сейсмоактивной зоной между Центральным и Восточным Кавказом и находится на юго-восточном краю указанной поперечной зоны разломов" [492, с. 43]. Здесь и в других работах И.В. Ананьин особое внимание уделяет вопросу о затухании колебаний, виртуозно, я бы сказал, используя феномен затухания в анализе сейсмотектонических особенностей глубоких недр. Что касается предполагаемых разломов — я о них уже говорил, — они нуждаются в более надежном обосновании.

О монографии И.В. Ананьина [493] хотел бы сказать, что это — одна из лучших работ по Кавказу не только регионального, но и теоретического значения. Она отличается обилием фактических сведений, тщательностью их обработки, интересными заключениями. Показательно выглядит карта эпицентров (главным образом восточной части Большого Кавказа), представляющая собой, в сущности, повторение той, которая уже была опубликована в [490]. К сожалению, отсутствие геологической части, соответствующих схем, тектонической карты в работе [493] делает недостаточно ясным заключение по поводу особенностей местной сейсмотектоники.

О.М. Майсурадзе описывает обстановку следующим образом: "В этой зоне проходит тектоническая линия разлома меридионального простираения... Оживление сейсмичности 1965—1966 гг. произошло вдоль меридионального тектонического разлома" [655, с. 599]. Как притягивает к себе исследователей слово "разлом"!

Отмечу наиболее значительное из местных землетрясение 28.07.76 в Грозном:  $M = 6,2$ ,  $I_0 = 8-9$  баллов,  $h$  — около 20—30 км ("Черногорское" или "Чечено-Ингушское" землетрясение). Детальные макросейсмические исследования показали, что интенсивность этого землетрясения не превышала 8 баллов. Основной толчок сопровождался множеством афтершоков, а также форшоками. Р.А. Левкович и его соавторы указывают на то, что "в орोगрафическом отношении эпицентры основного толчка и форшока располагаются в пределах Бокового хребта, являющегося наиболее приподнятой частью Большого Кавказа... В геологическом отношении эпицентры основного толчка и форшока расположены в полосе выходов нижнеюрских сильнодислоцированных отложе-

ний, слагающих раннеальпийский складчатый этаж Большого Кавказа. Оба эпицентра приходится на район развития интенсивной линейной складчатости, непосредственно примыкающей с севера к зоне Главного Кавказского надвига... Мощность земной коры достигает здесь 55 км, многочисленные линейные дизъюнктивы (? — Г.Г.), наблюдаемые в поверхностных отложениях, являются отражением глубинного регионального разлома (опять разлом! — Г.Г.) общекавказского простираения, рассекающего земную кору на всю ее мощность" [677, с. 63]. Авторы ограничиваются осторожной констатацией фактического положения дел. Учитывая глубину очага, я тоже не рискнул бы сделать более конкретные выводы. Статья [677] и другие помещены в специальном сборнике, посвященном вопросам геодинамики и сейсмичности Дагестана; сборник выпущен институтом геологии Дагестанского филиала АН СССР в Махачкале [563]. Вопросы сейсмичности имеют здесь особое значение в связи с сооружением Чиркейской ГЭС.

Отмечу также диссертацию М.Н. Смирновой 1975 г., которая подчеркивает сложность строения доюрского основания Терско-Сунженского (Терско-Каспийского) прогиба, наличие в фундаменте системы подвижных блоков, разделенных разрывами, и выделяет роль прослеженного ею северо-кавказского офиолитового пояса; "приуроченность глубоких землетрясений к офиолитовому шву не случайна". М.Н. Смирнова отмечает также влияние этого фактора на миграцию флюидов, режим минеральных источников, изменения дебита нефти в скважинах и т.п.

С несколько неожиданной стороны рассматривает подобную проблему Н.М. Шерстюков. Указывая на землетрясение 12.01.63 ( $I_0 = 5$  баллов), эпицентр которого расположен во впадине между Терским и Сунженским хребтами, автор считает его результатом разгрузки, вызванной гравитационным перенапряжением пластов; подобный механизм (не совсем ясный по своей физической сути. — Г.Г.) вызывает на глубине "опускание и землетрясения местного характера". И (уж совсем неожиданно) "причиной смещения пластов и образования крупного разлома (! — Г.Г.) в районе Грозного послужила систематическая длительная эксплуатация залежей нефти" [784, с. 112]. Вряд ли нефтяные скважины могут служить причиной возникновения тектонического разлома.

Ниже упомяну о некоторых позднейших землетрясениях. Ачхой-Мартановское землетрясение 17.06.69:  $M = 5,1$ ,  $I_0 = 8$  баллов,  $h = 25$  км. В статье [742] довольно подробно описана геологическая обстановка в эпицентре землетрясения: "Эпицентральная зона землетрясения находилась на северо-восточном склоне мегантиклинория Большого Кавказа, в зоне сочленения Черногорской моноклинали и Сунженской впадины (т.е. в пределах нашей сеймотектонической зоны № 8. — Г.Г.). В данном районе Черногорская моноклинал осложнена Датыхской антиклиналью. Это крупная антиклинальная складка, наложенная на моноклинал... Черногорская моноклинал воздымается по крайней мере на 400—700 м над Сунженской долиной, показывая тем самым резкую контрастность рельефа в зоне сочленений двух структурных зон. Зона сочленения Датыхской антиклинали и Сунженской впадины характеризуется весьма резкой гравитационной ступенью... Гравитационная ступень, по всей видимости, является отражением крупного глубинного разлома, не проявляющегося на поверхности" (с. 29). И вдруг после этого обстоятельного описания фактической стороны дела — неожиданный вывод: "судя по форме изосейст и вариации  $\Delta$  км для афтершоков, можно предполагать, что плоскость разрыва простирается примерно в направлении эпицентр—Грозный" (с. 31). Откуда взялся разрыв? Объективно говоря, "форма изосейст" (точнее, площади, ограниченной первыми изосейстами) говорит лишь о том, что линейный очаг (совсем необязательно разрыв) "простирается" в указанном направлении. А разрыв — может быть, он и осложняет те глубинные структуры, на базе которых возникла Датыхская антиклиналь, но не он, а именно эти структуры и виноваты в возникновении землетрясения. Статья [742] сопровождается картой изосейст с теми элементами тектоники, о которых говорилось в тексте.

Многие слабые землетрясения региона подверглись изучению и послужили темой специальных заметок. В качестве иллюстрации приведу лишь два случая: землетрясение в Червленной 4.03.64 ( $43,1^\circ$  с.ш.,  $46^\circ$  в.д.,  $h = 5-6$  км,  $M = 4,5$ ,  $I_0 = 6-7$  баллов) и в Старогрозненском 26.05.71 ( $43,4^\circ$  с.ш.,  $45,5^\circ$  в.д.,  $h = 2,5$  км,  $M = 4,7$ ,  $I_0 = 7$  баллов). Оба случая описаны очень лаконично, а геологические выводы еще короче: в первом случае — "Линейное расположение эпицентров свидетельствует о приуроченности их к зоне развивающегося глубинного разлома диагонального простираения, с которым

совпадает русло Терека между станциями Галюгаевской и Червленной-Узловой" [740, с. 104]. Нетрудно видеть, что русло Терека и "развивающийся глубинный разлом" — вещи разные и вряд ли связаны друг с другом, а сама собой напрашивающаяся мысль о сейсмогенерирующей роли всего блока Терского хребта почему-то выпала из внимания авторов М.Н. Смирновой и Н.А. Новицкой. В данном случае напрашивается аналогия между землетрясениями 4.03.64 и 10.08.12.

Тот же случай, т.е. землетрясение 4.03.64 в Червленной-Узловой, рассматривается в [739]. Авторы указали на то, что "линейное расположение эпицентров землетрясений свидетельствует об их приуроченности к зоне глубинного разлома, отделяющего внешнюю и внутреннюю зоны Терского краевого прогиба и совпадающего с широтным течением Терека" (с. 117); вероятно, отсюда взято и заключение статьи [740].

Можно ли считать фактом "линейное расположение эпицентров"? Авторы ссылаются на случаи землетрясений в г. Прохладном, г. Моздоке и станице Наурской в 1886, 1901 и 1904 гг. Но там ли располагались эпицентры — неясно; там толчки ощущались, т.е. были сведения из пунктов, расположенных в долине Терека, но и только. По данным [31], эпицентры располагались отнюдь не "линейно". А широтный отрезок долины Терека — фактор вряд ли тектонического значения.

Во втором случае, т.е. при землетрясении 26.05.71 в Старогрозненском, "изосейсты вытннуты в северо-западном направлении, свидетельствуя о превалирующем направлении вспоротой трещины" [741, с. 111]. Изосейсты будут вести себя точно так же и в случае активности всей структуры, а не только мифической "вспоротой трещины". Сами авторы совершенно справедливо отмечают, что "эпицентральная зона расположена в пределах Сунженской антиклинальной зоны и приурочена к Грозненскому хребту, сложенному с поверхности миоценовыми и плиоценовыми отложениями" (с. 105—106). Было бы вполне логично и просто связать неглубокий очаг с этой "антиклинальной зоной", тем более, что глубина очага данного землетрясения гораздо меньше, чем глубина известного для этих мест разреза (составленного по данным геофизики и бурения), и очаг укладывается на этот разрез, отвечая положению антиклинали, сложенной слоями мелового и третичного возраста.

Как любопытный эпизод в 1972 г. появилась заметка Г.М. Сухарева о влиянии откачки нефти на появление землетрясения...

Годы 1974 и 1975 отмечены некоторым оживлением сейсмической деятельности на Кавказе. В частности, здесь известны 6—7-балльные землетрясения: Киятинское 1974 г. (сейсмотектоническая зона № 8), Салатауское 1974 г. (зона № 9) и Избербашское 1975 г. (зона № 10).

Киятинское землетрясение 13.11.74 описано в [611]. "В геологическом отношении очаги этих землетрясений (здесь зафиксированы форшоки и афтершоки. — Г.Г.) расположены в пределах известнякового Дагестана, представляющего собой в современном структурном плане сложно построенный синклиниорий, осложненный тремя антиклинальными зонами: внешней, центральной и внутренней. Афтершоковая область Киятинского землетрясения приурочена к центральной антиклинальной зоне в районе сочленения Аракмеэрской и Тлохской антиклиналей, а эпицентр основного толчка приурочен к периклинальному прогибу Аракмеэрской антиклинали... Мощность осадочного чехла 5—7 км... Глубинные разломные зоны в осадочном чехле проявляются в виде флексур и разрывных нарушений, осложняющих складчатость. Пространственное положение очага основного толчка соответствует приблизительно границе субстрата и осадочного чехла в зоне пересечения указанных глубинных разломов" (с. 41—42). Из этого довольно подробного описания тектоники района картина сейсмогеологических связей вырисовывается все же без достаточной ясности, может быть, потому, что отсутствуют тектоническая схема или разрез.

В заключение отмечу интересный факт заметного углубления очагов землетрясений в направлении с юга на север от 10 и менее километров на юге до 30—50 км на севере. Появляется соблазн связать это обстоятельство с погружением к северу северного крыла Восточного антиклинория Большого Кавказа — от обнаженной его части к погребенной, однако пока, пожалуй, рановато об этом говорить с уверенностью.

Быть может, стоит вспомнить о словах П.Н. Никитина в 1960 г., который, характеризуя сейсмичность Северного Кавказа, заметил, что западная часть Северного Кавказа отнюдь не менее сейсмична, чем восточная, и подтвердил этот вывод картой эпицентров. Карта действительно убедительная, эпицентры рассеяны как по восточной, так и запад-

ной частям вполне равномерно и одинаково часто. Но опасаясь того, что П.Н. Никитин не учел сильных землетрясений; слабые же действительно рассеяны более или менее равномерной сетью по всему Кавказу вообще.

Сейсмотектоническая зона № 9 — "Махачкалинская", мегантиклинорий Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, Махачкалинский сейсмотектонический узел,  $N_m \approx 800 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
09.03.1830	43,0	47,0	16	6,3	8—9	Внезапная
18.07.1863	43,0	47,1	16	5,0	6—7	Буйнакск
14.05.70	43,0	47,1	17	5,7	7—8	Северный Дагестан
	43,0	47,1	13	6,6	8—9	"
	43,0	46,9	09	5,5	8	"
17.05.70	43,0	46,9	11	5,2	7	"
23.12.74	42,9	46,8	06	5,0	7	Салатау
09.01.75	43,1	47,1	04	5,2	8	Буйнакск

Махачкалинский сейсмотектонический узел приходится выделять по причине его специфического положения в тектонике Большого Кавказа и выдающейся сейсмической активности. На небольшой площади здесь сконцентрировано несколько эпицентров значительных землетрясений, до 7—9 баллов. Одно из них, именно 14.05.70, сопровождалось уникальными деформациями в толще коренных пород (рис. 8.12).

Дагестанское землетрясение 14.05.70 произошло в "эпицентральной области сильного землетрясения 9.05.1830 в предгорной части Большого Кавказа и южной периферии Терско-Сулакской низменности" и оказалось "вторым по энергии с начала XX в. и сильнейшим инструментально зарегистрированным землетрясением Кавказа" [781, с. 28]. Интенсивность основного толчка оценивается в 8 баллов ( $M = 6,6$ ), местами до 9 баллов при глубине очага около 15 км. "Площадь наибольших повреждений" достигла 1000 км<sup>2</sup>. "Землетрясение ощущалось на север — до Волгограда, на восток — до п-ова Мангышлак, на запад — до Майкопа, на юг — до Ленинанкана" [Там же]. Карта изосейст публиковалась неоднократно.

В эпицентре отмечены остаточные деформации на земной поверхности: мелкие и крупные срывы, оползни, обвалы, в том числе уникальный срыв целого блока пород неогена объемом до 1 млн. м<sup>3</sup> по плоскости напластования нижележащей наклонной толщи близ с. Ахалта на левом берегу р. Сулака (см. рис. 8.12). Имеется довольно обширная литература (В.Н. Крестников, Д.М. Рустанович, М.Н. Смирнова, В.Н. Чигарев, Н.В. Шебалин, Ю.К. Щукин и многие другие) (см. рис. 8.17).

Геологическая ситуация в данном случае достаточно определена и, я бы сказал, уникальна. Зона концентрации очагов землетрясений региона, в том числе 1970 г., совпадает с вершиной крутого изгиба (в плане) простираний мезозойских образований (юра, мел), складки которых в виде "клина" далеко продвинуты на северо-восток и соответственно облекаются по северной и северо-восточной периферии третичными.

Представление об этом "клине", или "сдвинутом покрове", было выдвинуто Н.С. Шатским [776]; он называл его мезозойским известняковым нагорьем, далеко вдающимся на север: "Под этим именем мы понимаем то обширное мезозойское трехугольное нагорье, основание которого образует сланцевая полоса Главного хребта, а сторонами являются границы меловых и третичных пород на востоке — между Сулаком и Самуром, а на западе — между Сулаком и Тереком. . . Весь этот горный массив представляет собой глубоко эродированный повышающийся постепенно к югу северный склон Кавказского хребта. В тектоническом отношении — это область, смятая в многочисленные складки, то пологие, то крутые, осложненные флексуорообразными изгибами и дизъюнктивными нарушениями. . ." [777, с. 216]. Вряд ли можно сомневаться в том, что "корни" этого "клина" заложены глубже — в консолидированной части коры. В дальнейшем были обнаружены признаки погребенного продолжения "клина" к северо-востоку, под третичными толщами, вплоть, возможно, до широты с. Чечень.

В пределах указанного "клина" встречаются и пересекаются два важнейших линеймента Северо-Восточного Кавказа, две сейсмотектонических зоны, № 8 и 10, два глубинных разлома, "Северный" и "Восточный", что сопровождается изгибом простира-



Р и с. 8.12. Дагестанское землетрясение 14.05.70. Ахатлинский срыв. Вертикальная трещина шириной до 7 м в тыльной части срыва (фото В.Н. Крестникова)

ний (с широтных на юго-восточные) и наличием сложного поля напряжений сжатия — вероятно, субмеридиональной и северо-восточной ориентировки. Е.И. Широкова рассчитала так называемые “плоскости разрыва” Дагестанского землетрясения 1970 г. Наше понимание механизма очага землетрясения, как я отмечал не раз, несколько отличается от “разрывной” интерпретации, но при любом понимании роли разрывов совпадение плоскостей, полученных Е.И. Широковой (с азимутами  $76$  и  $12^\circ$ ), с идеями о напряжениях, вызванных пересечением двух сеймотектонических зон, следует принимать в расчет. Думаю, что любая интерпретация механизма очагов местных земле-

трясения должна базироваться в первую очередь на идее о наличии, существовании и развитии в данном месте так называемого "Дагестанского клина".

Исследования О.Д. Гоцадзе по вопросу о динамических параметрах некоторых Дагестанских землетрясений показали, что здесь преобладает субмеридиональная ориентировка "сейсмогенных разрывов", что подчеркивает значение этой компоненты поля напряжений независимо от конкретной геологической или физической интерпретации "динамических параметров" [571, с. 294].

Довольно подробно описание обстоятельств возникновения Дагестанского землетрясения имеется в упоминавшейся статье Н.В. Шебалина и соавторов [781]. Авторы справедливо подчеркивают сейсмогенную роль "области перехода мегантиклинория Большого Кавказа к Терско-Сунженскому передовому прогибу" (с. 39), а также то обстоятельство, что очаг по своей конфигурации отвечает ориентировке зоны глубинных разломов — широтных, с одной стороны, и субмеридиональных — с другой. При этом "напряжения сжатия и растяжения действовали примерно горизонтально, причем первое было направлено вкрест простирания Главного Кавказского хребта, а второе — параллельно хребту" (Там же). Все это подтверждается наблюдениями и расчетами, но дальше, следуя, очевидно, широкоразвитой инерции, т.е. гипотезе о "сейсмогенной роли тектонических разрывов", авторы вновь обращаются к пресловутым разрывам, хотя последние никак не вытекают из теоретических соображений и реальных записей. Говорится о том, что "простирание разрыва основного толчка, имеющего длину (толчок? — Г.Г.) 30—35 км и ширину (! — Г.Г.) около 14—15 км, близко к широтному", что "плоскость разрыва падала к югу под углом, близким к  $60^\circ$ ", что "скорость распространения разрыва около 1 км/с и величина подвижки около 40 см" (с. 48); затем, что южное крыло широтного разрыва "двигалось в восточном направлении", а северное, скорее всего, опустилось (с. 39). По-видимому, это все так. Возможно, и даже вероятно, что разрывы здесь есть, что они при землетрясении обновлялись, израсходовав на себя часть общей энергии землетрясения, но источником подземного толчка я считал бы не разрывы как таковые, а массивы крыльев, испытавших указанную выше деформацию. При такой интерпретации вся геодинамическая модель землетрясения значительно упрощается и ее можно принять. В этом отношении особый интерес приобретает статья Д.Н. Рустановича и Н.В. Шебалина, которые пишут: "Дагестанское землетрясение 14.V 1970 привело в движение всю зону (подчеркнуто мной. — Г.Г.), ступенчато опускающуюся к юго-востоку от Сулакского выступа к Капчугайскому грабену" [732, с. 141]; затем авторы рассматривают подвижки крыльев разрывов в очагах двух главных толчков. На том можно бы и остановиться, ничего больше не надо, активность Дагестанского клина Н.С. Шатского подтверждена инструментально, но по традиции авторы обращаются еще к "динамическим параметрам" и приходят к дополнительным решениям, уже неоднозначным. Тем не менее главное — смещение всей зоны — остается.

В этой связи нельзя не отметить интересную и существенную статью дагестанских авторов — Р.А. Левкович и др. [563, с. 139—159]. Статья написана в связи с Дагестанским землетрясением 1970 г. и строительством крупной плотины Чиркейского гидроузла. Анализируя тектонику района, авторы приходят к выводу, что "очаги сильных землетрясений, локализованные в субстрате в пределах территории Дагестанского клина, пространственно не связаны с разломной тектоникой и тяготеют к осевым частям изометрических блоков, соответственно роль разломной тектоники сводится к тому, что она создает контуры сейсмогенерирующих блоков" (с. 158). Этот вывод (как принципиальный) следовало бы положить, вообще говоря, в основу многих дальнейших рассуждений на сеймотектонические темы, и не только на Кавказе.

Что касается соображений авторов относительно "возбужденной сейсмичности", связанной с воздействием массы воды водохранища на сейсмический режим, то мне представляется необходимым проводить дальнейшие, аккуратно поставленные наблюдения на этот счет, чтобы не впасть в соблазн излишней переоценки фактора.

Вообще надо сказать, что эти сборники ("Геодинамика и сейсмичность..." [563], "Дагестанское землетрясение..." [573]) содержат большой и весьма существенный материал, полученный в результате изучения Дагестанского землетрясения 1970 г.

В работе Д.Н. Рустановича и М.Н. Смирновой [731] подчеркивается роль контрастных вертикальных движений ступенчатых блоков, сопровождающих развитие "клина" и указывается на то, что "другого такого участка в пределах Дагестанского клина

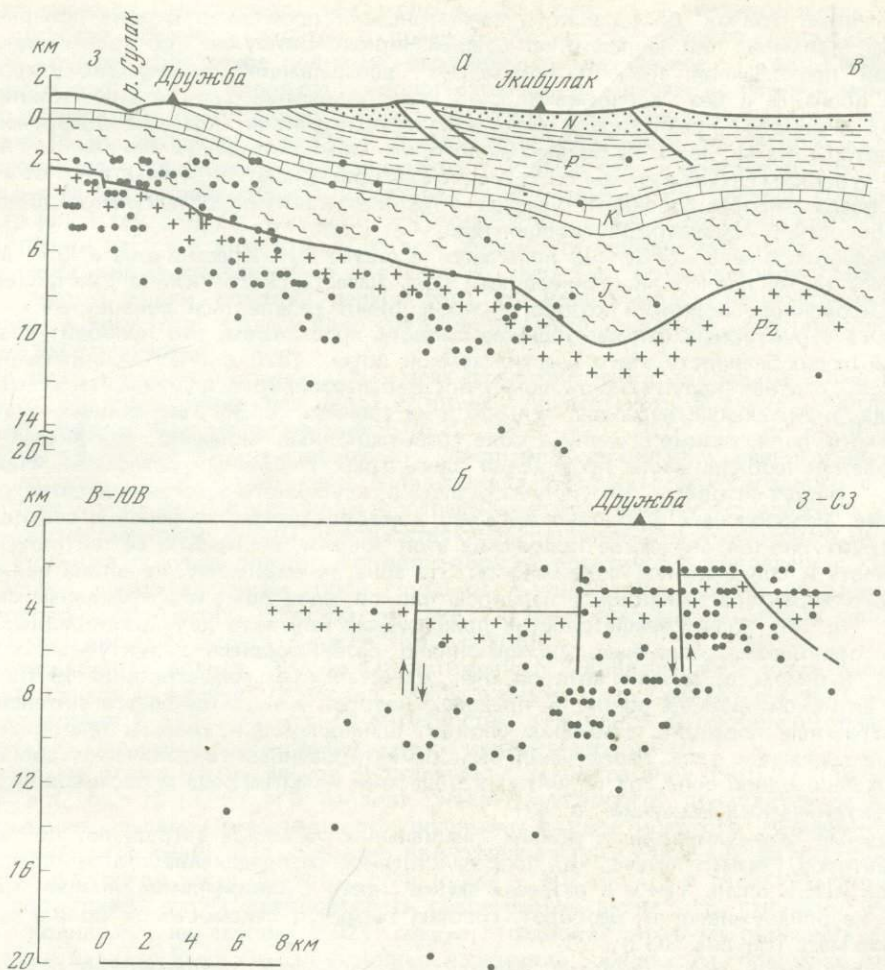


Рис. 8.13. Проекция очагов землетрясений на вертикальную плоскость по профилю Дружба—Экибулак (а) и в районе поселка Дружба (б) [731]

Стрелками показаны возможные перемещения отдельных блоков кристаллического фундамента

нет, и положение очага Дагестанского землетрясения вполне закономерно" (с. 48). К сожалению, это сказано после, а не до землетрясения. Авторы приводят вертикальные разрезы через зону очагов повторных толчков (рис. 8.13). Статья отличается обилием и точностью фактических данных, выполнена со всем вниманием к результатам инструментальных наблюдений и содержит ряд конкретных заключений сейсмотектонического порядка. Авторы указывают на то, что «региональная позиция Дагестанского землетрясения (1970 г. — Г.Г.) достаточно проста. Она определяется «острием» Дагестанского клина и находится в зоне пересечения двух глубинных разломов: широтного разлома во фронтальной части и меридионального разлома, с которым связано заложение Капчугайского прогиба» (с. 44). Авторы замечают, что «детальное изучение очага землетрясения свидетельствует о значительно более сложной сейсмотектонической обстановке землетрясения» [Там же], останавливаются на ряде любопытных и существенных деталей, приводят геологические разрезы, оснащенные множеством очагов повторных толчков и т.п., констатируют наличие ряда тектонических ступеней и т.д., но конечный вывод таков: "... положение очага связано с ослабленной зоной на пересечении Пшекиш-Тырныузского разлома и меридионального разлома по линии Старый Чиркей—Экибулак" (с. 47), или, в другой формулировке, —

“... главный толчок Дагестанского землетрясения произошел в зоне поперечного разлома, примерно по направлению Старый Чиркей—Экибулак”, со “вспарыванием” большой протяженной зоны. Относительно “вспарывания” можно дискутировать, можно обойтись и без “вспарывания”, но местоположение очага и роль “клина” отражены, очевидно, правильно. Думаю, что частные детали, которые обнаруживают здесь авторы статьи, лежат за пределами того, что можно считать установленным достоверно. Во всяком случае, разрезы, составленные авторами, ясно свидетельствуют об активности всего деформированного участка коры без каких-либо признаков линейной или плоскостной концентрации гипоцентров.

Довольно сложная концепция излагается в статье В.Н. Крестникова и Ю.К. Щукина. Здесь также подчеркивается ведущая роль Дагестанского “клина”, на фоне дифференцированного поднятия которого “продолжают развиваться поперечные ему реликтовые структурные формы общекавказского простирания, что приводит к значительной раздробленности этого участка земной коры” [629, с. 34]. Одновременно отмечается “сильная нарушенность поверхности палеозойского фундамента и границы Конрада, значительные перепады рельефа этих границ” (с. 36), аномальные значения магнитного поля, резкие ступени в поле гравитационных аномалий, чем якобы обуславливается необходимость проведения здесь трасс глубинных разломов. “Нам кажется, — пишут авторы, — что система разломов, глубинного залегания и разного простирания, пересекающих Дагестанский клин, предопределили, во-первых, специфическое структурно-тектоническое положение этой зоны и, во-вторых, ее тектоническую активность и современную подвижность. Эта зона, по-видимому, испытала движения сложного характера — наклон и перекосы блоков, сдвиговые и ротационные смещения...” (с. 38). “Очаг землетрясения принадлежит контакту двух разнородных блоков и охватывает различные, дисгармонично развивающиеся структурные этажи” (с. 39). В целом, по мнению авторов, очаг Дагестанского землетрясения 1970 г. связан с активной шовной зоной, в пределах которой концентрируются интенсивные и контрастные новейшие движения блоков, принадлежащие разным тектоническим единицам, лежат в узле “пересечения разноориентированных тектонических линейментов”, в переходной зоне “от поднятий к областям, испытывающим противоположный знак тектонических движений” (с. 47).

Сложные формулировки и обилие специальных терминов затрудняют понимание идей авторов статьи. Замечу, что пространственное распределение очагов повторных толчков как в плане, так и в разрезах четкой связи с какими-либо линиями (разрывами) не обнаруживает и, наоборот, говорит скорее о сейсмогенной роли крупных объемов масс (см. рис. 8.13).

Я уже отметил, что в пределах “Махачкалинского узла” землетрясения отмечались не раз — вероятно, в принципе в той же геологической обстановке Дагестанского клина. Таковы, например, землетрясения 9.01.75 в Буйнакске, 23.12.74 в Салатау и др. Может быть, несколько иной была обстановка лишь при землетрясениях 1960 г. (8.03 и 21.03, с  $M$  от 4,4 до 4,6), затронувших каспийское побережье в районе г. Каспийска, хотя и здесь влияние “клина” исключать нельзя.

Отмечу, что Дагестанское землетрясение оказалось объектом детальных “сопутствующих” наблюдений по вопросам о роли трещиноватости в массивах горных пород, о термальном режиме пород и водных источников, о газогеохимических проявлениях, о физических свойствах пород, о режиме афтершоков, о методах сейсмомикрорайонирования и учете притом местной геологической обстановки, о результатах инженерного анализа последствий подземных толчков, о некоторых проблемах геодинамики в связи с сейсмичностью вообще и т.д.; общий интерес может представить работа Н.Г. Кажлаева о путях ликвидации последствий землетрясения, о социальном и экономическом аспектах события [598].

Не могу избежать соблазна упомянуть о небольшой заметке П.Н. Куприна 1956 г., описавшего сложные деформации в слоях сармата близ г. Дербента. Автор отрицает тектоническую природу этих дислокаций и считает их результатом оползней, затронувших устьевые участки балок, спускающихся с хребта Сер-Догар к Каспийскому морю. По-видимому, это верно, но эти нарушения мне напоминают те, которые наблюдались в эпицентре Дагестанского землетрясения 1970 г., и я думаю, что влияние землетрясений на возникновение оползней здесь, у Дербента, пожалуй, исключать не стоит.

Что касается Салатауского землетрясения 23.12.74, то "в геологическом отношении очаговая область находится в пределах Хадумского купола, представляющего собой крупное поперечное поднятие, осложняющее южный борт Терско-Каспийского краевого прогиба. . . Гипоцентр основного толчка расположен на границе между осадочным чехлом и консолидированным субстратом, а афтершоковая область протяженностью 15 км рассекает осадочный чехол центральной части Хадумского купола параллельно зоне глубинных антикавказских разломов северо-восточного простирания. В плане афтершоковая область имеет два ортогональных ответвления, совпадающих с разрывной тектоникой Хадумского купола" [501, с. 43]. Геологический фон очаговой области дается в этой статье, по всей видимости, вполне правильно. Что же касается соображений относительно строения и природы "афтершоковой области", то здесь авторы пошли, пожалуй, дальше того, что можно извлечь из фактического материала; кроме того, и здесь какое-то влияние за геодинамикой Дагестанского клина я тоже бы сохранил.

Не буду касаться многих слабых землетрясений, которые, однако, тоже привлекали к себе внимание и сведения о которых публиковались. К таким относятся, например, Чиркейское землетрясение 8.06.72 ( $42,9^{\circ}$  с.ш.,  $46,5^{\circ}$  в.д.,  $h = 8-10$  км,  $M = 4,8$ ,  $I_0 = 6$  баллов). О нем сообщается: "Шестибалльная область, сравнительно небольшая по площади, имеет в плане эллипсовидную форму северо-западного простирания. Она приурочена к крупному орографическому элементу Предгорного Дагестана — возвышенности Хадум, соответствующей одноименному мезозойскому поднятию. Большая полуось плейстоценовой области практически совпадает с каньоном р. Сулака, представляющим собой глубокое antecedentное ущелье, образовавшееся в сводовой части антиклинальной складки Хадум и трассирующей часть глубинного разлома по линии Хубар—Ст. Сиркей" [503, с. 206].

Antecedentная долина, Хадумская антиклиналь, совпадающая с ними плейстоценовая область — вполне достаточно, чтобы взаимно их все связать и видеть источник землетрясения в деформациях (в активности) Хадумской антиклинали; очаг лежит неглубоко. Остальные соображения — вроде как бы и ни при чем.

Сюда же относится несильное Дургелинское землетрясение 14.07.77 ( $42,45^{\circ}$  с.ш.,  $47,2^{\circ}$  в.д.,  $h = 15$  км;  $I_0 = 6$  баллов), эпицентр которого "приходится на западное погружение Эльдама-Иргартбашского поднятия, в ядре которого обнажаются верхнемеловые отложения. Это поднятие является наиболее крупным структурным элементом восточной части Дагестанского клина" [502, с. 3]. В сущности, этих сведений достаточно, чтобы зафиксировать современную активность структур упомянутого "поднятия", но авторы [502], следуя "традиции", пробуют разыскать какие-то признаки наличия здесь "дизъюнктивных нарушений". Не находя последних, они апеллируют к возможному влиянию гипотетических разломов, якобы обуславливающих блоковое строение консолидированной коры.

Н.С. Шатский отмечал, что "массив Хадум, перерезанный р. Сулаком, представляет наиболее северную меловую складку, за которой сразу начинается область моноклиналино залегающих третичных отложений. . . Он отделяется от системы Сала-Тау в восточной части широкой с неправильными очертаниями мульдой. . . Хадумский массив представляет собой неправильную широкую куполообразную складку, которая в восточной части резко ограничивается Чиркейской мульдой; на западе же он отделяется от системы Сала-Тау лишь очень слабым вторичным синклиналиным прогибом и является поэтому как бы одной из складок второго порядка Салатауской антиклинали" [776, с. 319].

Вот эта система — Салатауская антиклиналь и Хадумский массив, именно их более глубоко залегающие корни, испытывающие продолжающееся продвижение к северу с одновременным воздыманием, — как часть обширного массива Дагестанского клина и служит источником местных землетрясений.

Дагестанское землетрясение 1970 г., как я уже отмечал, сопровождалось интересными нарушениями на поверхности Земли. Особую известность среди них получили "оползни срыва" в долине р. Сулака, они образовались в "коренных породах с перемещением оползневой массы по напластованию" [650, с. 27]. Наиболее крупный из таких "оползней-срывов" изображен на рис. 8.12. Обращает на себя внимание, что "оползни срыва образовались на крыльях Хадумского купола и Салатауской антиклинали на участке моноклиналиного падения пород под углом  $20^{\circ}$  и более в зоне

повышенной тектонической трещиноватости, наиболее ясно проявляющейся на крутых склонах долины р. Сулака в пределах Чиркейского ущелья" [Там же]. На общем фоне решающей сейсмогенетической роли Дагестанского клина дополнительное осложнение в ситуацию вносит, как можно думать, и частная структура — Хадумский купол, воздымающийся и "страживающий" свои восточные крылья в направлении к Чиркейской синклинали. Относительное возвышение кровли известняков датского яруса по отношению к тому же горизонту в пределах синклинали не менее 800 м.

Отмечу еще Избербашское землетрясение 20.06.75; его эпицентр и большая часть площади изосейсмальных овалов лежат в море. Поэтому сказать что-либо определенное о геологической обстановке затруднительно. Р.А. Левкович и О.А. Симонов констатируют: "Плейстоценовая область примыкает к Каранай-аульской мульде, фиксирующей крупный наложенный прогиб в зоне передовой складчатости Дагестана с современной активизацией. Судя по мощности осадочной толщи в этом районе (8—10 км), очаг расположен ближе к палеозойскому субстрату и пространственно тяготеет к зоне регионального Пшекиш-Тырныаузского глубинного разлома" [648, с. 23—24]. Большого, пожалуй, и не скажешь, тем более, что Пшекиш-Тырныаузский разлом сам еще нуждается в подтверждении. При этом землетрясении в море наблюдались необычайные явления (газоводяной столб), не получившие ясного объяснения.

Известны и более ранние работы, относящиеся к территории сейсмотектонической зоны № 9, например К.К. Сивкова, 1936 г.; В.Н. Табулевиц, 1962 г. и др.

*Сейсмотектоническая зона № 10 — "Восточная", мегантиклинорий Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, Восточная сейсмотектоническая зона,  $N_m \approx 60 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
04.05.1878	41,6	48,1	20	5,7	7	Касумкент
26.06.1889	42,5	48,0	42	5,9	6	Избербаш
21.02.02	41,8	48,8	18	5,6	7	Мухтадир
05.07.03	41,8	48,7	40	5,5	5	Белиджа
20.02.06	41,5	48,4	75	5,9	6	Кусары
21.08.07	42,7	48,3	43	5,3	—	Каспийское море
30.10.09	42,4	48,0	40	5,8	6	Новокаякент
25.03.13	41,8	48,3	70	5,7	7	Касумкент
05.12.30	41,4	48,7	24	5,2	6	Хачмас
09.04.35	42,1	48,8	90	6,3	—	Каспийское море
30.08.48	41,9	48,0	31	5,4	6	Хучна
30.04.53	41,0	48,1	20	5,0	6	Куткашен
20.12.71	41,2	48,4	05	5,5	7	Шахдаг
	41,3	48,4	12	5,3	—	Куба—Гархун
20.01.75	41,7	48,5	—	5,0	—	Самур
20.10.75	41,7	48,1	—	5,0	—	Касумкент

Геологическая характеристика сейсмотектонической зоны № 10 принципиально близка к той, которая давалась для зоны № 8; переход от участков преобладания новейших поднятий к участкам преобладания опусканий (Дагестанский и Кусарский краевые прогибы), наличие линеаента глобального масштаба Ленкорань—Шемаха—Кизляр. Западная часть зоны охватывает узкую полосу северо-западной ориентировки на территории тектонического блока II.7 вдоль его восточной границы, а также наземные части Дагестанского и Кусарского прогибов; восточная часть скрыта под водами Каспийского моря. Сейсмотектоническая зона № 10 в ширину занимает (на пространстве от г. Махачкалы до г. Хачмаса) около 50 км. Далее, т.е. южнее, эта зона разветвляется, следуя, с одной стороны, через Шемахинский сейсмотектонический узел и "Кюндамирский мост" прямо на юг в Талыш и Ленкорань, а с другой — по акватории моря, севернее Апшеронского п-ова по Кусарскому прогибу (III.5) на юго-восток. Зона № 10 отличается обилием землетрясений, но следует учесть ее обширные размеры, и отсюда — указанное выше значение  $N_m$ .

Некоторая часть эпицентров землетрясений лежит в море — 1907, 1935, 1958 гг. В.Н. Табулевиц для окрестностей Махачкалы уточняет: эпицентры "образуют как бы две цепочки, одну — проходящую под дном Каспийского моря, примерно на расстоянии 30—50 км от берега, а другую — в береговой зоне на линии Махачкала—Каспийск—

Избербаш" [753, с. 47]. О геологическом смысле такого расчленения, если оно реально, можно только гадать: большая часть эпицентров относится к наземной части обоих краевых прогибов, т.е. к западной части зоны № 10, причем здесь известно до 15 землетрясений с  $M$  от 5,0 до 5,9 и множество с  $M < 5,0$ .

Морские эпицентры представляют особый интерес: они отвечают очагам, глубина которых увеличивается в сторону моря вплоть до глубин почти в 100 км — тенденция, напоминающая ту, с которой мы встречались в зоне № 8. По-видимому, и здесь, в зоне № 10, можно говорить о погружении всех структур северо-восточного крыла Восточного антиклинория к северо-востоку под море, в том числе и тех, которые должны быть отнесены к сейсмогенным. Особый интерес представляет землетрясение 9.04.35. Т.М. Лебедева, установившая большую глубину его очага, пишет: "Сам факт, что мы имеем большую потрясенную область свыше 500 000 кв. км, сравнительно небольшую силу — 6 баллов, неравномерное и медленное падение сейсмических сотрясений, большой микросейсмический радиус действия 7000 км, говорит за то, что землетрясение имеет большую глубину фокуса" [641, с. 88]. По данным Т.М. Лебедевой, глубина равна 155 км, но в дальнейшем пришлось несколько уменьшить эту цифру — до 90 км [31, с. 118]; все равно — это максимальная для Кавказа глубина.

Шахдагское (Куба-Гархунское) землетрясение 20.12.71 (см. список) — о геологической обстановке его возникновения имеются такие сведения: "Плейстосейстовая зона землетрясения располагается в пределах Шахдагского наложенного прогиба. Глубина очага превышает мощность комплекса осадков, накопленных в этом прогибе, а гипоцентр располагается в нижнем структурном этаже на северной присводовой части крайне северного Куруш-Конахкендского поднятия Центрального антиклинория Главного хребта, трансгрессивно перекрытого (что перекрыто? Главный хребет, Центральный антиклинорий или Куруш-Конахкендское поднятие? — Г.Г.) названным прогибом, стратиграфически гипоцентр приурочен к области развития карбонатных отложений альбского яруса... Поверхность консолидированной коры под очаговой зоной имеет уклон  $10-12^\circ$ , совпадающий с направлением падения плоскости разрыва, по которому произошла подвижка. Судя по геологической обстановке, напряжение в очаговой зоне Шахдагского землетрясения возникло под действием гравитационных сил. Накоплению большой сейсмической энергии, которая проявилась на поверхности интенсивным сотрясением, способствовала покрывка, представленная мощной двухкилометровой толщей нижнемеловых известняков Шахдагского прогиба, трансгрессивно перекрывающих погребенный сейсмогенный шов" [779, с. 31–32]. Текст статьи сопровождается рисунком (геологический разрез).

Авторы высказывают ряд остроумных идей, но все же изложенные построения вызывают некоторые сомнения. В частности, весьма сомнительно выглядит роль гравитационных сил; мало вероятно сколько-нибудь серьезное значение "покрывки" из нижнемеловых известняков; разрыв, изображенный на разрезе, ничем не доказан, на поверхность не выходит, его геометрия произвольна. Предложения, сформулированные авторами той статьи, свидетельствуют о большом желании обнаружить определенные сейсмотектонические связи, и на фоне этого желания теряется объективность и осторожность в рассуждениях.

Шахдагскому землетрясению посвящены также заметки Р.А. Агамирзоева, З.З. Султановой, В.В. Чиковани и др. Вопросы геологии в них почти не затрагиваются.

Касумкентское землетрясение 10.04.66 —  $43,3^\circ$  с.ш.,  $48,1^\circ$  в.д.,  $h = 16$  км,  $M = 4,9$ ,  $I_0 = 7$  баллов. Оно произошло "в поперечной зоне сочленения восточной и юго-восточной областей Большого Кавказа" [497, с. 44], что отвечает участку площади нашей зоны № 10. Вероятно, зона поперечных разломов отвечает довольно широкой полосе, и Самурский разлом является одним из проявлений этой зоны. "Очаг рассматриваемого землетрясения, вероятно всего, связан с подвижками в данной поперечной зоне глубинных разломов" (с. 55). К подобным же случаям относится слабое Худатское землетрясение 10.05.63.

Для некоторых несильных землетрясений, ощущавшихся на суше в сейсмотектонической зоне № 10, имеются отдельные довольно многочисленные заметки.

Одна из наиболее содержательных работ по Северному Кавказу, притом охватывающая огромный район от берегов Каспийского моря (Баку, Махачкала) и до Кубани и пос. Красная Поляна, принадлежит И.В. Ананьину [491]. Сейсмическая часть здесь изложена, можно сказать, исчерпывающим образом, геологическая же к сожалению отсутствует.

Сейсмотектоническая подзона № 10а — "Каспийская", юго-восточное ответвление "Восточной зоны" № 10,  $N_m \approx 300 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$	Район
07.06.11	41,0	50,5	46	6,4	6—7	Каспийское море
06.09.38	41,0	50,0	22	5,0	6	"
06.05.58	43,1	47,8	05	5,5	8	"
18.09.61	41,1	50,2	64	6,6	7	"
27.01.63	41,1	49,5	55	6,2	7—8	"
05.10.68	41,7	47,8	70	5,4	5	"
20.01.75	41,7	48,5	—	5,0	5—6	"

Я выделяю в качестве юго-восточного ответвления зоны № 10 подзону № 10а, отходящую в юго-восточном направлении от основной зоны южнее параллели 42° с.ш. и далее несколько севернее Апшеронского полуострова. Основанием для выделения этого ответвления служит полоса эпицентров сильных землетрясений, указанных в таблице.

Имеются ли геологические основания для выделения подзоны № 10а? Трудно ответить на этот вопрос.

Можно отметить, что полоса особенно глубокого погружения Терско-Каспийского прогиба протягивается в том же, юго-восточном направлении, достигая севернее Апшеронского полуострова наибольших глубин именно здесь, в Кусарском прогибе, что в какой-то мере отражает высокую интенсивность деформаций земной коры. Аналогичную ориентировку приобретают здесь изолинии поверхности Моховичича.

Обращает на себя внимание факт концентрации здесь очагов сильных землетрясений со значительной глубиной очага — порядка нескольких десятков километров.

Некоторые из морских землетрясений, ощущавшихся на суше, были изучены и описаны; именно: Сумгаитское 12.12.59 — 40,7° с.ш., 49,6° в.д.,  $h = 6$  км,  $M = 4,1$ ,  $I_0 = 6—7$  баллов; Каспийское 18.09.61 — 41,1° с.ш., 50,2° в.д.,  $h \approx 64$  км,  $M = 6,6$ ,  $I_0 = 7$  баллов; Кизыл-Бурунское 26.03.62 — 41,1° с.ш., 49,3° в.д.,  $h = 6$  км,  $M = 4,4$ ,  $I_0 = 7$  баллов; Каспийское 27.01.63 — 41,1° с.ш., 49,8° в.д.,  $h \approx 55$  км,  $M = 6,2$ ,  $I_0 = 7—8$  баллов. Карта изосейст для него весьма близка к той, которая давалась для землетрясения 18.09.61 (см. работы С.М. Алиева, З.А. Багирова, Р.Д. Джафарова, В.П. Кузнецова, Ш.С. Рагимова).

В тектоническом отношении подзону № 10а можно расценивать в качестве детали Восточного периклинального окончания мегантиклинория Большого Кавказа.

В восточной части Каспийского моря также отмечено некоторое количество землетрясений — 1931, 1934, 1943, 1950, 1973 гг., среди которых землетрясение 20.10.31 обладало  $M = 6,2$  и  $h = 70$  км. Глубина очагов других местных землетрясений также значительна, но к Большому Кавказу они отношения не имеют. Общий обзор землетрясений с эпицентрами на площади акватории Каспийского моря имеется в [595]; в основном эпицентры ложатся на площадь, заключенную между параллелями г. Махачкала и г. Ленкорань. По сути дела, вся полоса Каспийской впадины, заключенная между линиями Махачкала—Карабугаз и Ленкорань—Челекен, судя по данным [595], в сейсмотектоническом отношении осуществляет непосредственную связь Кавказского и Туркменского сейсмотектонических регионов, ибо содержит немалое количество землетрясений, порою весьма значительных. Северная же часть акватории Каспийского моря, а также и южная лишены эпицентров землетрясений. Это существенный факт для понимания альпийской тектоники нашего юга.

Сейсмотектоническая зона № 11 — "Шемахинская", мегантиклинорий Большого Кавказа, восточный антиклинорий, Шемахинская сейсмотектоническая зона,  $N_m \approx 2000 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
09.08.1828	40,7	48,4	10	5,7	8	Шемаха
11.06.1859	40,7	48,5	10	5,9	8—9	"
02.09.1869	40,7	48,7	06	5,0	8	"
28.01.1872	40,6	48,7	07	5,7	8—9	"
07.08.1875	40,7	48,7	08	5,4	8	"

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
13.02.02	40,7	48,6	15	6,9	8—9	Шемаха
28.04.04	40,7	48,5	04	5,1	7	"
09.10.24	40,9	48,6	18	5,2	6	"
17.05.31	40,5	48,5	26	5,0	5—6	"
21.03.56	40,9	48,4	08	5,3	7—8	Лагич

Непосредственным продолжением зоны № 10 в направлении на юг служит Шемахинская сейсмотектоническая зона № 11, или, лучше сказать, Шемахинский сейсмотектонический "узел". Территория этого "узла" лежит на пересечении "Восточной" (№ 10) и "Юго-Восточной" (№ 12) сейсмотектонических зон, окаймляющих с востока и юга Восточный мегантиклинорий Большого Кавказа.

Район этот в сейсмическом отношении представляет исключительное явление не только для Кавказа, но и для всей территории Советского Союза. Один и тот же очаг, расположенный в соседстве с г. Шемаха, проявлял себя неоднократно, вызывая на поверхности 8- или даже 9-балльный эффект. После разрушительного землетрясения 11.06.1859 известный геолог Г. Абих в докладе, прочитанном в Русском географическом обществе, говорил: "Для Шемахи нет никакого ручательства, чтобы она когда-нибудь не сделалась добычей катастрофы, подобной той, которая в январе 1669 года в несколько секунд разрушила город дотла и погубила 8000 человек" [478, с. 114]. Шемаха после присоединения Ширванского ханства к России стала губернским городом, но после землетрясения 1859 г. административные органы были переведены в Баку и вместо Шемахинской учреждена Бакинская губерния.

Землетрясение 6.02.1859 в Шемахе действительно было сильным (8—9 баллов) и привлекло внимание специалистов. Г. В. Абих посвятил ему ряд статей. Обладая совсем небольшим количеством фактических сведений, и задолго до появления современных методов исследования, автор поднялся до больших философских обобщений и сформулировал ряд конкретных заключений. В частности, он писал: "Опасность, которой со стороны землетрясений Шемаха подвержена более, нежели всякое другое место на Кавказе, зависит от следующих причин: 1) от положения ее на системе вывороченных и почти вертикально поставленных пластов, принадлежащих к сплошному ряду подземных рифов; 2) от близости ее к центру области, под которой, на весьма большой глубине, мы предполагаем фокус разрушительных сил; 3) от частого повторения в ней землетрясений, коих сила оканчивается, по большей части исключительно, на ней и на ее окрестностях" [478, с. 113].

Далее Г. В. Абих рассматривает сильное землетрясение того же года в Эрзеруме и находит черты сходства между ним и Шемахинским. На прямой линии между ними (близко к параллели  $40^\circ$ ) находится эпицентр столь же сильного землетрясения 2.07.1840 близ горы Арат.

Статья Г. Абиха 1862 г. снабжена картами: "Отношение местности Закавказского землетрясения к вулканическому поясу старого материка", "Окрестности г. Шемахи, испытавшего землетрясение 30 и 31 мая 1859 г.", "Окрестности г. Эрзерума, испытавшего землетрясение 21 мая 1859 года". Текст статьи 1862 г. подобен тексту статьи [478]. Обе статьи — перевод с французского А. Т. Филадельфина.

Изучая такие явления, как поднятие горных кражей, вулканизм, термальные источники и землетрясения, В. Г. Абих считал их следствием одной общей причины: они связаны с направлением горных цепей. На Кавказе Абих различал несколько ясно выраженных направлений горных цепей, причем главным из них считал широтное. В частности, он выделял область разломов, протягивающихся от Лагичских гор до Каспийского моря, и отмечал, что "удары и волны потрясений, постигающие Шемахинский край, порождаются в середине этих взломов" [478, с. 112].

Были заметки и в газетах того времени.

Известны довольно сильные землетрясения в Шемахе 09.02.1869 и 28.01.1872. При втором из них "разрушениям своим город главнейше обязан продолжительности колебания, а не особой напряженности ударов", как писал в 1872 г. Цулунидзе; он же отмечал значение местных грунтовых условий для степени внешнего эффекта землетрясения.

После довольно сильных землетрясений 28.01.1872 и 7.08.1875, при которых пострадало много селений в окрестностях Шемахи, А. Л. Зиссерман (1876 г.) писал об этом городе: "Ежечасно угрожаемая землетрясением раскинутая на крутой горе Шемаха..."

В Шемахе известно несколько сот землетрясений, из которых немало 5- и 6-балльных. За короткий срок, менее чем за два столетия, здесь отмечено около 13 разрушительных землетрясений. Землетрясение 13.02.02 обладало  $M = 6,9$ . Хроника прежних веков также оставила сведения о сильных подземных толчках — в XII, XVII вв. и др. Сейсмические станции краткосрочной экспедиции И.Л. Нерсесова (ИФЗ АН СССР) зарегистрировали здесь более 200 подземных толчков за время с конца 1951 по конец 1953 г. [4, с. 95—99]. На схеме плотностей эпицентров землетрясений Кавказа, по данным [609], район Шемахи выделяется среди окружающих его участков высокими показателями — 21—30 эпицентров на  $900 \text{ км}^2$ . Значение удельной сейсмической мощности  $N_m$  превышает  $2000 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{год})$ , что превышает значение  $N_m$  для любого другого региона Кавказа.

Одна из особенностей сейсмического режима данного района состоит в том, что очаги землетрясений тесно группируются на небольшой площади вокруг Шемахи и к северо-западу от нее, не выходя за пределы овала длиной в 50 км. Сюда же относятся Исмаиллинские землетрясения 5.02, 9.02 и 17.06.68.

Другая особенность состоит в том, что здесь отмечено много сильных землетрясений — больше, чем в любом другом районе Кавказа, но во времени они проявляются весьма неравномерно. За короткий срок, с 1869 по 1902 г., здесь отмечено пять 8-балльных (возможно, до 9 баллов) толчков, но с тех пор вот уже на протяжении более 80 лет таких толчков не было. Я вижу в том повод с большой осторожностью относиться к так называемым "графикам повторяемости", составляемым по коротким промежуткам времени.

Третьей особенностью шемахинских землетрясений нужно считать тот факт, что в своем большинстве они связаны с неглубокими очагами. Так, подавляющее большинство тех толчков, которые были зарегистрированы здесь в 1951—1953 гг., связано с очагами, лежащими на глубинах 0—15 км [4], что было отмечено еще раньше Е.А. Коридалиным и др.: "Гипоцентры землетрясений залегают на глубине от 0 до 10 км и лишь в отдельных случаях — до 30 км" [623а].

Наконец, еще одно свойство местных землетрясений заключается в том, что изосейсмальные области отчетливо вытягиваются, как правило, в северо-западном направлении, что хорошо было показано еще В.Н. Вебером [551]. Его старая работа давно стала классическим типом исследования, выполненного с исключительным вниманием ко всем деталям; автор образно и со всей четкостью описывает внешние проявления землетрясения, но в обобщениях очень осторожен. В.Н. Вебер пишет: "Как видно по карте, мы на основании собранного материала не можем подойти к вопросу о месте гнезда землетрясения... мы не знаем эпицентра... Ось наибольшей силы их (подземных толчков. — Г.Г.) совпадает с линией, проходящей через Шемаху, Басхал, Зумаели... Предположение об эпицентре, лежащем на длинной оси эллипсов, лежащих на этой же линии, для меня представляется наиболее вероятным" (с. 61—62). Следует видеть в том влияние двух факторов — северо-западного простираения их складчатых структур и линейности очагов, связанных с этими структурами. Последнее обстоятельство хорошо иллюстрируется схемой динамических параметров землетрясений зоны. Ряд очагов в интерпретации [90, 609, 785] действительно связан со структурами (в оригинальных текстах — "разрывами") общекавказского, т. е. северо-западного или, точнее, западно-северо-западного простираения; встречаются и поперечные направления.

Кстати, отмечу, что первые сообщения о Шемахинском землетрясении 1902 г. опубликовали К.И. Богданович, В.Н. Вебер, М.А. Рыкачев, Н.М. Тер-Микелов.

В.Н. Вебер в очень краткой заметке остановился в основном на организационных вопросах своей поездки к месту катастрофы, отметил плохое качество местных построек и роль "почвенных условий".

К.И. Богданович значительно подробнее описал внешнюю сторону события и особенно геологические условия возникновения землетрясения. Без инструментальных записей он мог опираться лишь на полевые наблюдения и весьма тонкие и остроумные собственные соображения. Для нахождения эпицентра автор использовал в основном "изменения на естественной поверхности Земли" — "сбросы по сейсмическим трещинам", оползни, обвалы и т. п. Трещины достигали 10 км длины, с азимутом северо-западным. Автор полагает, что многочисленные обнаруженные в эпицентре трещины — не поверхностное явление, а скорее "глубокие разломы, по которым произошло вертикальное перемещение части поверхности" [517, с. 285], или, другими словами, "трещины не

представляют простых явлений оползней, а относятся к числу действующих тектонических линий, обозначающих эпицентры" (с. 289); мы сейчас называем такие нарушения сейсмодислокациями. И в заключение К.И. Богданович приходит к выводу, что "вероятно искать причину" Шемахинского землетрясения нужно "в явлениях дислокации" (с. 290). К работе приложена карта изосейст шемахинского землетрясения в масштабе 1 : 420 000.

В целом можно констатировать, что район Шемахи заметно выделяется на Кавказе своей повышенной сейсмической активностью, что уже давно привлекало внимание исследователей, пытавшихся дать геологическое объяснение этому факту. Принадлежность района, если рассматривать вопрос в общем плане, к зоне сочленения Большого Кавказа и Куринской депрессии, зоне, характеризующейся контрастными новейшими и современными движениями, многочисленными продольными надвигами и наличием в данном месте пересечения субмеридиональной ("Восточной") и субширотной ("Южной") шовных зон, в значительной мере объясняет высокую сейсмическую активность этого "узла". Но есть некоторые дополнительные нюансы в таких построениях.

Л.А. Варданянц указывал на исключительную сложность тектоники района и на связь последнего с апшеронским. В частности, он указывал на то, что в районе Шемахи пересекаются две крупные, правда, другие, чем отмеченные нами, тектонические линии. Одна из них — "зона господствующих СЗ—ЮВ простираний дислокаций принадлежит сложному комплексу, протягивающемуся от Крыма в Иран. Зона же господствующих широтных простираний представляет продолжение Понтической и, возможно, Таврской систем, протягивающееся в виде шпоры к Шемахе... В районе Шемахи и к ЮВ от нее, где пересекаются эти направления, должны возникнуть сложные запутанного строения структуры, что мы и наблюдаем в действительности" [546, с. 52].

В несколько иных словах (и, на мой взгляд, правильнее) тот же автор излагал вопрос следующим образом: причина активности местных тектонических структур заключается в том, что здесь "намечается пересечение главнейших дислокационных зон: во-первых, зоны, протягивающейся из Дагестана к Ленкорани, и во-вторых, зоны, протягивающейся из Анатолии к Краснодарску. Обе эти зоны еще не получили полного оформления, и поэтому вдоль них, и особенно в районе их пересечения, должны существовать наименее устойчивые тектонические соотношения и наибольшая сумма остаточных напряжений, еще не получивших разрядки" [Там же, с. 73]. Напомню, что очаги местных землетрясений лежат в узкой полосе ЗСЗ—ВЮВ направления и к тому же неглубоко, т. е. основная доля импульсов, дающих столь сильные проявления, все же должна быть отнесена на счет структур юго-восточного окончания Большого Кавказа.

Некоторых существенных деталей сейсмотектоники зоны касался А.А. Сорский. Так, он полагал, что при Шемахинском землетрясении 11.07.52 "выявляются два очага, расположенные на расстоянии около 20 км друг от друга и приуроченные, вероятно, к периферическим зонам антиклинальных поднятий, хорошо установленных геологически" [747, с. 38]. Обращаю внимание — антиклинальные поднятия, а не разрывы! Далее А.А. Сорский полагал, что разрушения в Шемахе и в данном случае, и при более ранних землетрясениях были связаны "не столько с силой сейсмических толчков в данном районе, сколько с характером грунтов, на которых расположено то или иное селение, и с качеством построек" (с. 42); и автор предлагает оценивать максимальную балльность шемахинских землетрясений в 8 (а не 9) баллов. Наконец, А.А. Сорский подчеркивает широкое развитие вторичных деформаций в почве при сильных землетрясениях в районе.

Но главная мысль А.А. Сорского заключается в следующем: «Сейсмичность Шемахинской эпицентральной зоны, по-видимому, связана с наличием двух различно ориентированных структурных элементов: погруженного поперечного поднятия ("Кюрдамирский мост") и складчатых сооружений Большого Кавказа. Проявление современных тектонических движений в районе Шемахи выражено более резко и ярко, чем в Нухино-Закатальской зоне, что указывает на большую современную подвижность Шемахинской зоны» (с. 44). Указание на более резкое проявление современных движений в данном районе требует, я полагаю, дополнительной проверки; что же касается идеи о так называемом "Кюрдамирском тектоническом мосте", то она заслуживает большого внимания (см. описание сейсмотектонической зоны № 17).

Существенным элементом глубинной тектоники Шемахинского региона нужно считать тот субмеридиональный линеамент, о котором уже говорилось и который включает

в себя "Восточный" глубинный разлом. Положение этого линеамента, в частности, контролируется распределением гравитационных и магнитных аномалий. Глубинный разлом ограничивается с востока "Курдамирское поднятие", и его амплитуда, с опусканием восточного крыла, превышает 7 км [508, с. 255]. Этот разлом (по А.А. Борисову — "Талышско-Вандамский") подходит к району Шемахи и здесь, как уже говорилось, пересекается с Шемаха-Туапсинским ("Южным"), создавая указанное сочетание двух взаимно перпендикулярных направлений. Именно в таком плане я склонен рассматривать мнение В.И. Кейлис-Борока, указывающего на наличие здесь "двух сейсмогенетических зон", или двух основных направлений разрывов в очагах землетрясений, западно-северо-западного и субмеридионального [609, с. 102—103], а также мнение А.М. Багдасаровой и ее соавторов, указывающих на то, что Шемахинская эпицентральная зона лежит «на стыке погребенных меридиональных структур "Курдамирского моста" и Кавказских складчатых сооружений» [508, с. 256]. Того же мнения, по-видимому, придерживается и В.Е. Хаин [758].

Довольно подробно рассматриваются вопросы геологии шемахинских землетрясений в вышеупомянутой статье [508]. "В геологическом отношении Шемахинская эпицентральная зона располагается на юго-восточном погружении мегантиклинория Большого Кавказа, сложенного мощными вулканогенно-осадочными толщами мезокайнозой... Все эти толщи смяты в интенсивные линейно вытянутые складки, простирающиеся в направлении юго-восток—северо-запад (Кавказское простираение), складки осложнены продольными разрывами, по которым антиклинальные структуры надвинуты на смежные с ними синклиналильные" (с. 255). И далее: «Шемахинская эпицентральная зона, расположенная на стыке погребенных меридиональных структур "Курдамирского моста" и Кавказских складчатых сооружений, испытывающих интенсивные поднятия в северной части и значительные прогибания в южной, является зоной наиболее контрастных современных движений восточной части Большого Кавказского хребта. Высокая сейсмическая активность Шемахинской зоны по сравнению со смежными районами может быть связана с этими движениями" (с. 256).

Я привел эту выдержку из работы [508], так как полагаю, что она правильно отражает особенности сейсмогеологической обстановки в Шемахинской зоне: действительно, главным фактором сейсмогенетического значения здесь следует считать пересечение двух сеймотектонических зон — продольной и поперечной.

Существенные материалы доставляет изучение динамических параметров очагов землетрясений Шемахинской группы; здесь обнаружены "два основных направления разрывов в очагах" [571, с. 292]. В одной группе простираение "разрывов" отвечает "общему простираению" Кавказа, "разрывы второй группы протягиваются в северо-восточном направлении. Другими словами, так называемые динамические параметры стоят в соответствии с изложенной выше моделью очага".

В небольшой книжке Н.В. Шебалина [235], рассмотревшего механизмы очагов некоторых сильных землетрясений, дается схема строения очага Шемахинского, а также Горийского, Зангезурского, Чхалтинского, Анапского, Дагестанского землетрясений Кавказа. Основным элементом для каждого очага являлась "ожившая при землетрясении площадь основного разрыва" (с. 23). Как редактор рукописи я высказывал тогда мнение о необходимости уточнить и даже несколько изменить подобное представление о механизме очага, заменив "основной разрыв" на "деформируемый объем пород", но позиция автора оставалась принципиальной и, естественно, изменению не подлежала. Варианты интерпретации механизма очагов их я в дальнейшем не привожу, относя читателя к самой работе Н.В. Шебалина [235].

Землетрясения района Шемахи служили темой и многих других статей и в прошлом, и в более позднее время.

*Сеймотектоническая зона №12 — "Юго-Восточная", мегантиклинорий Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, юго-восточная сеймотектоническая зона,  $N_m \approx 30 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
02.11.03	41,1	47,1	36	5,0	6	Шеки
19.01.07	41,2	46,5	28	5,0	6—7	Иори
02.09.36	41,5	46,6	22	5,3	6	Закаталы

Дата	$\varphi$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
29.06.48	41,6	46,4	48	6,1	7	Закаталы
2.11.51	42,3	45,3	20	5,3	7	Мтатусет
4.08.74	42,2	45,9	23	5,1	6-7	Бежта
26.06.78	41,9	46,5	05	5,8	7	Лагодехи

К западо-северо-западу от Шемахи пролегает четко выраженная тектоническая полоса, знаменующая смену области господства новейших воздыманий (мегантклинорий Большого Кавказа) областью господства новейших погружений (межгорная Куринская впадина и ее продолжение в виде Рионской впадины), т. е. зона контрастных новейших движений, осложненных глубинным разломом того же западо-северо-западного простирания. С этой зоной связан ряд сильных ( $M \geq 5,0$ ) землетрясений (с востока на запад): Шеки 1903 г., Патаро (р. Иори) 1907 г., Закаталы 1936 и 1948 гг., Бежта 1974 г., Мтатусет 1951 г. Если добавить к ним другие, с  $M < 5,0$  (Закаталы 1840 г., Кварели 1902 г., Нуха 1963 г., ряд более слабых), то указанное направление вырисовывается ярче. Может быть, к той же полосе относятся землетрясения в Борисахо 1975 г. и Гудмакаре 1915 г.

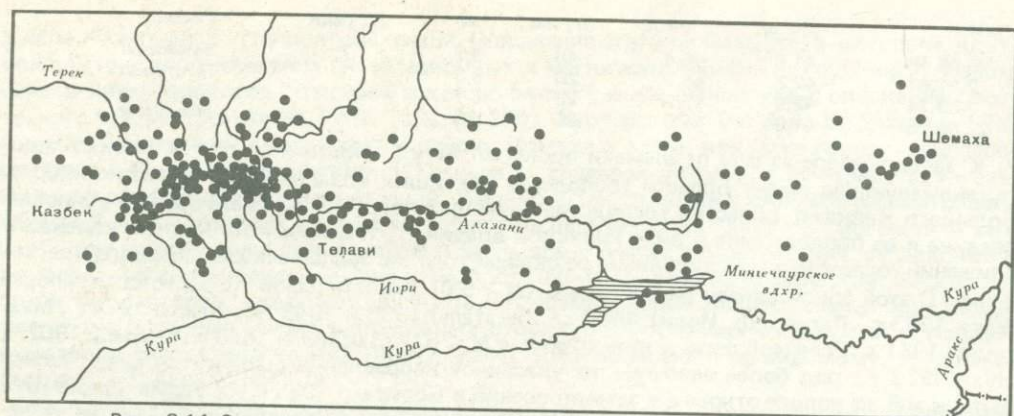
Неинструментальная статистика дает для этой полосы за последние 100 лет не менее 100 землетрясений, интенсивностью от 3 до 6-7 баллов, в пунктах Варташен, Закаталы, Кварели, Куткашен, Нуха, Шеки. Наиболее раннее из известных сильное землетрясение в Кахетинской зоне относится к 1030 г. На любой более или менее полной эпицентральной карте Кавказа эта полоса отлично выделяется, и ее значение подчеркивают многие исследователи.

Довольно полное описание сейсмических условий на южных отрогах юго-восточной части Большого Кавказского хребта можно найти в статьях А.М. Багдасаровой с соавторами [735]. В первой из них рассматриваются методика и результаты инструментальных наблюдений, во второй — распределение эпицентров, в третьей — некоторые детали вычислений (в частности, годографы). Авторы обращают внимание на то обстоятельство, что эпицентры вроде как бы избегают размещаться на площади высоких изосейст сильных Шемахинских землетрясений и концентрируются в основном на северо-западе от Шемахи, намечая указанную выше зону № 12.

А.Д. Цхакая в ряде своих карт (например, карта эпицентров землетрясений Кавказа за 1912-1963 гг. [769]) особым знаком выделил как эту полосу, так и зону Джавахетского вулканического нагорья. Явно выступает эта зона на карте М.М. Рубинштейна [723] (рис. 8.14).

Обзору сейсмостектонической зоны № 12 посвятили свою статью Е.И. Бюс и М.М. Рубинштейн [540]. «Мы убеждены, — писали они, — в приуроченности эпицентров восточной части зоны к границе Азербайджанской глыбы (Куринской депрессии) со складчатой системой южного склона Большого Кавказа. Эта граница разделяет области резко различных тектонических режимов по крайней мере со средней юры, и совершенно естественно рассматривать ее как некую пограничную поверхность, разделяющую дифференциально движущиеся смежные участки земной коры, т. е. как вид глубинной структуры геосинклинальных областей, описанный в свое время А.В. Пейве для Урала и Средней Азии под названием глубинных разломов... Этот разлом продолжается дальше в сторону Казбека, и реальность его существования находит прямое подтверждение в наличии здесь молодых вулканических аппаратов самого Казбека и находящегося юго-западнее его Кельского вулканического нагорья... Этот глубинный разлом отнюдь не следует рассматривать как непрерывную плавную поверхность, тем более в верхних структурных этажах — он представляет собой сложное сочетание целого ряда разрывов... Глубинный разлом восточной части южного склона Большого Кавказа, по-видимому, увязывается к западу с той, аналогичной ему глубинной структурой, которая известна под названием "Главного надвига" и вдоль которой древний кристаллический комплекс Большого Кавказа надвинут на флишевые осадки южного склона» [540, с. 804-805].

Геотектоническая обстановка в целом здесь достаточно ясна: резко выраженный контакт между приподнятыми участками восточного мегантиклинория Большого Кавказа и опущенными участками Куринской депрессии (или, вернее, ее частными впадинами — Картлийской и Алазанской). Контакт, который характеризуется весьма контрастными новейшими и современными движениями, наличием интенсивных тектонических нарушений, разграничивающих "Алазань-Агричайскую депрессию и зону Кахетинского диабазового хребта" [546, с. 84], а также крупных надвигов (с надвиганием северного крыла на южное) и глубинного разлома регионального значения. Глубинный разлом за-



Р и с. 8.14. Эпицентры землетрясений сейсмотектонической зоны № 12 (по [723])

падо-северо-западного простираения, "четко отображенный на геофизических полях" (с. 82), помечен, например, в работе К.М. Керимова и А.А. Байрамова [610], именно в "зоне Куткашена".

Отмечу наличие в данном месте замечательных шарриажей и покровов с горизонтальными подвижками аллохтона на десятки километров, в том числе Астраханский, Дибарский, Вандамский покровы. Первое упоминание о покровах (в пределах Баскальского нагорья) принадлежит Н.Б. Вассоевичу и В.Е. Хаину [548]. Многие сделали для познания природы этих явлений И.А. Воскресенский, М.Ф. Молчанов, А.Н. Шарданов и др.

Интересно отметить полностью противоположное мнение по поводу Баскальского покрова некоторых других геологов. А.А. Сорский и И.В. Кириллова пишут: "... последовательный разбор всех прежних доказательств существования Баскальского покрова, анализ характера структур и распределения фаций, являющихся вполне закономерными для данного района, убеждает в том, что представления о покровном строении района не имеют оснований и должны быть признаны ошибочными" [749, с. 113]. Такого же мнения придерживался геолог А.Н. Соловкин. Тем не менее покров существует, он подтвержден бурением.

Процесс образования покровов тесно связан с возникновением и развитием блоковых структур и процессом гравитационного соскальзывания аллохтона по наклонной поверхности автохтона. Основная фаза движений, создавших покровы, уже прошла, и в сейсмическом отношении покровы не могут считаться опасными, хотя они и усложняют современную структуру региона.

Вероятно, нет надобности лишней раз подчеркивать, что сохраняя терминологию, аргументацию и формулировки авторов [540, 723, 735, 769] в отношении сейсмогенной роли тектонических разрывов, я не могу согласиться с этой идеей (очаг — разрыв) и по-прежнему придерживаюсь позиции "очаг — объем".

В поле гравитационных аномалий здесь отмечается высокое значение горизонтального градиента, которому отвечает крутой наклон поверхности Мохоровичича к юго-западу.

Дополнительное осложнение в общую геотектоническую обстановку вносит факт интенсивной перестройки рельефа, что характеризует развитие северных частей Алазано-Агричайско-Авторацкой депрессии в новейший этап и на что обратили внимание В.А. Растворова и И.Л. Нерсесов. Перестройка заключается в том, что южная окраина сводового поднятия Большого Кавказа, испытывавшая поднятие в конце неогена и начале четвертичного периода, в конце хазарского века ( $Q_2$ ) начала погружаться, за счет чего и сформировалась указанная выше группа впадин [713, с. 88].

Неглубокое Варташенское землетрясение 2.09.53, упоминаемое в [692], служит темой заметки и [713]; оно не сильное (6, может быть, до 7 баллов), но типичное для зоны № 12. Относится к контакту южного крыла мегантиклинория Большого Кавказа с расположенной южнее депрессией, причем "плейстоценовая область Варташенского землетрясения попадает в зону интенсивной перестройки рельефа, которая началась

со второй половины четвертичного времени и продолжается до настоящего времени. Этот процесс перестройки характерен для всей северной границы Алазано-Агричайско-Авторакской депрессии" [713, с. 88]. Вероятно, в такой же ситуации возникло 6—7-балльное Нуха-Варташенское землетрясение 23.04.63, а также Варташенское землетрясение 5.11.72 —  $41,2^\circ$  с. ш.,  $47,4^\circ$  в. д.,  $h = 5$  км,  $M = 4,0$ . Похожим на него было Мтатушетское землетрясение 2.11.51.

Некоторые авторы (В.Н. Крестников и др.) обращают внимание на асимметрию Алазанской впадины, которая характеризуется "опущенным северным бортом и приподнятым южным", причем "однoboкое прогибание Алазанской депрессии продолжается и сейчас" [627, с. 55, 57]. В этих условиях контакт между фундаментом впадины и соседними участками Восточного антиклинория становится особенно резким, контраст в новейших движениях по обе стороны зоны контакта усиливается и соответственно возрастает сейсмический потенциал.

О перестройке рельефа и влиянии этого процесса на сейсмический режим говорят и другие авторы (в том числе и для Шемахинского сейсмотектонического "узла"). По-видимому, есть основание придать этому фактору определенное сейсмогенное значение.

Было изучено еще одно землетрясение в зоне № 12 — Бежтинское 1974 г. О.А. Асанов и его соавторы сообщают: "Очаг Бежтинского землетрясения находится в зоне Большого Кавказского разлома... заметно ниже кровли кристаллического фундамента" [513, с. 34]. Затем приводятся данные по механизму очага — два возможных варианта, рассчитанных в традиционном духе, т. е. в предположении о существовании сейсмогенных разрывов, но, как пишут авторы, "решение не может считаться достаточно надежным" [Там же, с. 113].

Поблизости произошло Шекинское землетрясение 28.11.76:  $41,9^\circ$  с. ш.,  $48,1^\circ$  в. д.,  $h = 5-6$  км,  $M = 3$ ,  $I_0 = 5$  баллов. В одной из работ утверждается, что макросейсмическое поле "располагается в пределах Алазано-Агричайского межгорного прогиба... Пространственное положение макросейсмического поля и глубина гипоцентра  $h = 5 \div 6$  км разрешают предположить, что Шекинское землетрясение связано с тектоническими подвижками в Вандамской шовной зоне". Полагаю, точнее будет сказать, что землетрясение связано с тектоническими подвижками в одном из крыльев Вандамской шовной зоны.

А.А. Сорский [747] обращал внимание на другую особенность новейшей тектоники данного района, а именно на то, что Нухино-Закатальская зона отличается значительными новейшими поднятиями (суммарно за неоген-четвертичное время) и тем отличается от Шемахинского района, где высокой интенсивностью характеризуются и современные движения; на этот счет можно отнести, по его мнению, факт некоторого ослабления сейсмической активности западных участков по сравнению с Шемахинским районом. Я уже отмечал, что на мой взгляд, больше оснований приписывать высокую сейсмичность Шемахинского района тому обстоятельству, что здесь пересекаются два важнейших линеамента Кавказа: "Восточный" и "Южный".

Вообще значение этого фактора — перестройки структурного плана — настойчиво подчеркивал А.А. Сорский, утверждая, что большая сейсмичность свойственна областям активной перестройки тектонического плана.

Связь землетрясений описываемой полосы со структурами контакта Большого Кавказа и прилегающих к нему с юга впадин отмечается многими исследователями. Так, Е.Е. Милановский и В.Е. Хаин [669], полагая, что очаги землетрясений лежат здесь на глубинах менее 10 км, подчеркивают их связь с продольными разрывами. Действительно, скажем, Варташенское землетрясение 1953 г. обладало очагом глубиной около 5 км; то же и в 1972 г. Это так, но поскольку геодинамическая ситуация здесь характеризуется крупными масштабами, столкновением таких массивов, как мегантиклинорий Большого Кавказа, с одной стороны, и серия межгорных закавказских депрессий — с другой, с осложнением контакта глубинным разломом, то появление здесь более глубоких очагов и более сложных сейсмотектонических связей очень вероятно. Напомню, что очаг Закатальского землетрясения 1936 г. лежит на глубине около 20 км, Бежтинского 1974 г. — 23 км, Закатальского ("Дагестанского" 1948 г. — его лучше бы именовать Южно-Дагестанским) — до 50 км.

Последнее землетрясение представляет особый случай, ибо его очаг лежит за пределами коры, в верхней мантии (по [642, с. 71]  $h = 60$  км, по [31, с. 129]  $h = 48$  км) и к

тому же несколько в стороне от описываемой зоны (севернее), но все же тяготеет к ней; если учесть, что тектонические нарушения контактной зоны (крылья складок, сместители разрывов) обладают северным падением, то смещение очага Дагестанского землетрясения к северу не будет неожиданным и может свидетельствовать о северном падении (около  $70^\circ$ ) шовной зоны.

В западной части зоны № 12, т. е. в очагах Телавской группы, тектоническая обстановка подобна другим отрезкам зоны, но разница заключается в том, что здесь, в западной части, складчатые сооружения Малого Кавказа подходят к Главному Кавказскому хребту наиболее близко, и здесь, в дополнение к вертикальной составляющей движений, присоединяется заметным образом горизонтальная.

В.Г. Папалашвили и И.С. Иоселиани затрагивают некоторые методические вопросы общего характера. Описывая Мташветское 1951 г. и Варташенское 1953 г. землетрясения, авторы констатируют: "Как известно, установление связи между распределением очагов землетрясений и особенностями геологического строения района в основном осуществляется путем сопоставления карт эпицентров с элементами тектоники исследуемого района" [692, с. 124]. И далее: "... сопоставление этих карт... показало существование определенной связи между распределением очагов землетрясений с геологическим строением района" (с. 126), "... проявление активной сейсмической деятельности приурочено к районам современных тектонических движений" — вывод, может быть, и не оригинальный, но правильный; в той же формулировке он изложен в работе тех же авторов в 1958 г.

Большой интерес представляют исследования А.А. Никонова (1983 г.) относительно землетрясения 17.12.1667. Автор, используя различные первоисточники эпистолярного, эпиграфического, описательно-мемуарного характера, собрал много сведений об эффекте землетрясения и пришел к выводу, что оно было сильнейшим на Большом Кавказе ( $I_0 = 10$  баллов,  $M = 8,1$ ). Дата землетрясения — 14.01.1668 (но не 17.12.1667, как полагал Л. Лавров [636]). Плейстосейсовая область вытянута в северо-западном направлении, область распространения ощутимых колебаний — вся территория Восточного Кавказа. Поэтому А.А. Никонов предлагает называть землетрясение на Мышлешском, а Восточно-Кавказским. Глубина очага — около 60 км. Очаговая область землетрясения, как полагает А.А. Никонов, связана с продольными структурами восточной части Главного Кавказского хребта на протяжении от Лагодехи до Шемахи.

Замечу, что указанная и вычерченная А.А. Никоновым "очаговая область" близко отвечает нашей сеймотектонической зоне № 12, а эпицентр, указанный А.А. Никоновым, лежит близ пос. Шеки, на северной границе сеймотектонической зоны № 14, в ее контакте с сеймотектонической зоной № 7. Я думаю, что именно так и нужно интерпретировать это землетрясение, может быть несколько уменьшив значения для  $M$  и  $I_0$ .

Так или иначе землетрясение действительно принадлежит к сильнейшим на Кавказе. Такие катастрофы встречаются один раз за много сотен или даже тысяч лет. Известное землетрясение в Дургелине 14.07.77 было гораздо слабее:  $I_0 = 6$  баллов,  $M = 5,0$ .

В целом, я полагаю, что есть все основания выделять в качестве определенной сеймотектонической единицы зону № 12 — зону контакта Восточного антиклинория с прилегающими к югу депрессиями — и считать эту зону на всем ее протяжении потенциально способной на продуцирование землетрясений с  $M$  до 6,0 (т.е. с  $I_0$  до 8 баллов), а может быть, в редких случаях, более сильных.

*Сеймотектоническая зона № 13 — "Апшеронская периклиналь"*, мегантиклинорий Большого Кавказа, Восточный антиклинорий, Апшеронская (Бакинская) периклиналь,  $N_m < 1 \cdot 10^{-3}$  Дж/( $m^3 \cdot год$ ).

Здесь, в пределах Апшеронской (Бакинской) периклинали (сеймотектоническая зона № 13) Восточного антиклинория Большого Кавказа, в противоположность Таманской периклинали (сеймотектоническая зона № 5) сильные землетрясения с  $M \geq 5,0$  неизвестны.

Среди более слабых ( $M$  от 4,0 до 4,9) в нашем столетии известно три землетрясения: 2.01.42 ( $M = 4,3$ ,  $I_0 = 8$  баллов); 12.12.59 ( $M = 4,1$ ,  $I_0 = 6-7$  баллов); 17.12.61 ( $M = 4,2$ ,  $I_0 = 6$  баллов) — соответственно в пос. Маштага, г. Сумгаит и г. Мардары. Глубина очагов от 3 до 6 км. Толчков с  $M < 4,0$  известно немало. Можно упомянуть о заметных землетрясениях 1878, 1910, 1911, 1938, 1958, 1959 гг.

Правда, имеются и другие мнения. Так, В.К. Епишин говорит, что "Апшеронский полуостров относится к сейсмически активным территориям. За последние 135 лет

(с 1830 по 1965 г.) зарегистрировано более 50 землетрясений, из которых более 10 имели интенсивность 6—8 баллов (магнитуды 4—6, 2)'' (с. 55). Это, вероятно, так, но эпицентры этих землетрясений, в том числе 18.09.61 ( $M = 6,6$  по [31]), не имели непосредственного отношения к Апшеронскому полуострову и располагались в стороне от последнего.

В чем же причина относительно невысокой сейсмической активности Апшеронского полуострова? У меня нет пока достаточно убедительных объяснений.

Может быть, причину нужно искать в том, что Апшеронский полуостров не является в строгом смысле слова периклиналью Большого Кавказа. Восточным продолжением Восточного антиклинория служит система складок в юрских, меловых и третичных отложениях в береговой полосе от пос. Яшма до пос. Дивичи. Другими словами ось антиклинория проходит через Сиазань и далее по морю на юго-восток, так что Апшеронский полуостров оказывается на южном крыле погребенной структуры, т. е. несколько в стороне от оси антиклинория, а на северном окажутся упомянутые выше эпицентры землетрясений, в том числе 8-балльное (?) в Маштагах и другие, ощущавшиеся на северном побережье Апшеронского полуострова. "Тот факт, что центральному поднятию Юго-Восточного Кавказа в пределах Апшеронской области отвечает участок, расположенный в Северо-Апшеронской акватории, не может вызывать сомнения" [481, с. 92]. Напомню, что М.Г. Агабеков говорил о миграции сводов альпийских складок на юго-восточном Кавказе в южном направлении.

Обо всем этом я говорю недостаточно уверенно, и проблема дефицита сейсмической активности Апшеронского полуострова, с его интенсивными складчатыми и многочисленными разрывными нарушениями в неогеновых отложениях ожидает, очевидно, дальнейших исследований.

Литература о землетрясениях Апшеронского полуострова довольно обширна. Описаны отдельные землетрясения: 23.02.38, 28.11.58, 17.12.61, 26.03.62; рассматриваются общие вопросы: сейсмический режим, сейсмотектоника, сейсмическое районирование и микрорайонирование, сейсмическая статистика, неотектоника и т. п. Среди авторов этих исследований такие ученые, как М.Г. Агабеков, Р.А. Агамирзоев, Г.И. Аксенович, С.Е. Башинджагян, В.А. Горин, В.А. Каспаров, В.П. Кузнецов, Ф.Т. Кулиев, В.Г. Папашвили, Ш.С. Рагимов, В.А. Растворова, Р.Г. Султанов, З.З. Султанова и др.

Так, Ф.Т. Кулиев предлагает схему сейсмического районирования территории полуострова, причем по северному побережью проводит 8-балльную зону. "Широтная ориентировка 8-балльной зоны объясняется большим поглощением сейсмической энергии в меридиональном направлении, чем в широтном... Некоторую экранирующую роль, по-видимому, играет крупный тектонический разрыв близширотного направления, проходящий несколько южнее селений Пиршаги и Маштаги" [631, с. 79].

Как в этой обстановке охарактеризовать потенциальную сейсмичность территории столицы республики г. Баку? На сейсмических картах Ф. Мотнеску де Баллора [944], А. Зиберга [965], Е.И. Бюса, А.И. Михалевского и на некоторых других, более новых, Апшеронский полуостров, а с ним вместе и Баку выделены в качестве самостоятельных сейсмических районов с интенсивностью землетрясений до 7—8 баллов. В 1842 г. действительно в районе Маштаги (к северо-востоку от Баку) ощущалось землетрясение, разрушившее это селение, в связи с чем его силу определяют в 7—8 баллов. Геологическая обстановка в окрестностях с. Маштаги и самого Баку принципиальных различий не имеет. В обоих случаях, как и на всем Апшеронском полуострове, тектоническими движениями охвачены самые верхние горизонты осадочной толщи, вплоть до четвертичных. Л.А. Варданян считал, что очаги Апшеронского полуострова находятся частью в связи с очагами Шахдага, частью — с очагами Шемахинской группы, полагая, что весь район между Баку и Шемахой может оказаться потенциально сейсмичным.

Совещание по сейсморайонированию Баку и Апшеронского полуострова, созванное Академией наук СССР, Академией наук АзССР и Азербайджанским отделением ВНИТО строителей 21—25 октября 1949 г. обсуждало вопрос о цифре сейсмической балльности для Баку во всех деталях. В итоге было решено отнести территорию Баку, а также всего Апшеронского полуострова к 7-балльной сейсмической зоне. В монографии [304] это решение подтверждено. Я полагаю, что это правильное решение, и следует лишь провести сейсмическое микрорайонирование для территории города. Эта работа в первом приближении была выполнена С.Е. Башинджагяном в 1957 г.

Интересной особенностью Апшеронского полуострова, связанных с ним островов,

а также всего Кобыстана и некоторых других мест низовьев Куры служит наличие грязевых (газонефтяных) сопок и возникающих в связи с ними грязевых и газовых извержений. Многие из них, если не все, сопровождаются заметными колебаниями почвы в данном случае именно такого происхождения: в 1926 г. на о-ве Глиняном; в 1927 и 1928 гг. на о-ве Кумань; в 1932 г. на о-ве Свином; даже в самом Баку, например 28.11.58.

Одна из последних работа принадлежит В.К. Епишину [591], предпринявшему попытку связать сейсмические проявления на полуострове с особенностями его современных тектонических движений. Автор рассмотрел террасовые ряды полуострова, вычислил скорости новейших движений для хазарских, хвалынских, каспийских этапов, оценил максимальную скорость опусканий за это время (на территории Баку — до 1,5 мм/год) и нашел, что субширотная (кавказская) ориентировка предыдущих этапов тектонических структур заменяется в новейшее время наложенным меридиональным (каспийским) простираем новейших структур; автор выделяет сейсмические зоны: Маштагинскую, Бакинскую, Сураханную и показывает, что они приурочены к местам пересечения палеоген-миоценовых "кавказских" структур и плиоцен-четвертичных "каспийских". Для всех трех пересечений характерно высокое значение градиентов скорости современных тектонических движений. Автор далек от категорических утверждений и проявляет необходимую осторожность в выводах.

Траектория сейсмического луча на пути последнего от очага к поверхности испытывает искажения, вызванные анизотропностью среды (состав, строение). Вопрос этот, осложняющий задачу установления местоположения гипоцентра, рассмотрен И.В. Айвазовым, Е.Ф. Саваренским и др.

### В. Межгорные впадины Закавказья

*Сейсмотектоническая зона № 14 — "Рионская", Закавказские межгорные впадины, Западное Закавказье,  $N_m < 1 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Система Закавказских межгорных депрессий, именно Рионской (Колхидской) и Куринской (с включением в ее состав Картлийской, Агрчайской, Алазанской и других частных впадин) может служить типичным примером того общего положения, согласно которому крупные тектонические впадины альпийского возраста в сейсмическом отношении, как правило, менее опасны, чем окружающие их зоны поднятий. Объяснение тому можно видеть в меньшей амплитуде и меньшей скорости новейших вертикальных движений, не только в относительном, но и абсолютном смысле; в более слабом выражении тектонических дислокаций и меньшей их дифференциации, чем в соседних горных участках, в сравнительно пассивной роли, которую играют впадины в развитии орогенного рельефа на фоне воздымающейся страны, с тем, что основная доля активности в реализации всех типов эндогенных процессов принадлежит воздымающимся структурам (см. [479]). Я далек от мысли придавать межгорным впадинам черты "глыб" или "срединных массивов"; впадины — такие же неперенные элементы альпийской и новейшей складчатости, как и области поднятий, но интенсивность проявления эндогенных сил во впадинах ослаблена по сравнению с поднятиями.

Подобное понимание тектонической роли межгорных депрессий объясняет их слабую сейсмическую активность; последняя проявляется в основном по периферии впадин, в зоне их контакта с соседними воздымающимися участками. Так можно интерпретировать землетрясение 1957 г. в пос. Гегечкори с очагами в пределах северной границы Рионской впадины или землетрясения 1959 г. в г. Кобулету в пределах южной границы.

Нельзя отрицать возможности появления более слабых подземных толчков ( $M < 5,0$ ) и в пределах самой Рионской депрессии. Геологическая обстановка здесь вовсе не совершенно спокойная. Так, ряд складчатых и даже разрывных нарушений описывал здесь Г.М. Прангшвили [702]; основываясь на материалах сейсмической разведки, Е.К. Вахания [549] говорил о "многоэтажном", "дисгармоничном" строении Колхидской низменности, с "локальными складками", которые затухают с глубиной.

Конкретная геологическая обстановка возникновения возможных здесь землетрясений даже при мелком заложении очагов с трудом поддается расшифровке, поскольку строение недр скрыто, как правило, мощным чехлом новейших осадочных отложений.

В принципе подобная ситуация характерна не только для Рионской, но и для Куринской депрессии.

*Сейсмотектоническая зона № 15 — "Дзирульская",* Закавказские межгорные впадины (расположенные между мегантиклинориями Большого и Малого Кавказа),  $N_m < 1 \cdot 10^{-3}$  Дж/ (м<sup>3</sup> · год).

Дзирульский массив, в пределах которого выведены на поверхность протерозойские и палеозойские породы, разделяет собой межгорные депрессии Рионскую и Куринскую и представляет собой их относительно поднятый и выведенный на поверхность фундамент. Впрочем его можно рассматривать и как часть Западного антиклинория Большого Кавказа, именно его южного крыла, с общим для Большого Кавказа палеозойским кристаллическим фундаментом и с теми же фациями юрских отложений, которые развиты западнее в Окрибском поднятии и в Гагринско-Джавской зоне. Другими словами, Дзирульский массив правомерно рассматривать в качестве юго-восточного продолжения сейсмотектонической зоны № 4, хотя более рациональной представляется традиционная точка зрения — принадлежность массива к полосе Закавказских межгорных депрессий. По периферии массива, особенно по юго-западному и юго-восточному его краям, фиксированы различные по масштабу и формам проявления разрывы.

Площадь, занятая массивом, содержит меньше эпицентров землетрясений, чем можно было бы ожидать.

Близ северного края массива зарегистрированы 7-балльные толчки 10.12.08 близ г. Ткибули с  $M = 4,8$  и 26.09.40 в г. Амбролаури с  $M = 3,5$ . Глубина очага в обоих случаях была, по всей видимости, невелика: для Амбролаурского землетрясения — всего 2–3 км (по [31] — 2,2 км). Неинструментальная статистика содержит для этого района с середины прошлого столетия сведения о нескольких десятках подземных толчков, в том числе в г. Они около 30.

Землетрясение 1908 г. в г. Ткибули явно тяготеет к южной части Окрибского поднятия, где последнее приходит в соприкосновение с Дзирульским массивом и по контакту развивается наложенная Чиатурская впадина — крайняя восточная часть Колхидской депрессии. Что же касается землетрясений в Амбролаури и Они, то они связаны с подвижками, которые испытывает узкий Лечхумский синклиорий — замечательная субширотная структура, выполненная меловыми, палеогеновыми и неогеновыми отложениями, разбитая многочисленными разрывами и зажатая между приподнятыми участками сплошного развития юрских отложений в Окрибском поднятии, Дзирульском массиве и Лечхумском хребте. Л.А. Вardanянц [546] относил землетрясения в Они к обособленному очагу, связанному с "существованием продольных дислокаций". Указание на продольные дислокации, относящиеся, очевидно, к Лечхумскому синклиорию, надо считать правильным; что же касается мнения о том, что Онийский очаг оказывается обособленным, то мнение это разделить трудно и правильнее говорить о сплошной полосе субширотных сейсмогенных дислокаций, отвечающих Лечхумскому синклиорию и связывающих сейсмические очаги Они и Амбролаури. Именно этот участок, может быть, целесообразнее считать принадлежащим сейсмотектонической зоне № 4.

Наиболее интенсивной сейсмической деятельностью должны бы отличаться южный и восточный края Дзирульского массива — его южный край, соприкасающийся с Аджаро-Триалетской складчатой системой, системой совсем иного строения, истории и режима, чем массив собственно, и восточный, соответствующий одной из основных поперечных сейсмотектонических линий Кавказа, именно Транскавказскому сейсмотектоническому линеamentу. Однако до настоящего момента эти районы не проявили себя в сейсмическом отношении сколько-нибудь ярко. В недалеком будущем, вероятно, следует ожидать сильных землетрясений в этом месте, т.е. в районе г. Зестафони, г. Боржоми, пос. Сурами, г. Хашури, г. Цхинвали, пос. Джава.

Вопросы сейсмотектоники Дзирульского массива рассмотрены О.М. Майсурадзе и Т.М. Лебедевой. Авторы несколько иначе оценивают сейсмичность зоны, чем это представляется мне, отмечая, что "для зоны поднятия Дзирульского массива характерны многочисленность и значительная интенсивность землетрясений" [657, с. 188]. Действительно, карта из работы [657] как будто подтверждает этот вывод, хотя, надо сказать, многие из здешних землетрясений носят характер очень слабых толчков, а некоторые, особенно в горно-рудном районе Ткибули, являются просто горными ударами в шахтах. В статье рассматриваются в деталях особенности землетрясений в нескольких "подзонах": в Ткибульском районе, в восточной части зоны (Мухрано-Тирифон-

ская, Гаре-Кахетинская подзоны). Авторы правильно отмечают, что здесь наблюдаются "сейсмические явления поверхностного характера ( $h = 0 \div 10$  км), связанные со складчатой структурой верхнего слоя земной коры" (с. 188), но местами выделяются участки и более глубокого заложения гипоцентров, особенно так называемая "сейсмотектоническая полоса III<sub>2</sub>", где  $h \approx 35$  км. И всюду авторы пытаются найти, конечно, сейсмогенные разрывы. Так, разрез последней "полосы" "показывает", что проходящая здесь (сейсмогенная) плоскость тектонического разрыва достигает глубины 30–35 км" (с. 182), и дается ссылка на разрез "сейсмических элементов". Непредвзято рассматривая этот разрез, никак нельзя обнаружить в нем какую-либо крутую плоскость "разрыва". То же касается и других разрезов.

Иное мнение раньше высказывал М.М. Рубинштейн. Автор, говоря о глубинном происхождении землетрясений, об опасностях, которые подстерегают исследователя при попытках связать землетрясения с поверхностными структурами, замечает: "Не может быть случайным то обстоятельство, что на всех выходах древнего кристаллического субстрата, и в частности Дзирульского кристаллического массива, почти полностью отсутствуют эпицентры, и объяснить это, вероятно, не столь уж сложно" [724, с. 194]. Да, здесь меньше землетрясений, чем можно бы ожидать, но выяснение причины этого явления будем ждать от будущих исследователей.

*Сейсмотектоническая зона № 16 – "Куринская", Закавказские межгорные впадины, Восточное Закавказье,  $N_m \approx 3 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год).*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800–1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
22.09.1896	41,6	45,2	18	5,2	7	Рустави
16.02.02	40,2	47,4	32	5,2	5–6	Акджабеди

Куринская депрессия, заключенная между основными оротектоническими элементами Кавказа, мегантиклинориями Большого и Малого Кавказа, занимает обширную площадь. Она выполнена кайнозойскими отложениями большой мощности и в тектоническом смысле относится к верхнему структурному этажу миогеосинклинальной зоны. По ее периферии как с севера, так и с юга проходят линии крупных глубинных разломов: "Южного" и "Прикуринского". Большое количество складок, осложненных продольными разрывами, отмечается в западной части депрессии, где она расчленяется на ряд второстепенных впадин: Картлийская (иногда говорят Карталинская), Алазанская, Мирзаанская, Караязско-Евлахская. Вся восточная часть известна под наименованием собственно Куринской впадины, но и здесь выделяется в ее пределах Нижне-Араксинский прогиб и своеобразно построенная Кобыстан-Апшеронская зона, а также погребенное поднятие, так называемый "Курдамирский мост", который мы выделяем в виде отдельной сейсмотектонической зоны № 17.

"В структурном отношении Куринская впадина по кайнозойскому комплексу представляет собой наложенный мегасинклиниорий", состоящий, в свою очередь, из различных структурных элементов – синклинириев II порядка: Верхнекуринского, Среднекуринского и Нижнекуринского [117, с. 30].

Интенсивные (относительно! – Г.Г.) складкообразовательные движения в Куринской депрессии, особенно в Среднекуринском прогибе, отмечаются в плиоцене и антропогене, когда четвертичные отложения были "смяты в целый ряд крутых складок и разорваны надвигами" [480, с. 53]. Многие авторы указывают на пересечение тектонических нарушений в пределах впадины – общекавказских, с одной стороны (СЗ–ЮВ), и субмеридиональных – с другой, в чем можно видеть отражение как СЗ–ЮВ простирающийся мегантиклинория Большого Кавказа, так и субмеридиональной впадины Каспийского моря.

Новейшие движения характеризуются отрицательным знаком, и погружение в восточной части достигает максимальных для Кавказа значений [610]. Карта новейших движений [117, с. 38] показывает, что в долготном направлении впадина делится на две, резко отличающиеся одна от другой части: северо-восточную и юго-западную, в пределах которых значительной дифференциации достигают новейшие движения в первой по сравнению со второй, если судить по изобазам новейших толщ. Так, Д.М. Данилевская [Там же, с. 101] отмечала, что неотектонические движения в Нижнекуринской области (в ее северной части. – Г.Г.) "проявлялись крайне дифференцированно в различные периоды формирования складчатых структур, что послужило в основном причиной

весьма различной дислоцированности антиклинальных складок", что, заметим в свою очередь, обусловило появление многочисленных, хотя и несильных землетрясений, а также и грязевых извержений.

Сейсмичность территории депрессии в целом невысока. Удельная сейсмическая мощность на площади депрессии, как правило, не превышает значений  $10^{-2}$  единиц. В этом отношении Куринская депрессия не составляет исключения среди других аналогичных ей структур. На обширной площади этой огромной депрессии землетрясения отмечались преимущественно по периферии, по границам с обрамляющими депрессию хребтами — Большим Кавказом на севере, Малым — на юге. К северной шовной зоне тяготеют землетрясения, отмеченные при рассмотрении зоны № 12; к южной шовной зоне — при описании некоторых землетрясений зоны № 19.

М.М. Раджабов и соавторы констатируют, что "Куринская межгорная впадина — одна из сейсмических областей Кавказского региона" [704, с. 131]. Но одновременно они отмечают, что "сейсмичность впадины по сравнению с прилегающими областями мегантиклинория Малого и Большого Кавказа отличается меньшей активностью" [Там же].

Эпицентр землетрясения 19.01.07 лежал близ восточного периклинального окончания Чатлинского поднятия, разделяющего собой Мирзаанскую и Караязско-Евлахскую впадины. Чатлинское поднятие осложнено рядом надвигов того же, СЗ—ЮВ, простирания. Казалось бы естественным — по традиции — связывать данное землетрясение с одним из этих надвигов, но картина может быть сложнее. Дело в том, что область распространения ощутимых колебаний была в этом случае весьма велика — 125 тыс. км<sup>2</sup> и соответственно глубина очага оценивается приблизительно в 28 км [31, с. 96]. Последняя цифра, может быть, завышена, но факт широкого распространения колебаний при относительно невысокой балльности ( $I_0 = 6 \div 7$  баллов) заставляет связывать этот толчок со структурами сравнительно глубокого заложения, т.е. с кристаллической частью коры. Чатлинское поднятие с его складчатыми и разрывными нарушениями может отмечать собой границу блоков, которым отвечают Мирзаанская и Караязско-Евлахская впадины и контакт между которыми в тектоническом отношении наиболее активен.

Проще решается вопрос о землетрясении 14.05.27 в Бодакенде. Его очаг лежит на глубине 13 км [31, с. 110], а эпицентр расположен вблизи юго-восточного окончания узкого Кахетинского антиклинория. В этом случае есть все основания связывать подземный толчок с активностью Кахетинского антиклинория.

Не сомневаюсь, что при достаточно внимательном изучении эпицентральной зоны признаки подвижек в пределах хотя бы части структур можно было бы обнаружить на дневной поверхности.

Западным окончанием Куринской депрессии должна считаться Картлийская впадина, отделенная от Алазанской небольшим по масштабу уже упоминавшимся Кахетинским антиклинорием. В контакте Картлийской впадины с мегантиклинорием Большого Кавказа располагается сложно построенная складчатая система с многочисленными продольными складками в толщах меловых отложений и обилием разрывных нарушений, среди которых преобладают пологие надвиги (вплоть до небольших покровов). Тектонические движения отличаются здесь большой дифференциацией, и зона контакта с мегантиклинорием выражена резко.

В противоречии с этой обстановкой находится видимое отсутствие эпицентров сильных землетрясений вдоль северного борта Картлийской впадины. Детальный же анализ показывает, что очаги землетрясений, которые "не только ощущаются, но даже вызывают разрушения, приурочены к ее (Гори-Мухранской или Картлийской впадины. — Г.Г.) северным и южным границам" [756, с. 167]. В частности, у южной границы впадины, в районе Гори, было отмечено в 1920 г. разрушительное землетрясение, которое, вероятно, нужно относить к активности Аджаро-Триалетской складчатой зоны. Я полагаю, что отсутствие эпицентров в зоне северного борта Картлийской впадины следует приписать пробелам хроники сейсмических событий или случайным флюктуациям сейсмического режима во времени, и не будет неожиданным появление здесь сильных землетрясений в ближайшем будущем.

Вопрос о тектонической природе Картлийской впадины (равнины) специально рассматривался М.С. Иоселиани, который пришел к тому выводу, что "осадочные структуры Внутренне-Картлийской равнины имеют спокойное тектоническое строение,

что является показателем расположения района на жестком субстрате" [593, с. 528]. Эпицентров землетрясений на равнине не обнаружено, но их фиксировано немало по периферии впадины, в том числе известное землетрясение 20.02. 20 в Гори; последнее расположено "на граничной полосе между складчатой системой Аджаро-Триалета и Картлийской равнины" (с. 529).

Некоторую активность проявляет северо-западное окончание Куринской впадины, где сгущаются и становятся более резкими складки в третичных отложениях. К Картлийской впадине относится не очень достоверный случай 8-балльного землетрясения 1318 г. в г. Мцхете близ Тбилиси.

К западным частям впадины относится Хашмское землетрясение 17.06.67 [505]. Отсюда уже недалеко и до Тбилиси. Сведений о геологии в последней статье нет, автор ограничивается указанием лишь на то, что очаг землетрясения был неглубоким ( $h = 7$  км), интенсивность невелика ( $I_0 = 6$  баллов). Аналогичное землетрясение 22.01.53 обладало эпицентром, который "был приурочен к тектоническим движениям по Джава-Хашминскому надвигу" [734]. Авторы последней статьи сообщают: "К северу от селения Хашми проходит так называемый Джава-Хашминский надвиг. Нарушение пересекает ось антиклинальной складки, сильно сжатой и опрокинутой на юг. Северное крыло надвинуто на южное, надвиг небольшой амплитуды... Эпицентр Хашминского землетрясения находится непосредственно в зоне надвига и, следовательно, данное землетрясение можно рассматривать как продолжение тектонических движений по данному нарушению..." (с. 162). Авторы не замечают, по-видимому, некоторой логической погрешности в своих рассуждениях. Значит, очаг землетрясения находится "в зоне надвига"; строго говоря, было бы логичнее и правильнее по существу с этой "зоной" землетрясение и связывать, т.е. с одной из частей той антиклинали. Что касается роли Лагич-Кызылагачского разрыва в качестве экрана для сейсмических волн, испытывающих при прохождении зоны разрыва искажение своей траектории, то с заключением авторов можно согласиться. Параметры землетрясения: координаты  $41,8^\circ$  с.ш.,  $45,1^\circ$  в.д.,  $h = 5$  км,  $M = 3,6$ ,  $I_0 = 6$  баллов.

В некоторых случаях землетрясения возникали в очагах, связанных со структурами собственно впадины, хотя и в этих случаях влияние контактных зон никак исключить нельзя. Это относится к землетрясениям: 22.09.1896 близ г. Рустави с  $M = 5,2$ ; 16.02.02 близ Агджабеди с  $M = 5,2$ ; 12.10.62 близ Тауза с  $M = 4,2$ ; 24.08.65 близ г. Сальяны. Землетрясения эти имели мелкие очаги. Известно много более слабых толчков, их много на всем Кавказе, в данной книге они не отмечены. Типичным можно считать землетрясение 1962 г. в Таузе с  $h < 10$  км и очень малой плейстоценовой областью (при  $I_0$ , может быть, до 8 баллов). В 1819 г. отмечено 7-балльное землетрясение в Хачети.

Одна из последних сводок по вопросу с сейсмичности Азербайджана в целом и территории значительной части нашей зоны № 16 [633]. Здесь использован обширный фактический материал и много внимания уделяется вопросам геологии. К сожалению, геологическая часть воспринимается с трудом из-за своеобразного порядка изложения материала.

Специфическая особенность сейсмического режима Куринской депрессии состоит в возможности возникновения здесь, именно в восточной части впадины, особого рода колебаний Земли, связанных с деятельностью грязевых сопок.

Сеймотектоническая зона № 17 — "Кюрдамирская", Закавказские межгорные впадины, Восточное Закавказье,  $N_m \approx 200 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год).

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
19.12.1862	39,7	47,9	25	5,9	7	Бармай
19.12.1869	39,9	48,3	33	5,2	5—6	Саатлы
23.06.11	40,0	48,0	18	5,0	6—7	Имишли
16.04.13	39,1	48,6	12	5,1	7	Масаллы
14.05.16	40,0	48,1	30	5,0	6	Мюрсали
19.02.24	39,4	48,6	75	6,6	7	Пушкино
29.10.34.	39,9	47,8	30	5,7	6—7	Сабирабад
3.02.76	40,2	48,5	—	5,0	—	Имишли
27.07.76	40,1	48,6	—	5,0	—	Мугань

Сейсмотектоническая подзона № 17а — "Ардебильская", фрагмент сейсмотектонической зоны № 17,  $N_m = 716 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год).

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
13.05.1860	39,4	47,8	35	5,2	5-6	Ардебиль
28.02.1861	39,4	47,8	35	5,6	6	"
24.05.1861	39,4	47,5	32	6,2	7	"
30.12.1863	38,5	48,0	30	5,8	6-7	"
22.03.1879	39,2	47,6	11	6,5	9	"
1.10.1896	39,5	47,6	25	5,2	6	"
5.09.02	39,5	48,0	20	5,0	6	"
* 4.12.10	39,3	48,0	37	5,4	7	"
5.07.31	39,3	47,8	60	5,3	6	"

Одно из ранних и притом достаточно убедительное описание тех особенностей строения восточной части Куринской депрессии, которые наводят на мысль о существовании "Кюрдамирского моста", главным образом по данным гравиметрии, дается в статье М.С. Абакелия. Автор приходит к выводу о том, что "Кюрдамирский гравитационный хребет рассекает Куринскую депрессию на две части и соединяет между собой горные сооружения Большого и Малого Кавказа у западных берегов Каспийского моря, на месте слияния Куры и Аракса" [477, с. 125]. Автор изображает границы этого погребенного "гравитационного хребта" (приблизительно по меридианам Геокчая и Шемахи), рис. 8.15.

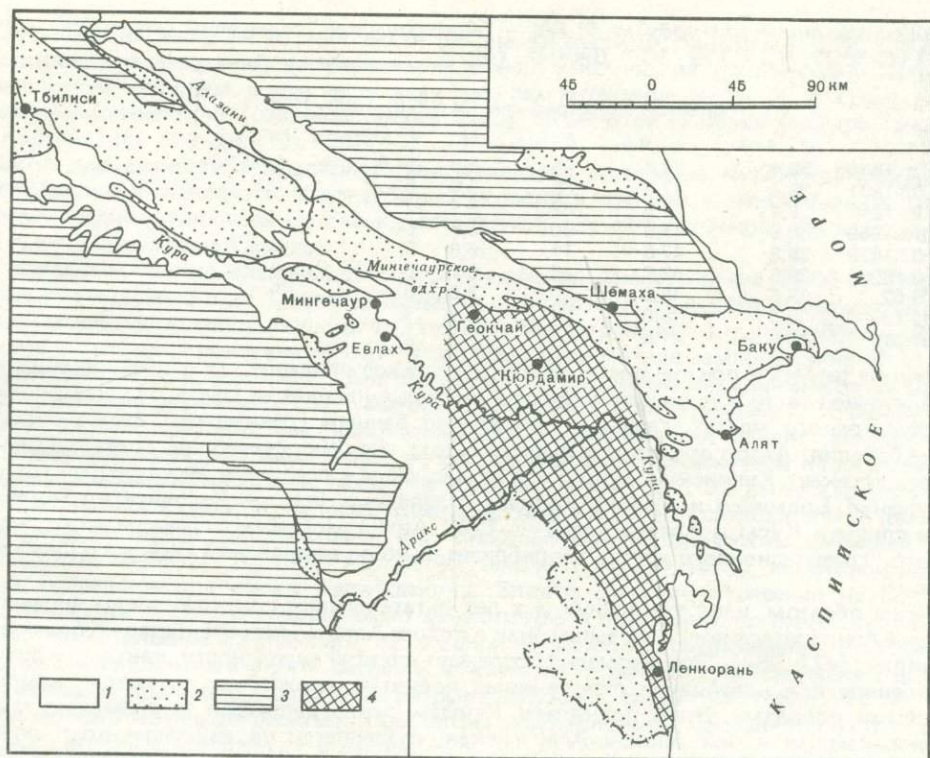
Таким образом, идея эта возникла в результате анализа гравитационных аномалий, которые приобретают положительный знак в полосе Астара—Астраханбазар—Кюрдамир—Исмаиллы [477, 553]. Эта аномалия "отражает, по всей вероятности, какое-то крупное погребенное под новейшими отложениями поднятие, сложенное, возможно, кристаллическими породами. Этим поднятием Кюрдамирская депрессия, а возможно также и примыкающая к ней Алазано-Агричайская, разделяется на две части, восточную и западную" [747, с. 43]. Как писали А.М. Багдасарова и ее соавторы, "в пределах Куринской депрессии известны гравитационные аномалии, из которых положительная — "Кюрдамирский мост", расположенная в направлении Астара—Кюрдамир и затухающая в районе Исмаиллов, является одной из наиболее крупных и интересных... Эта аномалия отвечает, по-видимому, древнему поднятию кристаллического фундамента, разделяющего Куринскую депрессию на западную и восточную части" [508, с. 255].

Некоторые признаки погребенного субмеридионального выступа можно обнаружить при изучении рельефа палеозойского фундамента [512], т.е. изолиний мощности новейших толщ. Поверхность Мохоровичича здесь испытывает поднятие, хотя и не резко выраженное.

Одним из указаний на наличие "поперечного поднятия" может служить тот факт, что в междуречье рек Гердыманчая и Аксу существует приподнятый участок (в топографическом смысле), отделяющий Алазано-Агричайскую впадину от Шемахино-Кабристанского синклинория с выходами палеогеновых и меловых пород и обилием разрывов. Притом на пространстве от Кюрдамира до Куткашена по "ограниченному числу геофизических признаков" [610, с. 82] трассируется разрыв.

В работе [883] содержатся "структурные схемы" по подошве альпийского и герцинского комплексов, из которых с очевидностью явствует, что "очень плотные группы эпицентров" в обоих случаях следуют по полосе сгущения стратоизогипс, и в том числе в зоне "Кюрдамирского моста", который вырисовывается вполне отчетливо (с. 35—36).

Расположенный южнее гипотетического "Кюрдамирского моста" Талышско-Ардебильский антиклинорий (сейсмотектоническая зона № 196) представляет собой резко очерченный блок земной коры, ограниченный с севера и востока крупными разрывными нарушениями, а на юге переходящий в структуры мегантиклинория Эльбурса. Здесь, в пределах Азербайджана, западнее Ленкорани и Астары (Талышский хребет и его северо-восточные предгорья) развиты палеогеновые отложения, собранные в складки СЗ—ЮВ простирания, с сопутствующими им многочисленными надвигами. К побережью Каспийского моря эти складки подходят под острым углом и здесь круто обрываются по линии северо-северо-западного направления, отвечающей, надо полагать, крупному разлому или крупной флексуре, отделяющей приподнятые участки коры на западе от опущенных на востоке.



Р и с. 8.15. Кюрдамирский гравитационный хребет в Восточном Закавказье [477]  
 1 — четвертичные отложения; 2 — третичные образования; 3 — мезозойские образования; 4 — Кюрдамирский гравитационный хребет

Немаловажное для понимания тектонической природы Талыша обстоятельство отметил, опираясь на гравиметрические данные, Л.К. Татевосян в 1958 г.: максимальная величина силы тяжести в Талыше обуславливается малой мощностью толщи осадочных пород, наличием в их фундаменте плотного гранитного комплекса и приближением к дневной поверхности базальтового субстрата, глубина кровли которого оценивается в 4,0–4,5 км. Другими словами, действительно имеются геофизические признаки реальности структуры, носящей наименование "Кюрдамирский мост".

Другим намеком на наличие субмеридиональных тектонических структур в описываемом районе служит одновременность сейсмических ударов в разных местах этой полосы, что было отмечено М.Г. Агабековым, причем одна из таких полос, или "сейсмических зон одновременных землетрясений", проходит от Решта (Иран) через г. Ленкорань, г. Сальяны и г. Шемаху к г. Кубе [238, с. 31].

Еще давно, указывая на связь землетрясений Шемахи и Шуши, Н.В. Малиновский замечал, что "причина этой связи лежит не у поверхности, а значительно глубже" [659, с. 45].

Таким образом, мы имеем основание считать "Кюрдамирский мост" структурой довольно реальной. «Мост является одним из фрагментов восточного субмеридионального линеамента Кавказа, ему отвечает трасса "Восточного" глубинного разлома (на южном отрезке его иногда называют Кюрдамирским), он служит восточным ограничением Большого и Малого Кавказа, представляя собой важную ступень в поверхности Мохо, отделяющую поднятые участки коры Кавказа от опущенной Каспийской впадины (мощностью коры западнее разлома — 45 км); это "Западно-Каспийская зона разломов", как называет ее Б.Б. Григорьянц» [577, с. 262–273].

Вопрос о тектонической природе Восточного ограничения Талышского поднятия вызывал дискуссию [117, с. 42–43]: какова природа крутого склона предгорий Талыша (Алашар-Буроварский хребет), обращенного к Каспийскому морю? Сброс

с опущенным восточным крылом (Ленкоранская низменность)? Моноклираль с погружением всех слоев к востоку? Абразионно-тектонический уступ? Зона дробления вдоль глубинного разлома и зона наибольшей проницаемости коры? Скорее всего, и здесь нужно видеть проявление глыбовой тектоники с наличием уступа дизъюнктивного происхождения.

Новейшие движения на советской части антиклинория сильно дифференцированы, и намечается несколько участков северо-северо-западного направления и максимальных градиентов.

Соответственно повышенной сейсмической активностью отличается сам "Курдамирский мост" в пределах Азербайджана и продолжающие его структуры: Талыш и Ардебиль в Иране.

Выдающимся сейсмическим событием в этом регионе было Сабирабадское землетрясение 19.02.24, 8-балльная плейстосейстовая область которого занимала, по некоторым данным, огромную площадь ( $S_8 = 6$  тыс. км<sup>2</sup>). Магнитуда этого землетрясения также была уникальной ( $M = 6,6$ ), как и глубина очага ( $h = 75$  км). Судя по расположению изосейст, эпицентр землетрясения находился на территории Ирана, значительно западнее (почти на градус) того пункта, который указывается в [31, с. 107]. О причине такого расхождения трудно что-либо сказать; можно лишь предположить, что инструментальные данные в то время были далеки от совершенства. Эпицентр расположен, по всей видимости, в пределах поднятого участка антиклинория, который можно считать либо южным продолжением сейсмотектонической зоны № 17, либо юго-восточным продолжением сейсмотектонической зоны № 19.

Спадание интенсивности от эпицентра до изосейсты 7 баллов осуществляется очень медленно: расстояние между изосейстами 8 и 7 баллов в северо-восточном направлении — около 80 км, 7 и 6 баллов — 12 км, что свидетельствует "о большой площади сдвигающихся масс" [659]. Н.В. Малиновский отмечал, что плейстосейстовая область Сабирабадского землетрясения расположена на территории крупного блока земной коры, ограниченного двумя разломами. Один из них проходит в меридиональном направлении приблизительно от г. Шемахи через пос. Лагич на г. Ленкорань (именно его можно назвать Курдамирским), другой проходит западнее, по линии Куткашен—Геокчай—Карягино до широты г. Астары. Об этих разломах говорили ранее Ф.К. Освальд (1915 г.) и В.В. Богачев [516]. Разломы "ограничивают подземный горст, поперечный Куринскому грабену и скрытый под толщей мощных четвертичных отложений долины реки Куры... Нам кажется, что движения этого горста и являются причиной землетрясения 19.II.1924 г." [659, с. 47]. Автор данной книги согласен с мнением Н.В. Малиновского о том, что при данном землетрясении в движение были вовлечены крупные массы горных пород, что явилось непосредственным источником подземного удара. Большая глубина очага этого землетрясения ( $h = 75$  км) свидетельствует о том, что "корни" активного блока достигают больших глубин, опускаясь ниже подошвы коры, мощность которой оценивается в этом районе в 45 км.

С западной, противоположной, стороны Талыша расположен эпицентр землетрясения 24.05.1861 ( $M = 6,2$ ). Здесь также зафиксирован контакт между Талашским антиклинорием и Нижне-Араксинским грабеном, который заходит сюда узким языком из нижней части Куринской впадины. Зоне контакта отвечает серия пологих надвигов, падающих на юг. В теле грабена имеется много продольных складок в третичных отложениях.

Другое заметное землетрясение в данном регионе — 16.04.13 близ Ленкорани ( $I_0 = 7$  б.). Семибалльная зона вытянута в направлении от Ленкорани на северо-северо-запад в соответствии с такой же ориентировкой основного для данного района разлома (южная часть Курдамирского разлома и сопровождающих его складок). Другими словами, это землетрясение намечает собой восточную границу Талышско-Ардебильского антиклинория (так же, как и землетрясение 1963 г. в Ленкорани?)

С северными границами антиклинория нужно связывать ряд эпицентров землетрясений с  $M$  от 5 до 6 и более слабых.

Отметим, что вдоль северо-восточного ограничения Талышско-Ардебильского антиклинория градиенты скорости новейших вертикальных тектонических движений местами достигают максимальных значений, выражаясь узкими полосами северо-северо-западного направления. С одной из этих полос, наиболее южной, связано землетрясение 1913 г. Другие еще не нашли подтверждения в сейсмической статистике, но не будет

неожиданным, если здесь, в треугольнике Ленкорань—Сальяны—Астраханбазар, в будущем проявятся сильные землетрясения с неглубокими очагами.

Значительной концентрацией эпицентров землетрясений с  $M$  от 4,0 до 5,9 отличается район Имишли—Саатлы. Помимо отмеченных в списке землетрясений с  $M \geq 5,0$ , упомяну о более слабых, с  $M$  до 4,9, но привлечших внимание исследователей: 1959 г. — в Сабирабаде; 4.11.64 и 15.05.65 — в Имишли. В связи с последним отмечается, что “Лагич-Кызилагачский глубинный разлом по своему простираению неодинаково экранировал энергию землетрясения, что указывает, по-видимому, на различную глубину проникновения разлома...” [635, с. 39]. Да, подобная роль глубоких разломов вряд ли подлежит сомнению. И в данном случае эпицентр лежит западнее трассы разлома, поведение изосейст по обе стороны разлома совершенно различное, на что указывалось также теми же авторами в работе 1967 г.

Где-то здесь же лежит эпицентр Имишлинского землетрясения 3.02.76. “Макросейсмическое поле землетрясения” занимает площадь более 50 тыс. км<sup>2</sup>, располагаясь в пределах Кура-Араксинской низменности и смежных частей предгорной зоны Малого и Большого Кавказа. “Плейстоценовая область землетрясения вытянута в ЮЗ—СВ направлении, вдоль нижнего течения р. Аракса до слияния ее с Курой, что дает возможность предположить связь землетрясения с тектоническими подвижками по плоскости хорошо известного Араксинского глубинного разлома” [484, с. 139]. Я предпочитаю связывать это землетрясение с активностью западных частей массива “Кюрдамирского моста”; его эпицентр — 40,2° с.ш., 48,5° в.д.,  $M=5,0$ .

Несколько севернее этой группы лежит очаг не сильного, но подробно изученного Ахсу-Сыгырлинского землетрясения 24.06.68. Интенсивность его не превышала 5 баллов, но колебания ощущались на значительной площади. Сведения имеются более чем из 60 населенных пунктов.

Естественно связывать всю эту группу очагов с теми осложнениями тектонической обстановки, которые выражены здесь в существовании все того же Кюрдамирского моста. Эта связь тем более вероятна, что на поверхности здесь нет каких-либо деформаций, которые указывали бы на существование локальных нарушений в осадочной толще: в районе “моста” третичные отложения до глубины 3 км лежат почти горизонтально и “Кюрдамирское поднятие в структуре новейших образований совершенно не выражено” [508]. Да, основные процессы здесь протекают пока еще на глубине, и обстановка до некоторой степени напоминает ту, которая характеризует так называемый “Дагестанский клин” на севере Восточного линейamenta в зоне № 9; я имею в виду находящийся в зоне № 17 заметный погребенный выступ (я назвал бы его “погребенный Ардебильский клин”) в фундаменте, подстилающем новейшие толщи, особенно по изобате 4000 м (см. рис. 8.8). Аналогия усиливается присутствием здесь трассы Прикуринского глубинного разлома, рассекающего упомянутый выступ в северо-западном направлении; в условиях поля напряжений Кавказа ситуация выглядит, безусловно, опасной.

#### Г. Мегантиклинорий Малого Кавказа (Сейсмотектонические зоны № 18—24)

Если мегантиклинорий Большого Кавказа приходится считать в некотором смысле экзотической структурой, не укладывающейся, по-видимому, в ясную и последовательную цепь складчатых сооружений альпийского Европейско-Азиатского подвижного пояса (от Гибралтара до Индонезии), то мегантиклинорий Малого Кавказа представляет уже непосредственное звено северной ветви этого пояса, с его складчатыми сооружениями, вулканами и сейсмическими проявлениями.

Я выделяю на Малом Кавказе несколько различных по тектоническим характеристикам сейсмотектонических зон (№ 18—24), близких по своим очертаниям к одноименным тектоническим зонам. Предлагая такое районирование современной сейсмотектонической структуры Малого Кавказа, я, в сущности, отражаю идею о его блоковом строении, о которой не раз говорили исследователи его неотектонической природы.

Для Малого Кавказа, т.е. для междуречья Куры и Аракса, характерно “гетерогенное строение земной коры” [701], на фоне которого можно выделить блоки разных рангов, начиная с “мегарегиональных”. Вспоминается одна из статей сборника [117], именно статья Б.А. Антонова и Б.А. Будакова, которые считают, что Малый Кавказ “в неотектоническом отношении представляет собой сложную сводово-глыбовую струк-

туру, в пределах которой сводовое поднятие носит резко дифференциальный характер, что нашло свое отражение в наличии перемежающихся зон поднятий и относительных опусканий, отвечающих, в свою очередь, заложенным в конце мезозоя—начале палеогена древним антиклинориям и синклинориям... Зональное проявление новейших движений ... позволяет выделить сводово-глыбовые структуры второго порядка, характеризующиеся устойчивыми поднятиями как за новейший, так и за предшествующие этапы развития" (с. 41) — Мровдаг-Карабахское, Даралагез-Зангезурское поднятия и вулканическое нагорье, разделенные Севано-Акеринской и Арпа-Воротанской зонами преимущественных прогибаний. Кстати, в той же степени эти соображения относятся и к Большому Кавказу и, более того, к участкам коры вокруг Черного моря: "Обрамляющие Черноморскую впадину горные сооружения и передовые прогибы имеют блоковое строение. Это прекрасно можно видеть на примерах Кавказа, Крыма и юга Украины... Разломы имеют субмеридиональное, широтное, северо-восточное и северо-западное направления и разбивают земную кору на крупные и мелкие блоки, испытывающие относительные перемещения" (Н.И. Николаев в [117, с. 73]).

Территория Малого Кавказа содержит ряд весьма деятельных сейсмических очагов. Заметной активностью в этом отношении отличается полоса от Зангезура до Тriaлетского хребта, особенно в пределах сравнительно неширокой площади долготной протяженности, между меридианами  $43^{\circ}$  и  $45^{\circ}$  в.д. Здесь, в этой полосе, находились эпицентры 8-балльных землетрясений: Ахалкалакского, Ахалцыхского, Горийского, Ленинанканского, Амбролаурского, Табакурского. Здесь лежит подавляющее большинство эпицентров, фиксируемых сейсмическими станциями. Данная сейсмическая зона генетически должна быть увязана со структурами и движениями Мисхано-Зангезурского антиклинория. Этот антиклинорий, занимая центральное место во всей структуре мегантиклинория Малого Кавказа, с конца плиоцена испытывал сравнительно быстрое поднятие, сопровождающееся возникновением расколов и связанных с ними лавовых излияний; процесс сводообразного воздымания продолжается и поныне.

Что касается особой активности в сейсмическом отношении упомянутой полосы Ленинанкан—Гори, то в целях объяснения можно предложить несколько решений.

Прежде всего следует обратить внимание на резкий поворот простираний: от северо-западных в Армении к северо-восточным, азиатским, в Аджарии и Анатолии; подобные повороты альпийских складчатых зон, как уже отмечалось, всегда сопровождаются повышенной сейсмической активностью. Напомню об аналогичной ситуации, например в Карпатах, Копетдаге или на Памире, а также в Индии, в верховьях Брампутры, где Гималаи под резким углом поворачивают на юг, переходя в хр. Паткой. Исключительное по силе землетрясение в Восточных Гималаях 15.08.50 — лишнее тому доказательство.

Далее следует обратить внимание на то, что осевые линии Сомхето-Карабахского и Мисхано-Зангезурского антиклинориев, как указывал Л.Н. Леонтьев, вздымаются по направлению к северо-западу; в интересующей нас Ленинанкан-Горийской сейсмической области новейшие поднятия достигают максимума, доходя до 4000 м.

Наконец, не следует пренебрегать еще одной возможностью объяснения — наличием влияния каких-то меридиональных структур глобального масштаба в данном районе. Соображения общегеологического порядка, о которых частично уже говорилось, позволяют думать о существенном значении этого направления для тектоники Кавказа. Я называю это направление, или линеамент, Транскавказским. Значение этой гетерогенной долготной тектонической полосы вдоль меридиана  $44^{\circ}$  в.д. подчеркивали многие исследователи, видевшие признаки этой линии и далеко на севере, вплоть до Ергеней, и на юге, в Турции. В пределах этого линеамента располагается и Джавахетское нагорье, известное своими яркими сейсмическими проявлениями.

Другие сейсмические данные также показательны: поведение изосейст (меридиональная ориентировка) Ахалкалакского 31.12. 1899, Ленинанканского 22.10.26, Ахурянского 25.01.35, Табакурского 7.05.40 землетрясений — тому доказательство.

Итак, в нашем распоряжении по меньшей мере три пути для объяснения факта повышенной сейсмической активности Ленинанкан-Горийской сейсмической полосы. Добавлю, что особая тектоническая активность этой полосы — я предпочитаю говорить "линеамента" — иллюстрируется также интенсивным проявлением в недавнем прошлом вулканической деятельности.

Землетрясения Аджаро-Триалетской складчатой системы иногда оценивались в 6–7 баллов, но не выше, что представляется несколько странным. Геологическая обстановка здесь достаточно выразительна, чтобы найти себе адекватное выражение в сейсмичности. Свидетелями того будут, вероятно, следующие поколения.

Заметной сейсмической активностью отличается Араксинская впадина. Думаю, что следует различать, вообще говоря, межгорные и внутригорные тектонические депрессии, и в этом случае Араксинская впадина будет внутригорной, со складчатым фундаментом и складками в чехле новейших отложений. Мощность новейших отложений в случае сравнительно небольшой ширины впадины и при наличии местных нарушений, видимо, недостаточна, чтобы погасить энергию подземных ударов, которые здесь достигали иногда разрушительной силы.

Что касается прилегающих к Кавказу морей, то центральные, наиболее глубоководные части как Черного, так и Каспийского морей практически свободны от эпицентров. Последние не выходят за пределы полосы континентального склона. Исключение составляют лишь два участка: к северо-западу от Туапсе и к северо-востоку от Баку. В обоих случаях фиксированные эпицентры отвечают положению гипотетических погребенных структур, соответствующих западному и восточному продолжениям антиклинория Большого Кавказа. На этом основании можно наметить определенную тектоническую связь между Крымом и Кавказом, с одной стороны, и Кавказом и Большим Балханом — с другой. Центральные же части обоих бассейнов ведут себя в данный момент спокойно, отвечая понятию о каких-то стабильных, глубоко опущенных участках в системе окружающих их деятельных структур альпийской складчатой зоны. ("талассоиды" по А.В. Чекунову). Границы "наиболее прогнутой части черноморской впадины", давно намеченные М.В. Муратовым [433, табл. XX], отлично согласуются с данными сейсмологии.

В работе [485] констатируется: "Тектонические движения в пределах Малого Кавказа, не прекратившиеся и поныне, имеют дифференциальный складчато-глыбовый характер. В современную эпоху резкое сводовое поднятие происходит в пределах областей антропогенного вулканизма и северной рамы геосинклинальной области — в пределах Сохмето-Карабахской зоны, а интенсивное погружение — вдоль окаймляющих их прогибов, особенно в пределах Предмалокавказского краевого прогиба, в зоне Еревано-Ордубадского и Нахичеванского прогибов и в некоторых отрезках Севано-Акеринского синклинория. По границам этих областей современные движения (а тем самым и землетрясения. — Г.Г.) проявляются интенсивнее, чем в других зонах" [с. 240].

Существенное значение следует придавать характеристике общего поля тектонических напряжений и динамическим параметрам очагов отдельных землетрясений. В этом отношении интересные результаты (как бы их ни трактовать) были получены А.В. Введенской, Е.И. Широковой, В.И. Кейлис-Бороком, Э.Б. Агаларовой, О.Д. Гоцадзе и др.

Такова общая картина распределения сейсмических сил на Малом Кавказе. Как-то, анализируя фактические сведения, особенно за прошлые века, С.А. Пирузян заметил, что "Армянское нагорье и Малый Кавказ являются одной из наиболее сейсмоактивных областей земного шара" [700, с. 3]. По-видимому, это несколько преувеличено, как и известное утверждение о Кавказе И.В. Мушкетова; тем не менее землетрясения Малого Кавказа заслуживают особого и большого внимания.

На этом общем фоне находят себе место разнообразные и сложные сеймотектонические зависимости, характеризующие отдельные структуры Малого Кавказа, к рассмотрению чего, в пределах возможного, мы и перейдем.

*Сеймотектоническая зона № 18 — "Аджаро-Триалетская", мегантиклинорий Малого Кавказа, Западный антиклинорий, Аджаро-Триалетская складчатая система,  $N_m \approx 50 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800–1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
20.02.20	42,0	44,1	11	6,2	8–9	Гори
20.05.59	41,9	41,9	13	5,1	7–8	Кобулет

Адджаро-Триалетская складчатая система представляет собой внешнюю северо-западную часть мегантиклинория Малого Кавказа, протягиваясь в северо-восточном и затем в восточном направлении от Батуми через Боржоми до Тбилиси. В этой системе гор (Месхетский и Триалетский хребты) мы встречаемся со структурами Европейско-Азиатского подвижного пояса, с той его северной ветвью, которую впервые встречаем на Карпатах. Адджаро-Триалетская зона — непосредственное продолжение складчатых сооружений Северной Анатолии (Турция).

В Адджаро-Триалетской зоне преобладают осадочные толщи палеогенового возраста с включением вулканического материала. Ярко выраженные линейные складки часто осложняются продольными надвигами. В восточной половине зоны и ядрах обнажаются меловые породы. Падение осевых плоскостей складок и сместителей надвигов к югу свидетельствует о движении масс на север. Вся эта зона находится в пределах среднего структурного этажа эвгеосинклинали Малого Кавказа и отделяется от расположенных севернее Рионской (Колхидской) впадины, Цирульского массива и Картлийской впадины четко выраженными пологими надвигами регионального значения. Эта ограничительная линия достаточно определенно отмечается и по данным неотектонических и геофизических наблюдений, т.е. она должна считаться тектоническим швом глубокого заложения, который мы называем Адджаро-Триалетским. В пределы Адджаро-Триалетской сейсмотектонической зоны № 18 мы включаем как всю систему Месхетского и Триалетского хребтов, так и узкую полосу вдоль Адджаро-Триалетского глубинного разлома, т.е. небольшую полосу Рионской впадины, испытывающей воздействие тектонических и сейсмических импульсов, идущих с юга.

Поверхность Мохоровичича под Адджаро-Триалетской складчатой зоной залегает на глубинах около 45 км и характеризуется спокойным рельефом. Гравиметрические аномалии в пределах зоны отрицательны, но на западе, близ Черного моря, подходят к нулю, сменяясь в пределах акватории положительными аномалиями. Магнитные аномалии положительны, оказываясь западной частью резко выраженной полосы положительных магнитных аномалий, протягивающихся отсюда на восток и юго-восток до юго-восточного окончания Сомхето-Карабахского антиклинория.

Новейший этап развития зоны отличается устойчивыми положительными движениями при суммарной амплитуде поднятий до 2,5 км, но не слишком высоких значениях градиента — до  $3-4 \cdot 10^{-9}$  единиц.

К зоне № 18 мы относим землетрясения: Горийское 20.02.20, Бошурское 12.02.53, Кобулетское (Адджаро-Гурийское) 20.05.59, а также ряд более слабых, в том числе и многие из тех, которые ощущались в Тбилиси.

Наиболее значительным из них было землетрясение 20.02.20 в Гори ( $M = 6,2$ ,  $I_0 = 8-9$  баллов,  $S_4 = 38$  тыс. км<sup>2</sup>,  $h$  — от 10 до 20 км). Первое определение глубины очага землетрясения дал А.И. Михалевский [670]. Описание землетрясения можно найти у Л.К. Конюшевского [623], Е.А. Розовой [720], А.Н. Сафаряна и др. Л.К. Конюшевский отмечал, что в зоне эпицентра имеется ряд "антиклинальных и синклиналиных складок, а также сбросов" близкого к широтному простирания, в том числе антиклиналь Горис-Джвари-Уплио-Цихе, "от которой во многих случаях исходили сейсмические толчки" [623, с. 24-25]. Далее автор описывает другие складки, целую систему, главным образом южнее эпицентра, и одновременно обращает внимание на признаки меридиональной системы нарушений, среди которых важное значение приобретает "предполагавшаяся Абигом линия разлома между вулканами Самсар и Казбек" (с. 29). Пересечение этих двух направлений — общекавказского и поперечного к нему субмеридионального — сыграло "катастрофическую роль в событии 20 февраля 1920 года" [Там же]. Автор перечисляет складки, от которых исходили сейсмические толчки, отмечает, что "было бы весьма важно изучить тектонику и подробное геологическое строение Триалетских гор вообще, чтобы выяснить возможную связь частых для Тифлисского и Борчалинского района землетрясений с тектоникой этой горной области" (с. 28). Наконец, отмечает, что здесь "в плиоцен еще происходили огромные поднятия, например поднятия ачкагыльских слоев на высоту 724 сажени над уровнем моря в горе Калас Кюринского округа" (с. 30).

Л.К. Конюшевский обращает внимание на возраст нарушений, отмечая дислокации в толщах даже постплиоцена, говорит о влиянии геологических факторов на конфигурацию изосейст, о возможной роли "местных тектонических нарушений" (с. 30), словом, у Л.К. Конюшевского — 30-е годы! — можно найти многое, вполне созвучное современ-

3

ным представлениям в области сейсмогеологии. Г.К.Твалтвадзе с соавторами отмечали сложный рельеф поверхности фундамента Гори-Мухранской депрессии.

Очаг Горийского землетрясения лежит у северо-восточного фронта Аджаро-Триалетской складчатой зоны, близ упомянутого выше глубинного разлома, причем изосейсты высших баллов вытягиваются в широтном направлении. Кроме того, его эпицентр расположен близ пересечения указанной шовной зоны с той меридиональной сейсмогенной полосой, которую мы именовали Транскавказским линеаментом. Новейшие движения в этом районе отличаются большой контрастностью, что выражено в высоких значениях градиента их скорости. Этого достаточно, чтобы ожидать в регионе проявления высокой сейсмической активности. Глубина очага для Кавказа довольно значительна, но не настолько, чтобы смещения в очаге не могли проявиться в деформациях почвы на поверхности. Косвенным указанием на это могут служить изосейсты, вытянутые в субширотном направлении параллельно тектоническим структурам и, следовательно, отражающие основные черты строения района. При внимательном анализе рельефа, а также трещин в почве, возникших при этом землетрясении, вероятно, можно было бы найти здесь признаки молодых подвижек тектонического происхождения, в том числе вдоль надвига, отделяющего горную часть от Картлийской впадины.

Строение земной коры в районе Гори описано по материалам землетрясения 6.03.68 Г.К.Твалтвадзе и другими.

К восточной части Аджаро-Триалетской складчатой системы нужно относить многие землетрясения, ощущавшиеся в Тбилиси. Некоторые из них обладали изосейстами ЗСЗ—ВЮВ направления, что соответствует простиранию складчатых сооружений в данном районе. Часть из них связана с удаленными очагами и к Аджаро-Триалетской сейсмотектонической зоне не относится, но другая часть принадлежит именно этой зоне, что отмечал еще Л.А.Варданянц [546], считавший, что вблизи Тбилиси находится "самостоятельный сейсмический очаг". Сила подземных толчков в Тбилиси, судя по историческим данным, не превышала 7 баллов. К 6—7-балльным относится землетрясения 1803, 1819, 1896 гг. и др.

Землетрясения в Тбилиси вызывают по понятным причинам особый интерес. В тектоническом смысле город, расположенный в крайней западной суженной части Куринской впадины, относится к сейсмотектонической зоне № 16. Но основная часть колебаний, достигающих города, исходит из очагов, расположенных южнее, т.е. в Триалетском хребте, и потому имеет смысл рассмотреть вопрос о сейсмической опасности для города здесь, т.е. в связи с сейсмотектонической зоной № 18.

Большую работу по составлению каталога землетрясений, отмеченных в Тбилиси, провел Е.И.Бюс [526]. Автор указывает на то, что с 1803 по 1940 г. в городе отмечено до 330 подземных ударов (за последние десятилетия в среднем около 5 толчков в год), что интенсивность ударов в нескольких случаях достигала 7 баллов (1803, 1819, 1959, 1896 гг.) и за год происходит в среднем 4, 5 ощутимых землетрясения; 7-балльные — одно за 15 лет. Вопросы геологии Е.И.Бюсом не рассматриваются (если не считать упоминания о несколько "неопределенной" цитате из работы Л.А.Варданянца [546]). Е.И.Бюс довольно уверенно говорит о некоторой зависимости количества землетрясений от сезонов года, от времени суток, об ориентировке преобладающего направления колебаний. Мне кажется, что заключения на такие темы не вполне достоверны, и если и есть здесь какая-либо "зависимость", то причину ее нужно искать скорее в недостатках неинструментальной статистики, особенно в прошлом, чем в реальной действительности.

Не стала популярной попытка Г.П.Тамразяна [753а] найти связь между землетрясениями Тбилиси и космическими факторами, вероятно, потому, что подобная связь представляется уж слишком экзотической.

Отдельная статья, посвященная землетрясению в Тбилиси 12.10.1912, была опубликована А.П.Герасимовым еще в 1914 г. [564]. Автор, известный геолог и знаток Кавказа, приходит к выводу, что "наиболее крупным сейсмическим явлением истекшего года (1912. — Г.Г.) на "Кавказе" было землетрясение 12—13.10; затем излагает сведения, полученные в ответ на специальные запросы о землетрясении (55 карточек), упоминает о нарушениях в почве, указывает на местоположение эпицентра (близ села Джелал-Оглы, ныне г. Степанаван), приводит карту изосейст, а в отношении геологии вынужден ограничиться двумя фразами: эпицентр — это небольшая замкнутая площадь, "в которой преобладающим развитием пользуются изверженные породы новейших периодов.

Разумеется, в такой области весьма легко возможны те или иные движения в земной коре, ведущие за собою и гораздо более значительные сейсмические возмущения, чем то, которое 12.10 охватило южные части Тифлисской губернии" (с. 23). Город Степанаван находится в 120 км к югу от Тбилиси.

Вообще говоря, вопрос о потенциальной сейсмичности района г. Тбилиси — вопрос довольно трудный. В геологическом отношении город оказывается в довольно сложной обстановке. К городу подходит суженная и наиболее интенсивно дислоцированная западная оконечность Куринской впадины. Недалеко отсюда проходит восточная граница Дзирульского массива. Непосредственно к югу от города пролегает северо-восточный фас Аджаро-Триалетской складчатой системы. Южнее Тбилиси известны многочисленные складчатые и разрывные нарушения субширотного простирания в отложениях от мелового до четвертичного возраста. Город расположен в пределах зоны активного Транскавказского линейaments. Наконец, поблизости от города был расположен эпицентр разрушительного землетрясения 20.02.20. Все это заставляет считать район г. Тбилиси в сейсмическом отношении потенциально опасным, с возможностью возникновения очагов землетрясений с  $M = 6$ ,  $I_0 = 8$  баллов.

По непонятным причинам статистика землетрясений этого не подтверждает. Правда, расчеты сейсмической сотрясаемости, выполненные Ю.В.Ризниченко и его коллегами, приводят именно к таким выводам — о возможности 8-балльного землетрясения за ~1000 лет. Приходится оставить этот вопрос пока без окончательного ответа.

Замечу, что в свое время И.А.Гзелишвили и А.Н.Сафарян разработали схему сейсмического микрорайонирования для территории г. Тбилиси. Ими же составлены аналогичные схемы для городов Рустави, Ткварчели, Ткибули и Чиатура. Еще ранее, в 1945 г., Вас.В.Поповым была составлена схема микросейсморайонирования для г. Гори. Более новая схема сейсмического микрорайонирования г. Тбилиси описана в статье [567], были использованы различные методы: инженерно-геологический, инструментальный, расчетный и другие, на территории города выделены 6-, 7- и 8-балльные участки (с. 210).

Одно из значительных землетрясений на территории Аджаро-Триалетской складчатой зоны относится к 12.02.53, оно интересно тем, что его эпицентр (близ Бошури) расположен не у края зоны, а в ее середине, в восточной части, тяготеющей к Транскавказскому линейменту и отличающейся повышенной активностью вообще, что, в частности, выражено полосой высоких значений  $N_m$ . Землетрясение это неглубокое ( $h$  менее 10 км),  $I_0 = 6 \div 7$  баллов, колебания ощущались на очень малой площади (около 150 км<sup>2</sup>). Учитывая другие случаи, Т.М.Лебедева и В.Г.Папалашвили, изучавшие землетрясение, считают, что "все землетрясения, эпицентры которых расположены в Горийском районе, имеют очаги в верхнем седиментном и гранитном слое" [645, с. 156]. Сужение Аджаро-Триалетской системы в этом месте, сгущение складок, обилие продольных надвигов, близкое соседство двух продольных глубинных разломов (Аджаро-Триалетского и Прикуринского) и упомянутого поперечного Транскавказского — все это обуславливает повышенные сейсмогенетические способности восточной части Аджаро-Триалетской складчатой системы, особенно вблизи меридиана 44° в.д. Одни из последних, правда, слабых толчков восточной части зоны № 18 относятся к 6.03 и 6.12.68.

Другим землетрясением, связанным с тем же северным фронтом Аджаро-Триалетской складчатой зоны, но уже на западном ее конце, служит Кобулетское (Аджаро-Гурийское) землетрясение 20.05.59 ( $M = 5,1$ ,  $I_0 = 7-8$  баллов,  $h = 13$  км). Оно тяготеет к границе между Триалетами и Колхидской впадиной [773]. Здесь зафиксированы значительные осложнения структуры осадочной толщи, выраженные в наличии ряда складок и пологих разрывов, а новейшие движения интенсивны и контрастны, с максимальными градиентами — более  $8 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>. Землетрясение это лежит близ контакта Аджаро-Триалетской складчатой системы с Колхидской депрессией (координаты эпицентра 41,9° с.ш., 41,9° в.д.), что и отмечают авторы указанной выше статьи. Правда, в конце соответствующего заключения по традиции опять появляются разрывы: "Эпицентральная область расположена в предгорной полосе западной части Аджаро-Триалетской складчатой системы, в местах его (? — Г.Г.) сочленения с Колхидской низменностью, где имеются тектонические нарушения сбросо-сдвигового характера" (с. 74).

Интересной особенностью землетрясений зоны № 18 является их несомненное влияние на режим минеральных источников, известных в регионе. Изменения в режиме фикси-

ровались, например, в Боржоми при Ахалкалакском землетрясении 31.12.1899, в Тбилиси — при землетрясении 12.11.12 и многих других. Этому вопросу посвящены специальные работы Е.И.Бюса, в которых приводится большой список наблюдений. Результаты этих наблюдений дали право Е.И.Бюсу утверждать, что "на Кавказе неоднократно наблюдалось воздействие землетрясений на режим минеральных источников и других вод" [525, с. 104].

В целом мы имеем основания приписать заметную сейсмическую активность всей полосе, ограничивающей Аджаро-Триалетскую складчатую систему с севера, и ожидать в будущем появления здесь землетрясений с  $M > 5$  (7–8-балльной интенсивности), во всяком случае, в центральных частях северного ограничения этой зоны, т.е. на пространстве между Гори, Кашури, Самтреди.

*Сейсмотектоническая зона № 19 — "Сомхето-Карабахская"*, мегантиклинорий Малого Кавказа, Сомхето-Карабахский антиклинорий (продолжение к ЮВ — сейсмотектоническая зона № 19а "Тальшская"),  $N_m \approx 30 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M = 5,0$ ) 1800–1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
23.07.1867	40,6	46,3	15	5,8	7–8	Зурнабад
18.03.1868	40,0	46,8	35	6,3	7	Агдам

Сомхето-Карабахский антиклинорий представляет собой сложно построенную складчатую систему, выполненную преимущественно юрскими и меловыми отложениями. Среди осадочных образований юры в большом количестве присутствуют эффузивные породы основного состава. Известны многочисленные выходы интрузивных пород кислого состава (главным образом эоценового возраста). Складки и сопряженные с ними продольные разрывы протягиваются в северо-западном направлении, формируя внешнюю северную зону мегантиклинория Малого Кавказа. Ядро антиклинория относится к нижнему структурному этажу ( $T-K_1$ ) эвгеосинклинальной зоны области альпийской складчатости Малого Кавказа (с включением пород палеозойского комплекса). По периферии антиклинория проходит средний структурный этаж ( $K_2-N_1^I$ ) той же эвгеосинклинальной зоны (включая альпийские гранитоиды) [138]. С севера и юга антиклинорий ограничен тектоническими швами регионального значения, выраженными либо линиями глубинных разломов, либо региональными флексурами.

Вопрос о тектонической природе северного ограничения антиклинория вызывал дискуссию. Мнение о наличии здесь одной сплошной линии регионального разрыва — "Главного надвига" — оспаривалось. Л.Н.Леонтьев [649] писал: "Главного надвига, в прежнем его понимании, не существует" (с. 411); имеется ряд изолированных кулисообразно замещающихся разрывов, приуроченных к южным крыльям отдельных поднятых блоков. С позиций сейсмогеологических построений в конце концов не так уж существенно, как понимать северный фас Сомхето-Карабахского антиклинория — ясно, что здесь проходит четкая граница двух зон, № 16 и 19, а сейсмотектонический режим всего массива антиклинория проявляется резче всего по его краям, северному и южному.

Возникает вопрос: можно ли считать всю зону Прикуринского разлома одинаково активной в сейсмическом отношении, на всем ее протяжении, т.е. в полосе от Болниси до Карягино? В материалах по сейсмостатистике мы не находим подтверждения этой мысли. Но общая геологическая обстановка и наличие ярко выраженной полосы повышенных значений градиента скорости вертикальных новейших движений (до  $3 \div 4 \cdot 10^{-9}$  год<sup>-1</sup>, см. рис. 8.6) позволяют говорить об аналогии сейсмотектонических условий и возможности, следовательно, появления здесь землетрясений силой до 7–8 баллов.

Еще в 1936 г. Н.В.Малиновский, характеризуя сейсмические условия Кировабадского района, пришел к выводу о том, что в районе "вероятность подобных катастроф (для Кировабада — 10–11 баллов. — Г.Г.) выражается одним землетрясением на протяжении девяти столетий" [658, с. 7]. Не будем спорить о цифрах, важно заключение о возможности здесь сильных землетрясений — вывод, к которому Н.В.Малиновский пришел, совсем не будучи геологом.

Отметим еще одно обстоятельство. Через три года, в 1939 г., Н.В.Малиновский [659], описывая сейсмичность Нагорно-Карабахской автономной области, указывал на наличие здесь трех изолированных самостоятельных очагов землетрясений: Шушинского, Ванк-

ского и Агдамского. Я полагаю, что выделение изолированных очагов в принципе неправомерно и отражает те тенденции при анализе сейсмотектоники Кавказа, которые отличали методику, использованную Л.А.Варданянцем, а еще ранее А.И.Михалевским. В условиях линейной структуры альпийских и современных складчатых сооружений трудно представить себе существование изолированных очагов. Если отмеченные Н.В.Малиновским очаги проявили себя на протяжении нескольких десятков десятилетий, то это совсем не значит, что не могут появиться новые очаги на продолжении тех же структур, с которыми связаны уже известные очаги. Зафиксированные в прошлом факты следует понимать лишь как свидетельство сейсмотектонической активности блоков или линейных структур, характерных для данного района, и ожидать в будущем подтверждения этой концепции новыми землетрясениями, которые возникнут на продолжении тех же структур в аналогичной геологической обстановке.

Некоторое осложнение в общую картину вносят данные о распределении удельной сейсмической мощности. Полоса повышенных значений  $N_m$  протягивается от южных частей Зангезурского хребта в меридиональном направлении до Кировабада, затем в северо-восточном направлении до г. Шеки (бывшей Нухи) и далее. Тектоника не дает указаний на наличие здесь каких-либо структур подобного направления. Но если учесть тот факт, что, вообще говоря, поперечные тектонические линии на Кавказе существуют, то не будет ничего невероятного в том, что со временем будут найдены доказательства наличия и еще одного поперечного направления на меридиане Кировабада. Между прочим, именно таково одно из основных направлений сейсмических волн на Кавказе, судя по карте составленной М.Г.Агабековым и Ф.С.Ахмедбейли [480, с. 60]. Оставляю пока вопрос открытым, сохраняя основную роль за северо-западными сейсмотектоническими элементами.

Поверхность Мохо в пределах антиклинория испытывает заметное погружение с северо-востока на юго-запад, мощность коры вдоль северного края антиклинория оценивается в 45 км, вдоль южного — в 50 км. Другими словами, Сомхето-Карабахский антиклинорий расположен на участке, характеризующемся переходом от коры нормальной мощности в зоне Куринской депрессии (40—45 км) к коре повышенной мощности в зоне Мисхано-Зангезурского антиклинория (более 50 км), см. рис. 8.8.

Новейший этап развития антиклинория связан с господством положительных вертикальных движений, оцениваемых на участках максимальных поднятий цифрами около 3,0—3,5 км (см. рис. 8.8). Градиенты скорости новейших вертикальных движений в целом невелики, но в некоторых местах, именно к востоку от оз. Севан в пределах Мровдагского хребта, доходят до высоких значений — более  $8 \cdot 10^{-9}$  единиц.

Территория, занятая Сомхето-Карабахским антиклинорием, лежит в поле отрицательных аномалий силы тяжести порядка нескольких десятков миллигал, и изоаномалы протягиваются в том же северо-западном направлении. К югу абсолютное значение аномалий растёт. Магнитные аномалии, вытянутые в северо-западном направлении, больших значений не достигают.

В пределах Сомхето-Карабахского антиклинория отмечено несколько заметных землетрясений: 1867 г. — Зурнабад; 1868 г. — Агдам; 1939 и 1942 гг. — Аджикенд; 1954 г. — Кельбаджар; 1962 г. — Тауз; 1973 г. — Мардакерт. Все они, за исключением Кельбаджарского, относятся к северной границе антиклинория, располагаясь близ контакта антиклинория с Куринской впадиной.

Землетрясение в г. Кельбаджаре относится к южному ограничению антиклинория (граница его с Севанской депрессией). В далеком прошлом были отмечены не менее чем 8-балльные землетрясения в 1139, 1235 гг. (близ г. Ганджи, ныне Кировабад); при землетрясении 1139 г. образовалась запруда на реке, результатом чего явилось возникновение озера Гей-гель.

Землетрясение 21.12.38 в Аджикенде ( $40,6^\circ$  с.ш.,  $46,6^\circ$  в.д.,  $h = 16$  км,  $M = 4,4$ ,  $I_0 = 6$  баллов) представляет интерес в том отношении, что служит примером типичного так называемого "неправильного" (Е.И.Бюс) землетрясения ("общее сотрясение", или "концерт землетрясений", по Л.А.Варданянцу), признаки которого, по [538], таковы: "...обширная область почти одинаковой, сравнительно небольшой интенсивности в 5—6 баллов, отсутствие определенно выделяющегося эпицентра, неравномерное убывание интенсивности с расстоянием" (с. 40—41). Такие землетрясения для Кавказа были описаны впервые Е.И.Бюсом, который считал, что в этом случае "очаг лежит под конгломератом глыб и действует зараз на несколько глыб, захватывая большое пространство" [523,

с. 57], и что у таких землетрясений очаг должен залегать глубоко (вовсе нет! — Г.Г.). Действительно, для Аджикендского землетрясения 1938 г. область распространения 4—5-балльных сотрясений достигла 25 тыс. км<sup>2</sup>, а глубина очага по некоторым данным оценивается даже в 70 км (что, как отмечено в [31, с. 123], "вероятно, ошибочно").

Авторы [538] словами Е.И.Бюса [523] говорят так: "Здесь имеет место весьма сложное сейсмическое явление. Нет видимой очерченной плейстосейстовой области, есть комплекс очаговых линий (? Г.Г.) или поверхностей, а может быть, и пространственный очаг, захватывающий несколько тектонических единиц — глыб (! — Г.Г.). Все это заставляет предполагать, что глубина очага различна в зависимости от рассмотренных типов закавказских землетрясений, которые мы для удобства условно назвали бы в первом случае (выявленный эпицентр) правильными, во втором — неправильными" [538, с. 41].

Полагаю, что это очень верная мысль, что, действительно, в возбуждении землетрясений имеет значение "тектоническая игра" глыб или "больших пространств", а не линий и плоскостей, что надо строить модели очагов не точечных, не линейных (одномерных), не плоскостных (двухмерных), а объемных (трехмерных) и совсем не обязательно глубоких и что большая часть землетрясений, которые, по [538], относятся к "неправильным", следовало бы именовать, и при том не "условно", "правильными".

К региону относится Михайлово-Аджикендское землетрясение 19.09.42 (40,5° с.ш., 46,4° в.д.,  $M = 4,6$ ,  $I_0 = 6-7$  баллов). О нем Е.И.Бюс писал: "Итак, установлено наличие определенного активного очага на северных отрогах Мровдагского хребта. В дальнейшем подлежит еще исследованию его связь с геологическими элементами края... Будущие наблюдения позволят, несомненно, внести ясность в сеймотектоническую картину этого района..." [528, с. 153]. Несколько позже Л.Н.Леонтьев обратил внимание на важную роль, которую играют здесь более или менее изолированные асимметричные поднятия или блоки; один из них, именно Шамхорский, по площади отвечает 6—7-балльной плейстосейстовой области Михайлово-Аджикендского землетрясения с тем, что центр тяжести Шамхорского блока, вероятно, отвечает глубине инструментального эпицентра (12 км). Я полагаю, что есть все основания присвоить Шамхорскому блоку (так же, как и другим блокам региона) сейсмогенные способности.

Землетрясение 21.12.38, также близ Аджикенда, происходило в аналогичной обстановке. Учитывая значительную глубину очага обоих землетрясений (1938 и 1942 гг.) трудно искать непосредственную связь их с видимыми на поверхности геологическими структурами, следует, вероятно, связывать их с активностью смежных участков сеймотектонических зон № 16 и 19.

Землетрясения 12.10.62 в г. Таузе и 18.02.63 в г. Агдаме оказались по внешним проявлениям на поверхности более сильными, может быть, даже до 8 баллов. Они сопровождались значительными деформациями почвы; при Агдамском землетрясении имели место большие оползни и горные обвалы. Глубина очагов обоих землетрясений была невелика, и можно думать, что они связаны с верхними участками активной структуры, и при тщательном исследовании эпицентральных зон, вероятно, можно было бы обнаружить признаки тектонических подвижек на поверхности.

И еще одно землетрясение, я бы сказал, принципиального значения — 6.12.73, Мардакертское, южнее Кировабада: 40,3° с.ш., 46,3° в.д.,  $h = 15$  км;  $M = 4,1$ ;  $I_0 = 6$  баллов. В.П.Кузнецов о нем пишет: "Геологические условия представлены в основном сопряженным состоянием Шамхорского, Гейгельского, Мровдагского и Карабахского антиклинориев, где складкообразование нарушено гранитоидными интрузивами, которые выступают преимущественно в сводовых частях структур, сложенных среднеюрской вулканогенной толщей. На этом фоне антиклинориев выделяется Дашкесано-Зурнабадский интрузив (синклинорий того же названия). Дашкесанский синклинорий и интрузив вытянуты в широтном направлении и секут вмещающие породы. Последнее является критерием для выделения разлома глубокого заложения..." [630, с. 30]. Смысл всего изложенного не очень ясен, может быть, вследствие своеобразия языка статьи. Вероятно, в тех же условиях возникло слабое Дашкесанское землетрясение 5.02.64. Мне Мардакертское землетрясение представляется интересным потому, что оно относится к центральной части сеймотектонической зоны № 19, подтверждая тот тезис, что и центральные части крупных антиклинориев могут нести на себе очаги землетрясений, в том числе сильных, в том случае, если новейшие движения проявляются здесь достаточно интенсивно.

Сейсмотектоническая зона № 20 — "Джавахетская", мегантиклинорий Малого Кавказа, между Триалетским и Сомхетским хребтами,  $N_m \approx 700 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
31.12.1889	41,6	43,5	08	5,4	8—9	Ахалкалаки
20.10.06	41,2	44,3	26	5,2	6	Калинино
12.10.12	41,4	43,7	28	5,6	6—7	Богдановка
13.10.12	42,5	44,0	30	5,0	6	"
20.04.13	41,5	44,6	36	5,6	6	Болниси
12.05.23	41,4	44,3	20	5,2	6	Дманиси
13.05.25	41,3	43,6	18	5,1	6—7	Богдановка
25.01.35	41,1	43,9	30	5,0	5—6	Ахурян
07.05.40	41,7	43,8	19	6,0	8	Табацкури
10.07.40	41,5	44,0	18	5,1	6—7	"
8.12.59	41,2	43,9	10	5,4	7—8	Мадатапа
31.06.78	41,4	44,1	10	6,0	8	Триалети

Джавахетское (Ахалкалакское) вулканическое нагорье, как показал еще в 1929 г. В.П. Ренгартен [786], в тектоническом смысле служит продолжением к северо-западу Сомхето-Карабахского антиклинория. Оба эти участка В.П. Ренгартен объединял под термином "Сомхето-Азербайджанская подзона Закавказской пологоскладчатой зоны", к которой он относил также и Талыш. Джавахетское нагорье с поверхности сложено в основном вулканическими породами позднепалеогенового возраста (туфобрекчии, туфы, андезиты, дациты, туфопесчаники). Местами значительные площади занимают лавы раннечетвертичного возраста в основном андезитового и андезит-базальтового состава. Фундаментом этого вулканического комплекса служат, по всей вероятности, породы среднего структурного этажа эвгеосинклинальной зоны альпийской складчатости Малого Кавказа. Кристаллический фундамент нагорья залегает на глубинах от + 0,2 км относительно уровня моря в центральной части до -1,6 км на периферии.

С юга (по широте г. Степанавана) нагорье ограничено тем же тектоническим швом регионального значения (Зангезурский глубинный разлом), который отделяет Сомхето-Карабахский антиклинорий от расположенного южнее Севанского синклинория. Наличие подобного же шва на севере нагорья не доказано, но очень вероятно, что сюда проходит своей западной частью Прикуруинский глубинный разлом.

Особый интерес представляют многочисленные, хорошо сохранившиеся вулканические аппараты типа пологих куполов, которые тяготеют к полосе меридионального направления. Показательна в этом отношении линия верхнетретичных и четвертичных вулканических конусов Абул-Самсарского хребта, покоящегося на толще миоцен-плиоценовых отложений: вулканы Тавкветили, Шавнабада, Карадаг, Самсари, Кизилдаг, Годорби, Большой и Малый Абул, Григорий, Мадатапа.

Важное значение в тектонике Кавказа имеет полоса Центрального (Транскавказского) линеаменты — Джавахетское нагорье лежит в пределах этого линеаменты, составляя одну из его частей.

Новейшие движения фиксируются в данном районе с известными трудностями, но все же можно сказать, что район в целом испытал за новейший этап дифференцированные поднятия и градиенты скорости движений местами значительны — в полосе Кызылкенд—Степанаван, в зоне Джавахетского и Абулского хребтов. Современные движения характеризуются здесь как "наиболее интенсивные" [588].

Ахалкалакское вулканическое нагорье, судя по статистике за много веков, — весьма активный в сейсмическом отношении регион, что подчеркивают многие авторы, в том числе А.Д.Цхакая, отметивший, что Джавахетское (Ахалкалакское) вулканическое нагорье особо выделяется среди других областей Кавказа по частоте ощущавшихся здесь землетрясений [764]. Иногда утверждают, что на Джавахетском нагорье "почти непрерывно" происходят слабые землетрясения. Сгущение эпицентров землетрясений на площади нагорья четко отражено, например, на карте эпицентров землетрясений Кавказа за 1957 г. (А.Д.Цхакая), так же, как и рой эпицентров в окрестностях Гегечкори. Здесь отмечены 8-балльные землетрясения 31.12.1899 в г. Ахалкалаки, 9.01.25 — в Ардаган (Турция); 7.05.40 — Табацкури; 8.12.59 — Мадатапа и немало 7- и 6—7-балльных толчков, среди них Шахназарское землетрясение 30.03.74 и множество более слабых — 19.05 и 21.12.68, 27.06.73, Гукасянское и др. И все это на небольшой площади — около

5 тыс. км<sup>2</sup>. О.Д.Гоцадзе, изучив "поток" землетрясений Джавахетского нагорья (9253 толчка), заметил, что сейсмическая активность нагорья "соразмерна с суммарной активностью остальной территории Кавказа" [576, с. 47], а также что "значения средней энергии землетрясений зависят от следующих факторов: 1) какова емкость энергии деформации данной среды, 2) какова скорость деформации" (с. 27).

Изучению сильных землетрясений Джавахетского нагорья, а также сейсмичности его в целом посвящено немало специальных исследований. Я уже отмечал, что вопрос о сейсмичности Джавахетского нагорья специально изучал А.Д.Цхакая. В особой работе [764] автор в деталях проанализировал сейсмичность нагорья, используя богатый статистический материал и множество карт изосейст. Большой интерес представляет "Карта эпицентров землетрясений Джавахетского нагорья за 1932—1959 гг.", которую можно интерпретировать как свидетельство площадного распространения эпицентров по всей сейсмоактивной зоне, что отвечает представлению об активности не линий или плоскостей, а всего комплекса структур зоны. А.Д.Цхакая, например, указывает на то, что почти все эпицентры Ахалкалакского нагорья за 1951—1952 гг. составляют компактную группу между параллелями 41° 10' и 41° 30' с.ш. и меридианами 43° 30' и 44° 40' в.д.

Не будучи геологом, А.Д.Цхакая не затрагивал вопросов сейсмотектоники, ограничиваясь общим заключением о том, что "в результате тектонических процессов, протекающих в земной коре" и вызывающих в ней деформации, накапливается потенциальная энергия, которая высвобождается при землетрясении" [764, с. 217]. Автор констатирует, что из карты "распределения плотности энергии также видно, что наибольшим запасом потенциальной энергии обладают районы проявления сильных землетрясений — Табакурского, Ленинанканского и Дигорского" [Там же]. Естественно, ибо карта распределения плотности энергии составлена именно по этим данным.

Большой интерес представляет известное Ахалкалакское землетрясение 31.12.1899, подробно описанное И.В.Мушкетовым [675], а также В.Н.Вебером [550]. Имеется добросовестное описание этого землетрясения, а также небольшого форшока 13.08.1898 словами очевидца С.М.Тарасова (1902 г.). Магнитуда Ахалкалакского землетрясения была невелика — 5,4, но по внешнему эффекту (интенсивности) толчки оказались разрушительными ( $I_0 = 8 \div 9$  баллов), почему и считается, что очаг лежал неглубоко ( $h = 8$  км). Впрочем, В.Н.Вебер после тщательного изучения последствий землетрясения заметил, что "трудно придумать что-либо более опасное при землетрясениях, чем сакли ахалкалакских армян" [552, с. 180]. В.Н.Вебер придавал большое значение установлению местоположения эпицентра: "Определение даже приблизительного положения эпицентра имеет теоретический интерес для определения линий землетрясений (почему линий, а не плоскостей или объемов? — Г.Г.), как дополнение к сведениям по тектонике сейсмических областей" [Там же, с. 186]. В.Н.Вебер отмечал: "Так как линия удара (при Ахалкалакском землетрясении. — Г.Г.) совпадает с Самсарским рядом вулканов, а следовательно, с направлением дислокации, то в последней и нужно видеть причину удара"; "не вулканы обусловили землетрясение, а землетрясения и рядовое расположение вулканов связано с той же причиной" [550, с. 106]. В.Н.Вебер определял глубину очага Ахалкалакского землетрясения в 9 км.

Геологическая обстановка в зоне эпицентра рассмотрена также И.В.Мушкетовым; он обратил внимание на грабен, "который произошел в эоценовую или олигоценую эпоху и был покрыт миоценовыми осадками, а по трещинам его появились вулканы, которые дали мощные покровы, сгладившие поверхность грабена. Очевидно, очаг землетрясения лежит на северной окраине грабена, по линии Бакуриани—Кызыл—Килиса" [675, с. 66]. Автор многого ожидал от повторных геодезических измерений; триангуляция показала некоторые отклонения от прежних цифр, но "нельзя положительно утверждать, что найденные перемещения ... произошли от землетрясения" (с. 70); измерения по точности были ненадежными. И.В.Мушкетов высказал мысль о связи Ахалкалакского землетрясения 1899 г. "через посредство грабена, простираение которого параллельно общему направлению Кавказской системы", с эпицентром Карского землетрясения 1920 г. по [523, с. 58]. Может быть, и так, но имеет также смысл искать связь между очагами Ахалкалакским 1899 г. и Горийским 1920 г., возникшим примерно в таких же общих геотектонических условиях.

А.И.Михалевский оценил глубину очага Ахалкалакского землетрясения в 16 км; для Горийского 20.02.20 он получил такую же цифру. "Совпадение величин глубин залега-

ния очагов обоих землетрясений, возможно, не носит случайный характер. Можно допустить связь между обоими очагами, если предположить, что оба они лежат на предполагаемой линии разлома в земной коре, идущей через г. Гори в меридиональном направлении, на что имеются указания у ряда геологов" [670, с. 237]. Заметим еще, что сильное (8-балльное) землетрясение было зарегистрировано в Ахалкалаках в 1088 г. [918].

Ахуранское землетрясение 25.01.35, изосейста 6 баллов, оконтуривает овал, вытянутый в меридиональном направлении, от Ленинакана до Абула. Изосейста 4 балла представляет окружность, а 3 балла — эллипс с широтной большой осью. Картина землетрясения: очаг, очевидно, вытянут по меридиану (длина очага до 50 км), отсюда особенности 6-балльной изосейсты. Но далее начинает сказываться влияние простирания складчатых сооружений, и изосейсты приобретают свойственный им вид кривых, вытянутых по простиранию. С подобным феноменом приходится иногда встречаться и в других регионах Советского Союза.

Землетрясение 7.05.40 в Табацкури также относится к сильным ( $M = 6,0$ ,  $I_0 = 9$  баллов,  $h$  около 20 км) [639]. Оно сопровождалось многочисленными повторными толчками — в течение мая отмечено 611 афтершоков; для нескольких десятков из них Т.М. Лебедева определила координаты эпицентров и глубину очагов. Последняя для 40 толчков варьирует в пределах от 16 до 24 км с преобладанием глубин от 16 до 20 км. Геология потрясенного района, как пишет Т.М. Лебедева, "недостаточно выяснена" [639, с. 79]; то же обстоятельство отмечается другими авторами — Е.И. Бюс, М.М. Рубинштейн, А.Д. Цхакая. Е.И. Бюс и М.М. Рубинштейн обращали внимание на тот факт, что эпицентры многочисленных повторных толчков Табацкурского землетрясения расположены вдоль меридиональной полосы протяжением в 120 км; авторы проводят здесь "сейсмогенетическую линию", которая "проходит в своей средней части в непосредственной близости от меридиональной гряды верхнетретичных и четвертичных вулканических конусов Абул-Самсарского хребта, насаженных на миоплиоценовую толщу Годердзкой свиты. Этот разлом, питавший ранее магматическим материалом вулканические аппараты, в настоящее время зарубцевался (не думаю! — Г.Г.) и напоминает о своем существовании наряду с морфологическим своеобразием гряды вулканических конусов, в различной степени преобразованных выветриванием, также и сейсмической деятельностью" [539, с. 67], рис. 8.16.

Табацкурское землетрясение ( $I_0 = 8$  баллов,  $h = 18$  км) интересно тем, что эпицентральная область его многочисленных афтершоков (до 750 в мае и июне того же года) была вытянута в меридиональном направлении (с глубиной от 16 до 20 км).

Южнее располагается группа многочисленных эпицентров более слабых землетрясений, среди которых есть и 7-балльные. Они не выходят за пределы границ Джавахетского вулканического нагорья, современная активность которого подчеркивается интенсивной вулканической деятельностью в плиоцене и четвертичном периоде.

Гомаретское 7-балльное землетрясение 11.06.54 ( $41,4^\circ$  с.ш.,  $44,1^\circ$  в.д.,  $h \approx 12$  км,  $M = 4,6$ ) отличалось размерами потрясенной области около 30 000 км<sup>2</sup> (?). Глубину очага определял Е.И. Патарая — около 10 км, он же составил карту изосейст. О геологии сказано немного: "В геологическом отношении Гомаретское плато представляет собой синклиналию складку меловых отложений простиранием с северо-востока на юго-запад, перекрытых чередующимися между собой четвертичными базальт-долеритовыми лавами и озерными образованиями... По-видимому, это землетрясение следует связывать с глубинной тектонической структурой, соответствующей восточной части Джавахетского хребта" [639, с. 131].

Землетрясение 3.01.70 в Боржоми охватило также большую площадь, от Зугдиди до Лагодехи. Очаги его многочисленных повторных толчков занимают всю "очаговую зону". Эпицентр находился на участке смыкания Абул-Самсарского (сейсмотектоническая зона № 20. — Г.Г.) и Аджаро-Триалетского (сейсмотектоническая зона № 18. — Г.Г.) хребтов. Полагаю, что подобное положение эпицентра придает землетрясению 3.01.70 некое принципиальное значение ( $41,8^\circ$  с.ш.,  $43,4^\circ$  в.д.,  $h = 5$  км,  $M = 4,7$ ,  $I_0 = 7$  баллов).

Роль пересечения широтных и долготных структур в данном регионе подчеркивал еще Л.К. Конюшевский [623], а затем многие позднейшие авторы. Связь между Ахалкалакским и Горийским районами осуществляется линией разлома между потухшими вулканами Самсар и Казбек, и, по словам Л.К. Конюшевского, "она (линия разлома, — Г.Г.) сыграла вместе с поперечной к ней линией Горис—Джвари—Уплис—Циха катастрофическую роль в событиях 20 февраля 1920 г." [623, с. 57—58].



Р и с. 8.16. Эпицентры землетрясений Абул-Самсарского хребта

1 — эпицентры афтершоков Табацкурского землетрясения 7–8 мая 1940 г., Ахурянского землетрясения 25 января 1938 г., 6–10 января 1938 г.; 2 — вулканы Абул-Самсарского хребта [723]

Особый интерес в этой группе представляет Мадатапское землетрясение 8.12.59. ( $M = 5,4$ ,  $I_0 = 7-8$  баллов,  $h = 10$  км), за которым последовало более 700 повторных толчков, эпицентры которых тесно сгруппированы на небольшой площадке вокруг горы и оз. Мадатапа (материалы Н.А. Введенской, О.Д. Гоцадзе, А.Н. Махатадзе, А.Д. Цхакая и др.).

О.Д. Гоцадзе [573] подробно рассмотрел некоторые аспекты Мадатапского землетрясения (афтершоки, активность, динамические параметры) и пришел к выводу, что "основной разлом в эпицентральной зоне Мадатапских землетрясений имеет северо-восточное простирание. Его азимут  $a \approx 45-60^\circ$ . Разлом идет вдоль границы Армянской ССР и примыкает к центральной части меридионального Джавахетского хребта, представляющего собой цепь пологих щитовидных вулканических конусов и куполов" [573, с. 94]. В реальности самого разлома у автора сомнения нет — естественно, ибо в основу метода интерпретации сейсмограмм априори была заложена идея об очаге-разрыве; другого результата этот метод дать и не мог.

Но наличие в регионе субмеридиональных сейсмогенных структур исследованиями О.Д. Гоцадзе подтверждается, что важно отметить, ибо естественные обнажения и дислокации коренных осадочных комплексов здесь скрыты под сплошными потоками лав. В одной из статей автор [572] указывает на существенное значение для понимания сеймотектоники нагорья таких работ, как [616, 724], но одновременно сетует на то, что в этих работах данные сейсмостатистики остаются весьма уязвимыми. Автор пытается восполнить этот пробел, оперируя более чем 300 эпицентрами землетрясений нагорья и надеясь обнаружить на этой базе достоверные связи между сейсмологическими и геологическими данными. Учитывая, что "погрешности в определении эпицентра намного больше линейных размеров очага" (в большинстве случаев очаги меньше 1 км), автор применил оригинальный метод анализа статистических данных и пришел к выводу, что "не наблюдаются полосы равномерной плотности (что говорилось бы в пользу гипотезы сейсмогенных разрывов. — Г.Г.), есть только отдельные центры скопления эпицентров" [572, с. 573], чему отвечает, по-видимому, представление о реальности многих "микрзон повышенной активности", другими словами, "наблюдаются не полосы более или менее равномерной плотности эпицентров, а отдельные центры скопления последних (не наблюдаются ни продольные, ни поперечные полосы эпицентров, как это неоднократно отмечалось<sup>1</sup> в литературе)" [572, с. 577]. Автор расценивает этот вывод как свидетельство наличия разломов. Я думаю, что наоборот: скорее можно видеть в том свидетельство отсутствия "сейсмогенных" разломов, вместо которых активными нужно считать определенные структуры, их деформируемые объемы.

Особенно существенной представляется статья [574], в которой автор излагает кон-

<sup>1</sup> Неясно, что отмечалось в литературе — наличие или отсутствие полос. — Г.Г.

цепцию возникновения землетрясений на Джавахетском нагорье. "Джавахетская сейсмическая зона, которая относится к области куполовидных сводовых поднятий четвертичного возраста, охватывает территорию около 5000 км<sup>2</sup>. Она делится на две части меридиональным Джавахетским хребтом. Хребет образован вулканами (плиоцен-четвертичного времени), цепочкой растянутых вдоль оси хребта... Осевая часть хребта характеризуется наименьшей сейсмической активностью..., участки максимальной активности расположены по обе стороны хребта" (с. 38). Большая часть очагов землетрясений обладает глубиной около 5 км. К этим положениям автор приходит оригинальными нетрафаретными путями (анализируя распространение афтершоков по площади) и, кроме того, ссылается на работы Э.А. Джибладзе, И.В. Кирилловой и соавторов (1960 г.). Преобладающие глубины очагов (5 км) соответствуют мощности осадочного комплекса, т.е. «Мощность поверхностного слоя, в котором тектонические процессы сопровождаются сейсмическими событиями, не превышает<sup>1</sup> 5 км... Ниже этой границы в центральной части зоны или отсутствуют движения, или же физическое состояние среды не благоприятствует накоплению энергии деформации при перемещении масс... "Активный объем" среды, в котором высвобождается энергия деформации, представляет собой тонкий диск» (с. 45). Объем такого диска близок к 3,5·10<sup>18</sup> см<sup>3</sup>, и энергия, аккумулярованная в зоне подготовки Мадатапского землетрясения — около 10<sup>20</sup> эрг.

Итак, "тектонические процессы, сопровождающиеся сейсмическими событиями... происходят в тонком седиментном комплексе мощностью 5 км... Наиболее активными являются области, примыкающие к хребту с обеих сторон". Отсюда — один шаг до признания сейсмогенной роли масс, объемов, а не разрывов. Однако в работе все же фигурируют те же пресловутые разрывы, я бы сказал, неожиданно возникающие при рассуждениях и выкладках автора.

О.Д. Гоцадзе возвращался к вопросу о сейсмичности Джавахетского нагорья и позже [576]; здесь автор предлагает классифицировать землетрясения по длительности колебаний на записях.

Мадатапское землетрясение 1959 г. описано также в статье трех авторов [771]. Здесь отмечается, что "на Джавахетском нагорье почти непрерывно происходят слабые землетрясения" (с. 77), что "там, где бывают слабые землетрясения, случаются и сильные" (с. 77), приводится карта эпицентра 750 повторных толчков, которые "компактно группируются вокруг горы и озера Мадатапа" (с. 82); вопросов геологии статья не затрагивает.

Недалеко отсюда произошло Параванское землетрясение 29.06.67 — 41,4° с.ш., 43,9° в.д.;  $M = 4,4$ ,  $I_0 = 6 \div 7$  баллов,  $h = 10$  км. Как полагают авторы [644], интенсивная сейсмичность Ахалкалакского нагорья вызвана молодыми вулканическими движениями. После неогена начались интенсивные "вулканические движения" (? — Г.Г.), сопровождавшиеся землетрясениями. Приблизительно так же излагается вопрос в работе М.С. Иоселиани и Г.Е. Карцивадзе [594].

К той же группе Джавахетских землетрясений относится несильное Гукасянское 27.06.73 (41° с.ш., 43,1° в.д.,  $h = 10$  км,  $M = 3,6$ ,  $I_0 = 5$  баллов). В заметке А.Х. Баграмяна и соавторов (1974) г. подчеркивается роль блоковой тектоники в пределах "Севано-Ширакского антиклинория" и указывается на то, что "соприкасающиеся вдоль разлома тектонические блоки, располагаясь на различных уровнях, имеют одну и ту же разницу максимальных высотных отметок водоразделов" (с. 156). Особое значение авторы придают Мармаршенскому разлому, по которому "Анатолийско-Малокавказская складчатая система отделяется от Центрально-Иранского массива". К этой зоне "приурочен ряд крупных и малых интрузий различного состава и возраста, центры вулканического извержения и эпицентры землетрясений" [Там же].

Что касается статьи [727], о которой упоминает О.Д. Гоцадзе, то она представляет действительно хотя и краткий, но ясный и квалифицированный очерк геологического строения нагорья и его сейсмотектоники. При анализе сейсмических проявлений ее авторы встретились с необходимостью "нанести более 1000 эпицентров", что привело бы к тому, что основная часть нагорья "будет столь испещрена точками, что ни о каком населении на нее геологических элементов не может быть и речи" (с. 169). Поэтому авторы предпочли заменить точки (эпицентры землетрясений) "изолиниями, показывающими количество эпицентров, приходящихся на каждый прямоугольник координатной

<sup>1</sup> Я принял бы за границу активного слоя 10–15 км. — Г.Г.

сети со сторонами, равными  $0^\circ$ ,  $1^\circ$  '' (с. 169), другими словами, перед нами одна из первых попыток того изображения сейсмических явлений, которое позже стало именоваться "сейсмической активностью". В итоге "нет никаких непосредственных данных о характере тектонического строения того субстрата, который скрывается под молодыми вулканическими образованиями Джавахетского нагорья" (с. 170). Авторы находят возможным указать лишь на то, что какою-то роль могут сыграть меридиональные направления (меридиональный разлом, проходящий по Абул-Самсарскому хребту, а также параллельный ему лавоподводящий разлом — Кечутский канал).

Южная часть нагорья, указывают авторы, раздроблена на столь малые блоки, что тектонические напряжения, как правило, "не успевают достичь значительной концентрации и находят свое разрешение в слабых, но частых подвижках" (с. 172). О таком своеобразии эффекта "степени тектонической раздробленности" говорил, между прочим, аспирант С.Б. Шанов (МГУ) в своей диссертации по сейсмотектонике Болгарии.

Глубина очагов землетрясений Джавахетского нагорья, как правило, невелика. В 1950—1951 гг. здесь функционировали временные сейсмические станции; по данным станций оказалось, что гипоцентры 50 землетрясений лежали на глубине от 0 до 10 км, в 26 случаях — от 11 до 29 км, и в 9 случаях — от 21 до 30 км. Приблизительно те же цифры были получены станциями в 1956 г. Я уже отмечал, что по данным Э.А. Джибладзе 1960 г., в пределах нагорья 60% очагов землетрясений залегает на глубине до 5 км, 31% — до 10 км, 9% — до 20 км.

В работе [766] тщательно проанализированы многие детали сейсмического режима Джавахетского нагорья, высказан ряд интересных идей и для 14 землетрясений Джавахетского нагорья определены динамические параметры... Последние характеризуются "большим углом падения плоскости разрывов и почти вертикальным направлением подвижек сбросового характера" (с. 247). И затем: "Все очаги землетрясений Джавахетского нагорья расположены внутри земной коры" (с. 249). В коре — да, подвижки "сбросового характера" — тоже можно согласиться, но откуда вдруг появляются разрывы?

И.В. Кириллова еще в 1952 г. [612] подробно рассмотрела всю историю сейсмических событий в пределах Джавахетского (Ахалкалакского) нагорья и пришла к следующим выводам: "1. Ахалкалакское нагорье в целом характеризуется повышенной сейсмичностью по сравнению с территорией всего Кавказа... 2. В отношении проявления сейсмичности эта территория ведет себя очень неравномерно (сильные землетрясения на севере, слабые — на юге. — Г.Г.)... 3. Полоса эпицентров слабых землетрясений... протягивается в ВСВ направлении... 4. Нет оснований связывать сейсмичность Ахалкалакского нагорья с видимыми на поверхности тектоническими разрывами. 5. Северо-восточное простирание плейстоценовых областей Ахалкалакского и Табакурского землетрясений заставляет предполагать наличие вытянутых в том же направлении невидимых на поверхности глубоких разломов фундамента"... (с. 23). По этому поводу замечу, что если "нет оснований" связывать землетрясения с "видимыми на поверхности разрывами", то тем меньше оснований искать эту связь с "невидимыми на поверхности разрывами". Ну, а в целом: "6. Вопрос о причинах сейсмичности Ахалкалакского нагорья для своего разрешения требует дальнейших исследований..." (с. 23).

Динамические параметры очагов землетрясений Джавахетского нагорья послужили также темой статьи Н.К. Карапетян [601]. Автор показала, что "поверхности смещений в очагах вытянуты в общекавказском или близком к нему простирании" (с. 262).

Некоторые новые аспекты в понимании геодинамических особенностей Джавахетского нагорья вносит статья [594]. Авторы замечают, что "между Ахалкалакским нагорьем и Казбекским регионом не существует сейсмогенетической связи... Сейсмогеологическое строение Ахалкалакского нагорья связано с сейсмогеологией Турции... Интенсивная сейсмичность Ахалкалакского нагорья вызвана, по нашему мнению, молодыми вулканическими движениями" (с.88). Мне кажется, что приведенным формулировкам не хватает ясности.

Одно из новейших, именно землетрясение Шахназарское 30.03.74, привлекло к себе внимание специалистов как типичное для Джавахетского нагорья. "По-видимому, очаг Шахназарского землетрясения находится в зоне Джавахетского разлома, глубже кровли кристаллического фундамента" [780, с. 30]. Здесь авторы ссылаются на работу А.А. Сорского [748], у которого, однако, упоминания о "Джавахетском разломе" мне найти не удалось; в статье предлагается идея о "линзах" земной коры.

По материалам О.Д. Гоцадзе [571] о динамических параметрах в пределах нагорья можно различить два типа "разрывов" (я бы сказал, "структур"): северо-западного и субмеридионального простирания, но главное — простирание большинства плоскостей разрывов "не совпадает ни с направлением поверхностных разрывов, ни с ориентацией складок Ахалкалакского нагорья, ни с ориентацией глубинного разлома" (с. 295). Замечание это достойно внимания. Я вижу причину высокой сейсмической активности Джавахетского нагорья в том, что здесь пересекаются основные элементы альпийской (в том числе современной) тектоники Кавказа. Одно из направлений — дуга в складчатых сооружениях мегантиклинория Малого Кавказа, выраженная здесь структурами Сомхето-Карабахского антиклинория, самого Джавахетского нагорья и Восточной Анатолии. Другое проходит в субмеридиональном направлении и выражено в том комплексе геологических и геофизических признаков, о которых говорилось выше, с тем, что совокупность этих признаков позволяет говорить о наличии здесь Транскавказского сеймотектонического линеймента. Подтверждение этой идеи я вижу в данных сейсмологии, в частности в том, что на пространии от Ленинанкана до Гори (и далее к северо-востоку) сконцентрирована основная масса очагов землетрясений Малого Кавказа; Е.И. Бюс, анализируя землетрясения 1933—1938 гг., указывал на то, что "большинство эпицентров скучено в меридионально протягивающейся полосе шириною около 15 км". Затем в том, что многие сильные землетрясения обладали изосейсмальными зонами субмеридионального направления: Ахалкалакское 31.12.1899, Табакурское 7.05.20, Ахурянское 25.01.35 и расположенное южнее Ленинанканское 22.10.26. Наконец, в расположении и ориентировке основных параметров сейсмогенных дислокаций (я уточнил бы — сейсмогенных структур), среди которых имеются две основных группы: продольные, параллельные простиранию складчатых сооружений в районе и поперечные, т.е. меридиональные.

Сеймотектоническая зона № 21 — "Мисхано-Зангезурская", мегантиклинорий Малого Кавказа, Мисхано-Зангезурский хребет,  $N_m \approx 80 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_{IV}$ балл	Район
Октябрь 1827	40,5	44,8	09	5,0	7—8	Раздан
27.04.31	39,2	46,0	22	6,3	8—9	Зангезур (1)
12.05.31	38,8	46,3	21	5,3	6—7	Мегри
6.11.33	39,3	46,6	20	5,0	—	Кубатлы
30.09.77	40,1	45,0	10	5,5	—	Ереван

Мисхано-Зангезурский антиклинорий протягивается от Зангезурского хребта в северо-восточном направлении между оз. Севан и долиной Аракса к плоскогорью Арагац. В юго-восточной части антиклинория преобладают юрские осадочно-вулканогенные образования, к северо-западу сменяющиеся обширными выходами палеогеновых отложений. В изобилии встречаются вулканические породы основного состава вплоть до сплошных покровов лав четвертичного возраста с хорошо сохранившимися конусами многочисленных вулканов, включая Арагац (плиоцен-четвертичного возраста). В структурном отношении породы антиклинория следует относить к среднему структурному этажу эвгеосинклинальной зоны области альпийской складчатости Малого Кавказа. В обнаженных ядрах крупных антиклиналей вскрываются породы нижнего структурного этажа. В западной части на поверхности преобладают лавовые покровы, скрывающие структуру более глубоких горизонтов. Зафиксировано большое количество продольных разрывных нарушений, в том числе вдоль северного и южного ограничения антиклинория (Зангезурский и Ереванский глубинные разломы). Видное место в строении антиклинория занимает крупная гранодиоритовая интрузия неогенового возраста — юго-восточная часть Зангезурского хребта (Конгуро-Алангезский хребет).

В рельефе поверхности Мохоровичича здесь отмечен значительный прогиб, совпадающий в плане с антиклинорием; мощность коры превышает 50 км (см. рис. 8.8). Отрицательные аномалии силы тяжести, характерные для синклинория в целом, достигают по абсолютной величине почти максимальных для Кавказа значений.

Новейшие тектонические движения характеризуются преобладанием поднятий с суммарной амплитудой до 2—3 км (см. рис. 8.6), что отвечает крупным отрицательным аномалиям силы тяжести. Градиенты скорости вертикальных движений в некоторых



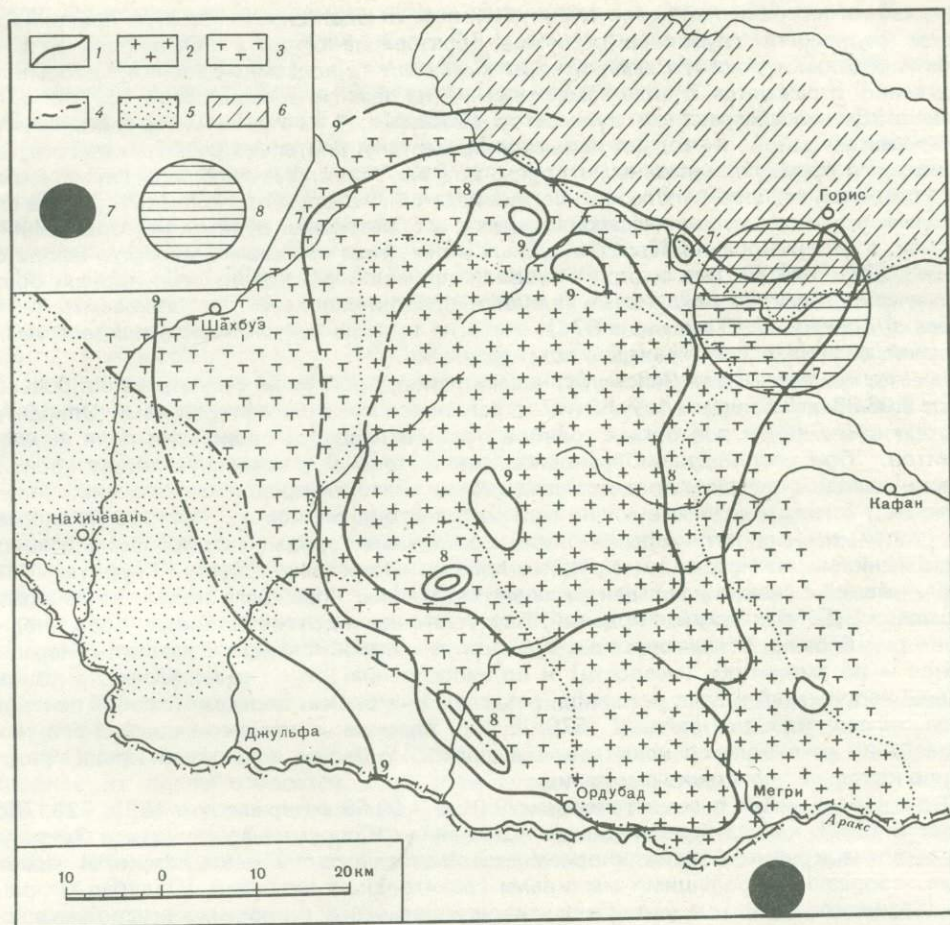
Рис. 8.17. Крупный блок коренных пород, сползший к р. Сулак при Дагестанском землетрясении 1970 г. (Фото В.Н. Крестникова)

местах достигают весьма высоких значений (более  $8 \cdot 10^{-9}$  единиц) — именно в южной части Зангезурского хребта, вдоль границы антиклинория с Араксинской впадиной (в полосе от Еревана до Нахичевани), вдоль северного ограничения антиклинория.

Наиболее значительным событием в сейсмической жизни этого региона за последние несколько десятилетий явилось Зангезурское землетрясение 27.04.31 — одно из крупнейших на Кавказе по своей величине ( $M = 6,3$ ). Его плетосейстовая область довольно велика ( $S_8 = 1400 \text{ км}^2$ ), и интенсивность в эпицентре оценивается в 8–9 баллов (рис. 8.17). Область распространения ощутимых колебаний  $S_4$  равна 200 тыс.  $\text{км}^2$ , что действительно ставит это землетрясение в разряд весьма значительных на Кавказе. Глубина очага землетрясения оценивается в 22 км, хотя имеются указания и на иное заложение очага — от 14 до 28.

Восьмибалльная изосейста Зангезурского землетрясения охватывает площадь, занятую гранодиоритовым массивом Конгуро-Алангезского хребта, который за новейший этап, т.е. после формирования интрузивного тела, испытывал устойчивое поднятие, достигающее суммарно 3,5 км (рис. 8.18).

Я склонен связывать Зангезурское землетрясение с процессом поднятия гранодиоритового массива в целом, что и отражается на распределении изосейст: «... наибольшие разрушения приурочены не только к контактам гранитов с осадочными толщами, но также к основным тектоническим линиям, определяющим собою район "послемиоценового поднятия": на юге — Халхал-Абракунысы и на севере — Сисиан—Татев ... Эпицентры афтершоков, полученные Н.В. Райко, в результате обработки им сейсмограмм трех временных сейсмических станций прекрасно иллюстрируют это положение» [569, с. 23]. Массив, как я имел случай выразиться, "отряхивается". К этой концепции присоединились Н.В. Райко [707], Н.В. Малиновский [660] и некоторые другие авторы. Н.К. Карапетян и соавторы [604] писали: "Район Мегринской интрузии и полоса вышеуказанных нарушений обладает повышенной сейсмической активностью, видимо обусловленной периодическими эпейрогеническими поднятиями массива, сопровождающимися "оживлением" упомянутых разломов" (с. 224). Да, правильно, но достаточно, вероятно, и одних поднятий.



Р и с. 8.18. Землетрясение 27.04.31 в Зангезуре, Армения [569]

1 — изосейсты землетрясения 27.04.31 (от 6 до 9 баллов); 2 — гранодиоритовая интрузия (эоцен); 3 — область постмиоценового поднятия; 4 — южная граница области поднятия; 5 — часть депрессии Аракса; 6 — относительная депрессия Уч-Тапаларского плато; 7 — эпицентр толчка 12.05.31 (афтершок); 8 — эпицентральная область землетрясений 9.06 и 1.09.68

Несколько иной интерпретации геологической обстановки возникновения Зангезурского землетрясения придерживался К.Н. Паффенгольц [694]. Он указывал на то, что основными линиями разрывных нарушений в юго-восточной части Малого Кавказа нужно считать два крупных надвига: северный проходит от северных берегов Севана к Степанакерту, южный отделяет Мисхано-Зангезурский антиклинорий от Араксинской впадины. Оба надвига при Зангезурском землетрясении "не проявляли каких-либо признаков жизни" (с. 937), но один из крупных повторных толчков Зангезурского землетрясения, именно 12.05.31 ( $M = 5,3$ ;  $I_0 = 6-7$  баллов), исходил из эпицентра, лежащего на границе Зангезура с Ираном, в эпицентральной зоне, тяготеющей "к средней междундвиговой зоне... к тому же занятой обширной неинтрузией гранодиоритовой магмы". Имеются, по мнению К.Н. Паффенгольца [695а], "юные тектонические нарушения, вдоль которых, возможно, и происходят некоторые подвижки, обусловившие указанное землетрясение". Мысль, изложенная К.Н. Паффенгольцем, представляется мне недостаточно конкретной.

В 1931 г. небольшую заметку о землетрясениях в Армении опубликовал П.И. Лебедев. Его интерпретация сейсмогеологической обстановки в данном районе еще более неопределенна. Автор обращает внимание на наличие в районе многочисленных минеральных источников и указывает на то, что "питающей их в глубине земной коры магмой

является магма гранитной неинтрузии, а путями, выводящими на земную поверхность, служат трещины тех глубинных разломов, образование которых и следующие за которыми передвижки участков земной коры вызывают те подземные толчки, которые так бедственно отражаются в виде землетрясений на земной поверхности" [637, с. 574]. Далее в том же абстрактном духе автор добавляет: "... отдельные землетрясения в сейсмическом районе не только являются моментами длительно совершающегося тектонического процесса, связанными друг с другом, но, кроме того, они служат одной лишь стороной тех сложных геологических явлений, которые проявляются также в глубинных и наземных вулканических явлениях, в образовании рудных месторождений и, наконец, в возникновении выходов ценных в лечебном отношении минеральных источников" [Там же]. И как итог: "Основной причиной постоянно себя проявляющего сейсмического района Закавказья являются продолжающиеся, так называемые тектонические процессы" [Там же, с. 571]. Что ж, в те годы тектоническая природа землетрясений, видимо, еще нуждалась в подтверждении.

Замечу, что здесь же, в Зангезуре, недавно вновь произошли землетрясения большой силы: 9.06.68 — 8 баллов и 1.09.68 — 7—8 баллов, со многими афтершоками. Эпицентры как основных, так и повторных толчков лежат в пределах обширного поля выходов гранитов. "Процесс внедрения гранодиоритов (в эоцене) в осадочную толщу хронологически совпал с началом процесса воздымания, которое продолжается до настоящего момента и в котором участвуют не только гранитоидные породы плутона, но и соседние, расположенные по периферии плутона осадочные породы. Этот процесс осложняется движениями по разрывам. Крупные продольные разрывы Хуступ-Гирритахский и Парагачайский ограничивают центральные части зоны новейшего поднятия по краям, разрывы же Дебаклинский, Гярдский, Баргушатский и другие разбивают общее поднятие на ряд блоков, обладающих различными режимами новейшего развития. Неравномерное — по амплитуде (скорости) и по направлению — движение блоков с концентрацией напряжений в зоне разломов, разделяющих блоки, определяет собой основные черты сейсмотектоники района" [570, с. 80]. Уточним: источником подземного удара и колебаний почвы служат испытывавшие деформацию блоки, в основном крылья разрывов, по которым произошло смещение.

Первые сообщения о землетрясениях 9.01 и 1.09.68 содержатся в [592, 729, 786]. В статье [592] констатируется общее положение: "Современная структура Зангезура представлена крупным антиклинорием северо-западного (общекавказского) простираения, прорванном большими массивами гранитоидных интрузий (Ордубад-Мегринское, Гехинское и др.) и нарушенными региональными разломами северо-западного простираения; с последними сопряжены подчиненные им нарушения северо-восточного и близширотного простираения" (с. 35).

Д.Н. Рустанович пишет определеннее: "Говоря о сейсмотектонической обстановке землетрясений 1968 г., можно указать, что их очаговая зона характеризуется областью глубокого (2—7 км) тектонического нарушения почти широтного простираения, протягивающегося в направлении с запада-северо-запада на восток-юго-восток. Это нарушение — разлом — проходит через Геги-Гердский интрузивный массив вблизи узла тектонического пересечения северо-западного, северо-восточного и ранее гипотетического, а ныне подтвержденного эпицентральной зоной субширотного направления [729, с. 42]. Автор приводит выразительную карту эпицентров повторных толчков.

В небольшой, но весьма существенной заметке Д.Н. Рустанович [297], касаясь результатов инструментальных наблюдений при Зангезурском землетрясении 1968 г., приходит к выводу, что "при увеличении энергии очага интенсивность ... колебаний на поверхности увеличивается" и "каждый источник ... возбуждает колебания, соответствующие разным слоям (мощностям) земной коры. Чем значительнее в энергетическом отношении источники (они же в большинстве случаев и наиболее глубокие при местных землетрясениях), тем они захватывают более мощные слои коры" (с.115). Из этих осторожных, но хорошо обоснованных формулировок следуют важные принципиальные выводы.

Еще более конкретные указания даются в статье Е.И. Широковой: "Оба землетрясения произошли в условиях горизонтально действующих напряжений сжатия примерно меридионального простираения (заметим, что геологический термин "простираение" к понятию о напряжениях обычно не применяется, — Г.Г.). Одна из возможных плоскостей разрыва (I) ориентирована примерно широтно. Ее простираение (здесь термин

использован правильно! — Г.Г.) совпадает с полосой эпицентров афтершоков землетрясения 9 июня (скорее, перпендикулярное к ней. — Г.Г.). Эта плоскость круто падает к югу. По-видимому, при землетрясении разрыв произошел по плоскости I. При этом верхнее (геолог сказал бы "висячее". — Г.Г.), южное крыло разрыва поднялось и сдвинулось на северо-запад" [796, с. 44]. Е.И. Широкова приводит схему "Ориентация осей напряжений и плоскостей разрыва в горизонтальной плоскости".

В связи с исследованиями Е.И. Широковой вспоминается прежняя работа В.Н. Котляра, который, анализируя геологическое строение Зангезура, писал: "... невозможно говорить о каких-либо других силах, как только о силах тангенциального направления, которые лишь и могли дать первые нарушения в виде образования основной складчатости, а также и ряда надвигов или крутых, нередко выполаживающихся книзу северо-западных взбросов, падающих на СВ" [625, с. 358—359].

Все в работе Е.И. Широковой [786], по-видимому, хорошо — расчеты правильны. Вот только разрыв... Мне бы хотелось уточнить свою позицию. Я, естественно, отнюдь не против существования разрыва как такового. Он существует "геологически", он мог "ожить" при землетрясении с теми "динамическими параметрами" о которых говорит Е.И. Широкова. Только полагаю, что не он был источником упругих сейсмических волн и остаточных деформаций крыльев, а наоборот, эти деформации материальной среды слоев в крыльях были причиной возникновения и разрыва, и подземного удара, и сейсмических волн, которые мы объединяем под термином "землетрясение".

Подобное замечание отнюдь не исключает известной активности проходивших в эпицентре тектонических разрывов, например Дебаклинского. С последним связаны многочисленные минеральные источники, содержащие в воде как летучие элементы, так и металлы. Автор диссертации на тему о динамике Дебаклинского разлома В.А. Игумнов (диссертация, 1971 г.) показал, что "изменение концентрации хлора в гидрокарбонат-хлоридных водах Дебаклинского разлома до и после землетрясения 1968 г. является отражением сейсмической активности и может служить одним из показателей в комплексном прогнозе землетрясений".

Может быть, стоит отметить, что в далеком прошлом в данной сейсмотектонической зоне (№ 21) не раз отмечались сильные (8-балльные) землетрясения и в других местах антиклинория: несколько случаев в VIII в., затем в 906 г. в Даралагезе [918] и др. Основное их число относится к области между меридианами 44,5° и 45° и одно (906 г.) — к району, расположенному северо-западнее Зангезура. Точность определения координат эпицентров для них невелика, но, по-видимому, можно констатировать, что они тяготеют в основном к участкам северного и южного ограничений антиклинория.

В одной из работ, именно [698], указывается на наличие в западной части антиклинория двух разломов, поперечных к северо-западному простиранию складчатых сооружений данного района: разлом "антикавказского" направления — от г. Геташен до оз. Акналич и разлом меридионального направления — от горы Арарат до пос. Апаран. Основными критериями при трассировании этих разломов служили эпицентры землетрясений (за тысячелетний период) и минеральные источники; и те и другие, как полагает автор статьи, концентрируются вокруг указанных выше двух линий. Мне кажется, что доказательств наличия этих двух разломов все же еще недостаточно: карта эпицентра, приведенная в той работе на с. 246, позволяет с одинаковой степенью достоверности провести и ряд других линий, в сущности, почти в любом направлении. Лишь одно из поперечных направлений, именно субмеридиональная "разданская" линия нарушений, установлена более или менее надежно.

В целом Мисхано-Зангезурский антиклинорий дает хорошие примеры как землетрясений краевой части зоны, т.е. ее контактов с соседними зонами, так и центральных частей — 27.04.31 в Зангезуре ( $M = 6,3$ ), а также 30.09.77 восточнее Еревана ( $M = 5,5$ ).

Сейсмотектоническая зона № 22 — "Севанская", Малый Кавказ, Севанская межгорная впадина,  $N_m \approx 70 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
14.11.16	40,8	44,4	26	5,3	6—7	Кировакан
30.01.67	41,0	44,3	05	5,0	6—7	Спитак

Севанская впадина, вытягиваясь в направлении ЮВ—СЗ, т.е. параллельно простирающую складчатых сооружений восточной части мегантиклинория Малого Кавказа, окаймляется с севера Сомхито-Карабахским, а с юга — Мисхано-Зангезурским антиклинориями. Сложенная в основном палеогеновыми образованиями, она в равной степени может считаться как межгорной впадиной, так и внутренним синклинорием, с обилием на поверхности вулканических аппаратов и связанных с ними потоков лавы.

На площади впадины располагается самое крупное на Кавказе озеро Севан. Его котловина "представляет собой типичную речную долину" [696], а возникновение в долине озера связано с запрудой вулканического происхождения, но тектонический фактор в формировании впадины озера полностью исключать не следует.

По периферии впадины проходят продольные дизъюнктивные нарушения, отделяющие впадину от смежных антиклинориев. Особое значение имеет так называемый Севано-Зангезурский глубинный разлом, отделяющий впадину от расположенного севернее Сомхито-Карабахского антиклинория. Ширина зоны разлома от места к месту меняется, достигая 5—10 км [556]. Несколько спорным является продолжение этого разлома на юго-востоке. А.А. Габриелян проводит его несколько западнее г. Кафан. Мне представляется более правильным вести его трассу восточнее г. Кафан. Так или иначе, разлом это является "важной структурной линией Антикавказа", причем зона разлома «продолжает "жить" и до сих пор» [556, с. 513].

Как любая крупная межгорная впадина, расположенная внутри альпийского подвижного пояса, Севанская впадина в своей восточной части (сейсмотектоническая зона № 22) не отличается силой и частотой землетрясений; эпицентры редко ложатся в пределы впадины, и магнитуда толчков невелика. Все известные толчки с  $M > 5,0$  связаны с более западными районами: Ленинанканское, Кироваканское, Спитакское землетрясения. Может быть целесообразнее их считать, как это делал А.Д. Цхакая, принадлежащими к Джавахетского вулканического нагорья (сейсмотектоническая зона № 20).

Вопрос о местоположении эпицентра Кироваканского (Зардобского) землетрясения 14.11.16 дискусионен. Первоначально для него давались координаты:  $40,9^{\circ}$  с.ш.,  $44,3^{\circ}$  в.д. Е.И. Бюсс дает другие координаты:  $41,0^{\circ}$  с.ш.,  $43,9^{\circ}$  в.д., что мне кажется более правильным; тогда землетрясение можно будет увереннее относить к Джавахетскому нагорью.

На продолжении Севанской впадины, к юго-западу от нее, расположена (уже в Турции) Карская впадина. Она занимает обширные пространства между Джавахетским нагорьем на севере и аналогичным поем сплошного развития вулканических пород на юге. Восточная часть впадины заходит в пределы Армении, в районе Ленинкана. Впадина по своей периферии отделена от смежных структур, по-видимому, разрывными нарушениями. Фундаментом впадины служат третичные и более древние отложения, испытывавшие, несомненно, альпийскую складчатость. Новейшие вертикальные движения характеризуются положительным знаком, но по абсолютному значению они уступают суммарной амплитуде поднятий в окружающих районах, что и обуславливает здесь формирование относительной депрессии. Невдалеке проходит известный крупный линейный меридионального направления — Транскавказский, о котором мы уже говорили; к нему тяготеют очаги сильных землетрясений Джавахетского вулканического плато (сейсмотектоническая зона № 20) и Ленинанканской сейсмотектонической зоны № 23. Сюда же подходит с юго-востока еще один глубинный разлом (Ереванский), отделяющий Араксинскую впадину от Мисхано-Зангезурского антиклинория.

Здесь, в Турции, известно большое число сильных землетрясений с  $M > 5,0$ , причем некоторые из них были катастрофами мирового значения: 13.09.24 в г. Эрзерум ( $M = 6,0$ ); 1.05.35, Дигор ( $M = 6,9$ ); 19.03.66, Варто ( $M = 6,2$ ).

Южнее Кавказа, в Турции, а также и в Иране, нередко происходят землетрясения более сильные, чем на Кавказе. Одно из них — 1939 г. в г. Эрзинджан. Сильное землетрясение испытал это город в 1111 г.; затем 1168, 1268, 1287, 1458, 1482, 1584 гг.; в 1784 г. — очень сильное землетрясение. И вот 26 декабря 1939 г. землетрясение распространилось на площади около  $200\ 000\ \text{км}^2$ . Погибло много жителей (до 23 000 человек). Очаг землетрясения был неглубоким.

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
22.10.26	40,7	43,7	08	5,2	7—8	Ленинакан
	40,7	43,7	07	5,7	8—9	"

В западной части Севанская впадина несколько расширяется, и ее строение усложняется. Значительное развитие получают вулканические проявления. В этой части впадина пересекается с полосой Транскавказского линейamenta, и соответственно изменяется ее сейсмический режим, поэтому будет удобным выделить западную часть впадины (районы Ленинакана — Кировакана) в особую сейсмотектоническую зону № 23.

Ленинаканские землетрясения 22.01.26 привлекли в свое время внимание ученых всей страны своими разрушительными последствиями. Существует обширная литература, в том числе и по вопросам проектирования сейсмостойких сооружений: исследования С. Абдалаяна, Е. Бюса, В. Гигинейшвили, Р. Добровольского, Д. Крынина, П. Лебедева и др. Обстоятельное описание землетрясения 1926 г. получили в книге [537], где собраны и описаны макросейсмические проявления и содержится предварительная обработка собранных сведений, приведена карта изосейст, различные таблицы и т.п.

Ленинаканское землетрясение состояло из двух основных толчков, в 16 и 19 ч (с минутами) по местному времени, и множества повторных. Интенсивность второго толчка оценивается в 8—9 баллов. Глубина очага была весьма небольшой, около 7—10 км. Площадь ощутимых колебаний примерно 70 тыс.км<sup>2</sup>, может быть, до 100 тыс, магнитуда до 5,7.

Тектоническая обстановка в районе очага недостаточно ясна. Изосейсты 6-, 7-, 8-балльные двух основных толчков проходят в северо-северо-восточном направлении по долине р. Арпачая вдоль границы с Турцией. Отношение большой и малой осей овалов, очерчиваемых изосейстами, таково, что позволяет говорить о линейности очага, о том, что активная структура, вызвавшая подземные толчки, ориентирована в север-северо-восточном направлении. Основные толчки представлялись более слабыми. Е.И. Бюс и В. Гигинейшвили, изучавшие это землетрясение [537], приводят такие сведения:

Толчок	Время (грузинское)	$I_0$ , балл	Координаты эпицентра		$h$ , км
			с.ш.	в.д.	
Первый	16 ч 04 мин	4—5	40° 38',5	43° 43',3	5
Второй	16 ч 44 мин	7—8	40° 40',9	43° 44',5	3—4
Третий	19 ч 59 мин	8—9	40° 42',7	43° 45',9	3

Данные таблицы позволяют говорить, по мнению ее авторов, о том, что "эпицентр перемещался по линейному эпицентру в определенном направлении, что было вызвано смещением фокуса по наклонной, вверх поднимающейся линии фокусов трех землетрясений 22 октября 1926 года" [537, с. 107]. В другом месте те же авторы пишут, что на глубине примерно 5 км "небольшая часть накопившейся энергии нашла выход в виде толчка, приведшего в движение подземные массы вдоль некоторой плоскости с большим углом падения и ориентированной ССВ—ЮЮЗ согласно линейному эпицентру этого землетрясения" [Там же, с. 105]. Затем последовал новый толчок в 16 ч 43 мин, "фокус которого находился в 3—4 км севернее . . . и ближе к поверхности, на глубине 3—4 км" причем "движение подземных масс вдоль фокальной поверхности имело и вертикальную составляющую" [Там же, с. 106]. Третий толчок — "репрезентативный", эпицентр которого "расположен в 4 км севернее эпицентра второго землетрясения . . . Все эти условия указывают на один и тот же плоскостный фокус, только третья фаза тектонического процесса, проявившая себя с большой силой и вызвавшая сложный комплекс движения подземных масс (горизонтальных по разным направлениям, вертикальных) в быстром чередовании их, брала свое начало в точке более северной и менее глубокой (глубина  $h = 3$  км), чем вторая" [Там же, с. 106]. Авторы склонны связывать эти толчки с изменением "барического давления".

Опасаясь того, что достоверность исходных данных, на которых построена таблица, приведенная выше, не такова, чтобы уверенно говорить о деталях процесса; но субмеридиональное направление сейсмогенной структуры, вызвавшей эти землетрясения, очевидно. К сожалению, геологических данных, подтверждающих существование здесь

такой структуры, пока еще нет, ибо "тектоническое строение района Ленинанкана, подобно Ахалкалакскому району, пока еще неизвестно" [546, с. 83]. Так было тогда, в 30-х годах, правда, сейчас картина лишь ненамного яснее.

Город лежит в центре обширной депрессии, выполненной четвертичными образованиями (аллювий, пролювий плейстоценового возраста, голоценовые лавовые покровы). Севернее, т.е. на границе с Джавахетским нагорьем, выходят палеогеновые отложения со складками и разрывами субширотного простирания (с тенденцией изгибаться к юго-востоку). Меридиональные простирания (например, в Мокрых горах) в пределах Ленинанканской впадины прослеживаются с трудом, но предполагаются, особенно ниже чехла новейших отложений. Здесь же проходит четко выраженная широтная полоса повышенных значений  $grad v$ .

Но тогда, в 1935 г., автор книги [546] был вынужден ограничиться тривиальной фразой: "нараставшие в земной коре на участке Ленинанканского плато в течение долгого ряда лет — под влиянием геологических сил напряжения созрели к моменту Ленинанканского землетрясения 22.X.1926 г." (с. 105).

Вопрос о сейсмичности северо-западной части Армении, в том числе района Ленинанкана, недавно рассмотрела в своей диссертации Т.О. Бабаян (1976). Т.О. Бабаян совершенно правильно замечает, что до настоящего момента сопоставление сейсмологических и геолого-тектонических данных производилось "1) в плане, без учета глубин очагов, 2) статично, без учета сейсмического режима, 3) на основании неполного материала о сейсмических событиях". Автор использует сравнительно полные каталоги, литературные источники и личные полевые наблюдения, но результат оказался, в сущности, таким же: Ленинанканское землетрясение произошло, по мнению автора, "вследствие подвижек масс восточного крыла разлома в северо-восточную сторону" Да, именно крыла . . . В [664], говоря о землетрясениях Армении, авторы пришли к выводу, что "повышенная сейсмическая активность наблюдается в указанном Кафанском, а также Ленинанканском районах; в последнем она, видимо, обусловлена разломами (увы, разломами! — Г.Г.) в близко расположенном жестком субстрате, временами "оживляющемся" (с. 223). Здесь же авторы отмечают, что на большинстве специальных карт разрывы в районе Ленинанкана не показаны.

Приходится вспомнить старинный рисунок С. Абдаляна [789, с. 3]. Автор провел линию геологического разреза от Арагаца на северо-запад, т.е. через Ленинанкан до возвышенности Чалдер. Судя по рисунку, долина р. Арпачья проходит по структуре типа грабена или небольшого рифта северо-восточной ориентировки. Современные рифты, как правило, отличаются повышенной сейсмической деятельностью. Не в том ли причина Ленинанканского землетрясения 1926 г.?

К западной части Севанской впадины (а может быть, к зоне № 20, т.е. к Джавахетской сеймотектонической зоне?) следует отнести Спитакское землетрясение 30.01.67. В [750] ситуация описывается так: "Эпицентр находится в области пересечения зон Анкаван-Сюникского и Спитак-Арагатского глубоких разломов соответственно юго-восточного и меридионального направлений . . . Можно говорить о подтверждении ранее высказанного (С.А. Пирузяном в [698]. — Г.Г.) прогноза наиболее вероятного возникновения землетрясений интенсивностью до 7 баллов в зонах дизъюнктивных узлов северной части Юго-Западной Армении . . . , расположенных в пределах тектонических структур со среднеальпийским возрастом складчатости" (с. 31). О таких гипотетических "узлах" и столь же гипотетических разломах я уже говорил.

*Сеймотектоническая зона № 24 — "Араксинская", мегантиклинорий Малого Кавказа, Араксинская межгорная впадина,  $N_m = 1000 \cdot 10^{-3}$  Дж/(м<sup>3</sup> · год)*

Сильные землетрясения ( $M \geq 5,0$ ) 1800—1980 гг.

Дата	$\varphi^\circ$ , с.ш.	$\lambda^\circ$ , в.д.	$h$ , км	$M$	$I_0$ , балл	Район
2.07.1840	39,7	44,4	18	6,7	8—9	Арагат
17.05.1841	39,4	45,0	15	5,7	7—9	Аракс
21.09.1881	39,1	45,4	15	5,0	6—7	Нахичевань

Араксинская впадина, выполненная третичными и четвертичными отложениями, представляет типичную внутреннюю межгорную тектоническую депрессию наложенного характера; она относится к верхнему структурному этажу  $N_1^2 - Q$  эвгеосинклинальной зоны Малого Кавказа. С севера и юга она ограничена либо флексурами, либо надвигами,

отражающими более глубокие нарушения типа глубинных разломов. Мощность коры здесь колеблется в пределах 45–50 км, с погружением поверхности М в северо-восточном направлении. Подробное описание геологического строения территории Нахичеванской АССР дает Ш.А. Азизбеков [486].

Гравитационные аномалии отрицательны. Новейшие вертикальные движения в абсолютном смысле положительны (с суммарной амплитудой до +1 км), но относительно прилегающего к впадине с севера Мисхано-Зангезурского антиклинория впадина опущена (см. рис. 8.8). Градиенты новейших движений внутри впадины невелики, но по границе со структурами Мисхано-Зангезурского антиклинория, где движения наиболее контрастны, градиенты достигают высоких значений. — более  $8-9 \cdot 10^{-9}$  единиц [486а и др.].

Впадина содержит очаги землетрясений двух типов.

Во-первых, сюда относятся очаги краевых частей впадины. Ярким примером служит разрушительное землетрясение 2.07.1840 с эпицентром в районе горы Арарат, проявившее себя с интенсивностью до 9 баллов и ощущавшееся на всем пространстве от Конгуро-Алангёзского хребта до меридиана  $44^{\circ}$  в.д. Оно было изучено Г.В. Абигом, а также Н.И. Воскобойниковым (1840 г.), Г.П. Гельмерсенем (1840 г.) и М.Вагнером (1843 г.) и сопровождалось большими обвалами скал и льда и извержением вулкана Арарат, "происшедшие от притока воды пары и газа своей чрезвычайной упругостью произвели сильное землетрясение" [660, с. 37]. Карту изосейст можно найти в [660]. Огромная, необычная для Кавказа, область распространений колебаний и высокая интенсивность колебаний в очаге говорят о том, что это не вулканическое, а тектоническое землетрясение, приуроченное к южному ограничению впадины.

Руководитель специальной комиссии, занимавшейся изучением последствий землетрясения 1840 г. Н.И. Воскобойников связывал (несколько абстрактно) подземные толчки с геологическими условиями местности, с действием упругих газов (?) на оболочку земной коры. Он считал, что в наиболее глубоких частях коры находятся якобы трещины и расположенные над ними участки поверхности разрушаются сильнее.

Упомянутые выше "краевые" очаги существуют и в восточной части Араксинской впадины. На них указывал Н.В. Малиновский [660] — именно Дарвишларский, Нахичеванский, Джульфинский, Ордубадский, Абракунисский очаги (с. 40–41). Вряд ли правильно считать эти очаги изолированными толчками. Они тоже связаны с подвижками масс вдоль краевых дислокаций, ограничивающих Араксинскую впадину на юго-востоке, где новейшие движения особенно интенсивны и контрастны. Землетрясения 17.05 и 21.09.1841 можно отнести к событиям именно такого типа.

Другим типом землетрясений, характерных для Араксинской впадины, служат гораздо более слабые подземные толчки, обладающие мелкими очагами и связанные с развитием локальных структур в осадочной толще, выполняющей впадину. Типичным примером служит 6–7-балльное землетрясение 28.10.16 в г. Игдыр (Турция) или 7.01.37 — в Ереване. Последнее землетрясение состояло из двух толчков, в 13 и 20 ч, причем второй был сильнее ( $M = 4,6, I_0 = 7$  баллов). Область ощутимых колебаний, однако, была совершенно незначительной ( $S_4 = 2$  тыс.км<sup>2</sup>), и потому можно предполагать, что глубина очага была не более 10 км. Т.М. Лебедева давала более высокую цифру — 26 км, что, скорее всего, завышено. Конкретные особенности тектоники эпицентральной зоны остались, к сожалению, невыясненными, но роль в возбуждении сейсмического толчка локальных структур в осадочной толще в данном случае неоспорима.

Само по себе Ереванское землетрясение 7.01.37 представляет большой интерес, но его целесообразнее рассматривать в связи с вопросом о сейсмичности территории Армении в целом. В одной из работ, касавшихся землетрясения 1937 г. в Ереване, а также сейсмичности Армении вообще [600], говорилось просто: "Орогенические движения и дизъюнктивные дислокационные явления как возбудители и причины землетрясения" (с. 491). Но то были тезисы доклада. Более основательна работа С.А. Пирузяна [700], затрагивающая ряд принципиальных вопросов методики сейсмогеологических исследований.

С.А. Пирузян подробно рассматривает историю сейсмических событий Армении, в том числе очень древних, их воздействие на состояние многочисленных памятников истории и архитектуры этой древней страны, останавливается на особенностях ее геологического строения и делает попытку детального сейсмического районирования террито-

рии республики, особенно внимательно рассматривая обстановку в так называемом Большом Ереванском районе (квадрат со сторонами по 60 км вокруг столицы).

Автор вполне прав, когда говорит: "Поскольку можно считать установленным, что землетрясения есть результат тектонических движений (процессов), то из вышесказанного следует, что сейсмоактивность отдельных регионов непосредственно и тесно связана с современными тектоническими движениями земной коры. Другими словами, наблюдаемая в действительности картина сейсмической активности данной области является адекватным отражением современных тектонических деформаций этой области. Более того, степень сейсмоактивности совместно с геоморфологическими, геодезическими и другими признаками является, как известно, одним из важных критериев интенсивности современных тектонических движений" (с. 48). Далее автор говорит о значении новейших движений, возраста складчатости — все правильно.

Но затем автор проводит операцию, которую трудно признать правомерной: соединяя эпицентры землетрясений или группы эпицентров линиями, С.А. Пирузян полагает, что тем самым намечаются трассы тектонических разрывов и, следовательно, "установлена четкая генетическая связь эпицентров значительных землетрясений с дизъюнктивными нарушениями района" [Там же, с. 77], ибо "на эти линии насажены довольно точно определенные эпицентры сильных и разрушительных землетрясений" [Там же, с. 52]. Логическая погрешность, допущенная автором, очевидна.

В равной мере это касается так называемых "сейсмических узлов", которые лежат якобы на пересечении продольных и поперечных "разрывов", выделенных таким же способом, т.е. по тем же эпицентрам. Геологическое основание, о котором говорит автор (цепочки минеральных источников и т.п.), весьма уязвимо. Новейшая карта разломов [178] никак не согласуется с картой С.А. Пирузяна.

Поскольку поперечные линии, выделенные таким способом, играют едва ли не решающую роль во всех дальнейших построениях и поскольку аналогичный прием используют нередко и другие авторы, я посчитал необходимым остановиться на этом вопросе, чтобы предостеречь будущих исследователей от рискованного пути.

Замечу, что фактический материал, собранный и описанный С.А. Пирузяном, вообще говоря, настолько богат и красноречив, что схема районирования, полученная автором, оказывается значительно более интересной и правильной, чем у многих других авторов. В частности, С.А. Пирузян подчеркивает высокую активность южной (юго-западной) половины Араксинской впадины в сравнении с северной (северо-восточной) и видит причину этого в гораздо более интенсивной тектонике в первом случае — контрастные новейшие движения с большим "вертикальным"<sup>1</sup> градиентом в среднеараксинской зоне, что отмечали еще Н.В. Думитрашко и Д.А. Лиленберг [588]. Работа [700] содержит ряд карт, большой список литературы, отличается тщательностью обработки исходных данных и большим вниманием к фактической стороне дела, особенно в отношении сейсмических воздействий на памятники древней архитектуры.

В другой работе, касаясь землетрясений Армении и вслед за Л.А. Варданянцем и Е.И. Бюсом, С.А. Пирузян [699] обращает внимание на так называемые "общие сотрясения" и предлагает концепцию их возникновения: "Сильный или главный сейсмический толчок в какой-либо точке сейсмогенного разлома вызывает дополнительно новые подвижки в других точках разлома (второстепенные очаги) и, следовательно, порождает сотрясения поверхности земли над этими точками, в большинстве случаев менее интенсивные, чем при главном толчке. В других случаях общих сотрясений, когда пункты одновременных и одинаковых сотрясений располагаются в разных направлениях, по-видимому, срабатывается некоторая система сейсмогенных разломов, взаимно связанных между собой и составляющих характерные дизъюнктивные узлы" (с. 45).

Родиной идеи об "общих сотрясениях" был Кавказ. Е.И. Бюс, Л.А. Варданянц, С.А. Пирузян искали причины столь оригинального распределения интенсивности колебаний. Я думаю, что "общие сотрясения" надо считать не исключением из общего правила, а естественным, логичным следствием идеи о "блоковом" источнике колебаний. С.А. Пирузян был близок к такой идее, но не преодолел "гипноза" сейсмогенных разрывов.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что исторические хроники дают для территории Араксинской впадины и соседних районов Армении сведения о боль-

<sup>1</sup> Вероятно, горизонтальный? — Г.Г.

шом числе сильных (не менее 8 баллов) землетрясений, в том числе в 851, 858, 863, 869, 893, 894, 972, 1319, 1679 гг., в основном в окрестностях древнего Двина, Ани и Гарни [751, 918]. К сожалению, данных для детального описания геологической обстановки, в которой возникли эти и многие другие землетрясения, у нас нет, и лишь статистика указывает на то, что территория Араксинской впадины в сейсмическом отношении была опасной. В свое время мне и многим другим товарищам казалось, что большая мощность рыхлых новейших толщ, выполняющих впадину, может привести к амортизации колебаний, т.е. ослабить степень реальной опасности, и мы рисовали в пределах впадины на нормативных картах сейсмического районирования 7-балльную зону. По-видимому, мы переоценили роль подобного фактора и будет правильнее допустить здесь возможность появления в будущем 8-балльных землетрясений, что и отражено на новой карте сейсмического районирования "СР-78" [304].

Недалеко от эпицентра Ереванского землетрясения расположен эпицентр Бюраканского землетрясения 3.06.49 ( $M = 3,9$ ,  $I_0 = 6-7$  баллов). Одно из позднейших землетрясений окрестности Еревана — 16.06.73 ( $M = 3,7$ ) описано в [509]. Здесь приводится разрез земной коры в районе Еревана: ~6 км — седиментный слой, до глубины 20 км — "гранитный", далее — "промежуточный", и до уровня 46 км — "базальтовый".

В целом рассматривая землетрясения Армении и в частности зоны депрессии среднего течения р. Аракса, авторы работы [604] были вынуждены ограничиться таким весьма общим положением: "Зона эта обладает повышенной сейсмической активностью, обусловленной, по-видимому, эпейрогеническими движениями близкого жесткого субстрата и "оживлением" разломов в местах сопряжения складок разных направлений (кавказского и антикавказского в Приереванском районе)" (с. 225). Примерно такая же формулировка была принята в той статье для Лениканского (с. 223) и Мегринского (с. 224) районов.

Еще давно — я об этом уже говорил — К.Н. Паффенгольц [695] высказал оригинальную, но принципиально важную мысль о том, что "существенное значение для этой сейсмической области (долина р. Аракса — Г.Г.) в ее тектонической структуре имеют складки (подчеркнуто мною. — Г.Г.), так как никаких (подчеркнуто автором) разломов и сбросов здесь при детальных съемках не констатировано" (с. 803). Автор перечисляет ряд складок самой различной ориентировки и указывает на то, что они "сходятся (смыкаются) веерообразно на правой стороне Аракса в Игдырском районе и у северного подножия горы Арагат; здесь, следовательно, должны происходить наиболее сильные землетрясения" [Там же]. "Таким образом, — заключает К.Н. Паффенгольц, — причиной землетрясений данного района надо считать тектонические напряжения, возникающие при продолжающемся время от времени формировании указанных складок" (с. 803). Это положение уже близко к тому, что хотелось бы мне защищать. Да, перемещение масс, структур, объемов ("складок") земной коры служит источником землетрясений с мелкими очагами. В случае более глубоких очагов поверхностные тектонические структуры служат лишь отражением более глубоко заложённых деформаций. В обоих случаях процесс освобождения упругой энергии может сопровождаться возникновением не только складчатых деформаций и связанных с ними землетрясений, но иногда и разрывных дислокаций, на которые расходуется часть энергии. К таким размышлениям и ассоциациям ведет короткая заметка [695], посвященная в основном вопросам геологии Армении.

Вопрос первостепенной важности — сейсмическая опасность для Еревана, столицы республики [770]. В городе начиная с 1800 г. отмечено около 50 землетрясений (на самом деле, вероятно, больше). Из них некоторые достигали по интенсивности 7 баллов — 2.07.1840, 25.01.10, 7.01.37, многие — 6 баллов. Для древней истории Еревана имеются описания многих, в том числе и более сильных землетрясений. Вокруг города расположено большое количество очагов, проявлявших себя разрушительными землетрясениями. За последние 100 лет здесь не было очень сильных толчков, но геологическая обстановка такова, что к ним следует подготовиться. Поэтому для Еревана следует предложить в качестве цифры исходной сейсмичности 8 баллов. А.П. Демехиным (1949 г.) недавно разработана схема сейсмического микрорайонирования для территории города. Имеются и более поздние работы. По данным Ю.А. Ризниченко [47], 8-балльные землетрясения происходят в городе 1 раз за несколько тысяч лет, 7-балльные — значительно чаще.

Кавказ на юго-востоке граничит с Ираном. В этой стране землетрясение — частый

гость; см., например: Сани уд-Доулэ "Насирова, приведенная в порядок, история" — всеобщая история, составленная по годам и посвященная шаху Насир-Уддину. Книга вышла в свет в трех томах в Тегеране в 1880—1883 гг. В ней говорится (перевод А.А.Семенова): "В 241 г. в р.Рее произошло сильное землетрясение, причинившее массу разрушений и погубившее множество народа, оно продолжалось 40 дней. В то же время поднялся ураган небывалой силы, несшийся из Туркестана на Серакс и достигший Нишапура, Рее и Хульвана" [т. 1, с. 94]. 241 г хиджры соответствует 855 г. нашей эры. Город Рей находится близ Тегерана. В 346 г. (957 г.) произошло "исчезновение земель от сильного землетрясения в Рее и Талекане. Было такое землетрясение в Персидском Иране, когда горы раскалывались, селения высоко подбрасывались на воздух и короткое время оставались там, как бы повисшими (в воздухе), а потом вместе с жителями падали на землю. Земля разверзалась, и из ее недр выходил зловонный черный дым" [т. 1, с. 97].

Какими путями проникает столь странная фантазия в труды историко-географического содержания, трудно сказать. Легенда жила почти 1000 лет, прежде чем попасть на страницы рукописи Сани уд-Доулэ — вероятно, за такой срок она могла претерпеть любые модификации. Но даже деформированная вековыми наслоениями, она сохраняет значение свидетельства об ушедших, но реальных событиях прошлого.

Более достоверные случаи — такие выдающиеся события, как катастрофа в Дилмане (Иран) 6.05.30 ( $M = 7,3$ ,  $I_0 = 9-10$  баллов) или на северо-восточных берегах оз.Ван (Турция) 24.11.76 ( $M = 7,0$ ,  $I_0 = 9-10$  баллов).

О землетрясении в районе оз.Ван 1976 г. авторы [510] сообщают, со ссылкой на [616]: "... очаг землетрясения в районе озера Ван, по-видимому, относится к поперечной зоне, которая протягивается с севера от Ставрополя через Приказбекскую зону и Ахалкалакское нагорье на юг на территорию Туркмении (вероятно, опечатка, надо — Турция. — Г.Г.) и Ирана, в районы озер Ван и Урмия" (с. 18).

Между прочим, озеро Ван возникло в то же время, что и оз. Севан, "примерно на границе плиоцена и постплиоцена", причем оба они "ярко выраженного плотинного типа (лавовая запруда)" [696, с. 137]. Котловина оз.Урмия сформировалась окончательно в раннем постплиоцене, но "соединяет в себе два генетических типа — плотинный (более древний, запруда вулканической толщей) и тектонический (прогиб в нижнем<sup>1</sup> постплиоцене)" (с. 137).

Ближе к нашей территории находится эпицентр землетрясения в Игдыре (Турция) с  $M = 5,7$ ,  $I_0 = 7 \div 8$  баллов и некоторые другие (с  $M > 5,0$ ). Впрочем, это землетрясения зарубежные.

Что касается территории Нахичеванской АССР, т.е. юго-восточной части Араксинской впадины, то этому вопросу специальное внимание уделял Н.В. Малиновский [660]. Автор говорит о признаках "значительной сейсмической неустойчивости" и о том, что "особенно сильно эта неустойчивость должна проявляться там, где сравнительно молодые дислокационные линии встречаются со старыми линиями разлома" (с. 34).

## 8.9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КАВКАЗА

Итак, мы приходим к следующим выводам.

Кавказ, эпигеосинклинальный ороген альпийского возраста, обладает значительной активностью в сейсмическом отношении. Относительно сильные землетрясения присущи здесь участкам, характеризующимся следующими особенностями:

1. Резкие осложнения в структуре коры; в том числе — в рельефе поверхности Мохоровичича.

2. Массивы крупных антиклинорий (центральные и краевые их участки) при наличии в их пределах признаков интенсивных, дифференцированных, новейших (в том числе и современных) движений (в особенности массивы, разделенные на продольные блоки с формированием крупных разрывов между ними).

3. Обширные поля развития интенсивных альпинотипных складчатых нарушений с признаками новейших подвижек по ним или по связанным с ними разрывам.

4. Зоны перехода от областей с преобладанием интенсивных вертикальных положи-

<sup>1</sup> Лучше сказать, в раннем плиоцене. — Г.Г.

тельных движений к областям с преобладанием отрицательных движений (с углублением очагов землетрясений в сторону зон погружений).

5. Краевые части молодых наложенных складок в третичных отложениях (при мелком заложении очагов землетрясений).

6. Ярко выраженные отдельные складки в третичных отложениях (при мелком заложении очагов землетрясений).

7. Участки резких изгибов простираания альпийских структур (комплексов структур, альпийских складчатых зон).

8. Поперечные линейменты (как правило, гетерогенного строения) и их пересечения с основными продольными дислокационными зонами.

9. Активные тектонические выступы — горизонтальные (например, Дагестанский клин), вертикальные (например, Кюрдмирский "мост").

10. Периклинальные окончания структурных элементов (в том числе осевых линий) альпийских антиклинорий с возникновением нарушений переходного типа (складки, флексуры, ступени) и резким поворотом простирааний.

11. Участки перестройки тектонического плана в новейший этап развития структур.

12. Зоны активного кайнозойского вулканизма и криптовулканические (магматические) структуры.

13. Районы изостатической неуравновешенности, аномалий силы тяжести крупных градиентов силы тяжести.

14. Районы широкого развития палеосейсмодислокаций.

Все перечисленные элементы структуры объединяются одним общим свойством — интенсивным проявлением, хотя и в различных формах, новейших (современных) геодинамических процессов, что выражается в соответствующих характеристиках рельефа поверхности, строения коры, дислокаций, магматизма, геофизических полей и т.п.

### Сейсмическое районирование

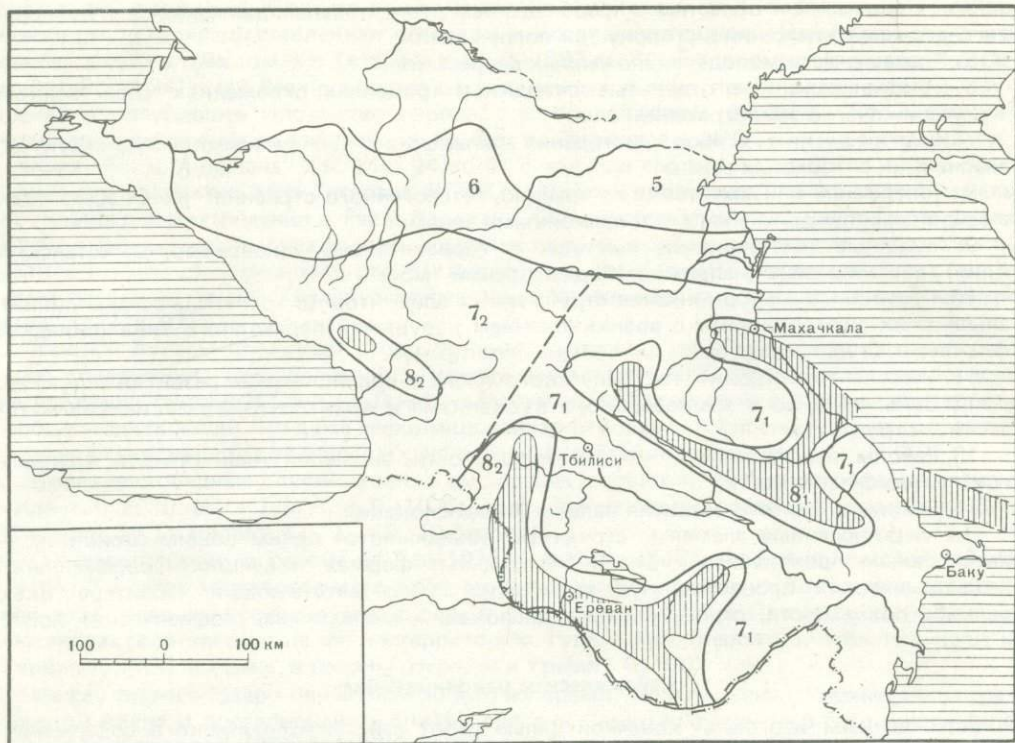
Естественным итогом и конечной целью работ сейсмогеологического содержания служит общее сейсмическое районирование ОСР. Решение задач общего сейсмического районирования может быть найдено, как известно, на путях совместного исследования и сопоставления сейсмологических, геологических и геофизических исходных данных, как было задумано еще в 30-х годах Д.И. Мушкетовым [275]. Другими словами, методологической основой ОСР служат исследования в области сейсмогеологии. Именно на такой базе строятся конечные решения проблемы ОСР, карты ОСР различного масштаба и различных акцентов, содержащие те или иные сведения нормативного характера, т.е. используемые в практике сейсмостойкого строительства.

Общая литература по ОСР была рассмотрена в главе 1. Что касается литературы по ОСР собственно Кавказа, то она довольно обширна, начиная от первых работ Е.И. Бюса [524 и др.] и кончая соответствующими главами позднейшей коллективной монографии "Сейсмическое районирование территории СССР" [304].

В 1958 г. М.М. Рубинштейн сформулировал требования к геологическим критериям, по которым можно судить о степени сейсмической опасности [725], используя для этой цели материалы по территории Грузии. И позже касались вопросов СР Грузии М.М. Рубинштейн, О.М. Майсурадзе и многие другие авторы. То же и по другим республикам Закавказья.

В качестве весьма своеобразного отклонения от общепринятых методов сейсмического районирования отмечу любопытную карту для Закавказья [487]. Авторы справедливо указывают на значение сведений о сильных землетрясениях давно прошедших веков, приводят списки таких землетрясений (около 40 за IX—XVIII вв.), отмечают зависимость внешнего эффекта подземных толчков от местной геологической обстановки. Это все хорошо. Но карта, относимая авторами к категории карт сейсмического районирования ("опытная схема сейсмического районирования территории Кавказа и, с достаточной полнотой, территории Грузии" (с. 16), имеет, по-видимому, какой-то иной смысл и должна именоваться иначе; таким же отклонением от принятых методов ОСР служат, например, карты А.И. Михалевского [671] или С.В. Пучкова [879].

В Азербайджане большое внимание уделялось задаче СР Апшеронского полуострова — серия докладов на совещаниях по СР в 1949 г.; в 1957 г. — доклады и статьи М.Г. Агабекова, А.В. Асланяна, С.Е. Башинджагяна, В.П. Кузнецова, Ф.Т. Кулиева, З.З. Султановой, Э.И. Шихалибеги и др.



Р и с. 8.19. Карта сейсмического районирования Кавказа [304]  
 Обозначения см. на рис. 5.1

Много работ принадлежит М.Г. Агабекову. В одной из них автор [237] рассматривает вопрос о методах сейсмического районирования, подчеркивает роль поперечных, т.е. субмеридиональных сеймотектонических линий, которые выявляются по критерию одновременности землетрясений в разных, порою весьма удаленных друг от друга пунктах.

Большое значение имел сборник "Сейсмическое районирование СССР" [303] со статьями Н.К. Карапетяна и других ученых по Армении, Ф.Т. Кулиева и соавторов — по Азербайджану, Е.И. Бюса и соавторов — по Грузии, И.В. Ананьина — по Северному Кавказу. Сведения о землетрясениях в статьях сборника изложены и обработаны на хорошем уровне, отражая успехи региональной сейсмологии за время после издания аналогичного сборника [15]. Отмечу одну из позднейших работ Р.А. Агамирзоева [483].

В Армении — работы А.А. Габриеляна и С.А. Пирузяна 1972 г. [559], коллектива авторов 1976 г. [560].

Теоретические проблемы СР, а также проблема СР всей территории региона затрагиваются во многих работах. Укажу на доклады совещания 1952 г.; на статью И.В. Кирилловой и А.А. Сорского [618], в которой содержатся соображения по вопросам методики СР, а также ряд карт: "Плотность эпицентров Кавказа и динамические параметры очагов", "Расположение главных глубинных структур и разломов Кавказа", "Сейсмическое районирование Кавказа в масштабе 1:1 000 000". Напомню о монографии Б.А. Борисова, Г.И. Рейснера, В.Н. Шолпо [519].

В несколько ином направлении развиваются исследования, направленные на установление "сейсмического риска" — исследования, также имеющие в основе своей статистическую обработку исходных сейсмологических материалов. Здесь уместно указать на статью В.И. Бунз и соавторов "О сейсмическом риске на территории Кавказа" [683], а также на многочисленные работы В.И. Кейлис-Борока.

Остановлюсь на последней карте "СР-78" [304] (рис. 8.19). Как уже отмечалось

ранее, она по сравнению с прежними несет некоторые новые элементы спецнагрузки: эпицентры сильных землетрясений прошлого; показатели средней частоты сотрясений той или иной интенсивности; зоны "ВОЗ" — возможного возникновения очагов сильных ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений и, естественно, зоны нормативной интенсивности (не максимальной, а именно нормативной, т.е. той, которую рекомендуется учитывать при строительстве). Для Кавказа описание дается по республикам: глава 15 (Северный Кавказ) — авторы О.А. Асманов, Р.А. Левкович, А.М. Магомедов, М.Н. Смирнова; глава 16 (Грузия) — И.В. Айвазишвили, Э.А. Джибладзе, В.Г. Папалашвили, М.М. Рубинштейн; глава 17 (Армения) — А.Х. Баграмян, А.А. Габриелян, Н.К. Карапетян, С.А. Пирузян, Г.П. Симонян; глава 18 (Азербайджан) — Ф.С. Ахмедбейли, Ф.Т. Кулиев, Э.Ш. Шихалибейли.

Для Кавказа получается следующая картина (см. рис. 8.19): 8-балльная зона охватывает значительные площади на Малом Кавказе, затем на южных склонах Большого Кавказа и в северном Дагестане, вся остальная площадь относится к 7-балльной зоне, 9-балльные сотрясения очень мало вероятны, они не показаны, 6-балльная зона окаймляет весь Кавказ широкой полосой вдоль Предкавказья. Частота возможных землетрясений дается на карте специальными индексами. Баку и Тбилиси расположены в 7-балльной сейсмической зоне, Ереван — в 8-балльной.

Для многих городов Кавказа имеются карты сейсмического микрорайонирования (МСР). Первые попытки в этом отношении связаны с именем Вас.Вл. Попова. Затем для городов Азербайджана — статьи С.Е. Башинджагана, Ф.Т. Кулиева; Армении — А.П. Демёхина, С.А. Пирузяна; Грузии — И.А. Гзелишвили, А.Н. Сафаряна, Ш.Г. Напетваридзе и др.; Дагестана — Г.Г. Бунина, И.Л. Ревелиса и др.; для некоторых пунктов Краснодарского края — А.З. Каца и др.

Имеется опыт и детального сейсмического районирования (ДСР). Близко к вопросам СМР стоят работы по инженерной сейсмологии, а также инженерной геологии, например Ш.Г. Напетваридзе [676]. Более полный список изданий приведен в главе 1. ~~приведен в~~

Напомню, что сейсмическое микрорайонирование уточняет балльность каждого пункта, т.е. переводит первончальную, исходную цифру балльности, вытекающей из ОСР, в цифру окончательную, расчетную. Осуществляется эта операция при учете влияния на внешний эффект землетрясения местной геологической обстановки (качество грунта, условия рельефа, гидрогеология, особенности местной тектонической обстановки и т.п.).

Предлагаемый анализ сеймотектонических условий на Кавказе позволяет внести некоторые поправки или дополнения к той схеме сейсмического районирования, которая дается картой СР-78. Однако я привожу здесь именно вариант СР-78 как официальный документ, принятый Госстроем СССР для оценки мероприятий по сейсмостойкому строительству на всей территории Советского Союза (с января 1982 г.), и оставляю проблему уточнения карты сейсмического районирования до следующего общего пересмотра и издания карты. Замечание это касается всех регионов.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

1. *Авдулов М.В.* Проблема эволюции земной коры на примере Кавказа и Крыма. М.: Наука, 1970. 100 с.
2. *Айзекс Б., Оливер Дж., Сайкс Л.* Сейсмология и новая глобальная тектоника. — В кн.: Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974, с. 133—179.
3. *Аманд П.С.* Два способа оценки сейсмичности. — В кн.: Слабые землетрясения. М.: Изд-во иностр. лит., 1961, с. 519—525. На англ. яз.
4. Атлас землетрясений в СССР/Под ред. Е.Ф. Саваренского, С.Л. Соловьева, Д.А. Харина. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 337 с.
5. *Буллен К.Э.* Введение в теоретическую сейсмологию. М.: Мир, 1966. 460 с.
6. *Бюс Е.И.* Наблюдения над землетрясениями в Закавказье. — Тр. Закавк. ин-та сооружений, Тифлис, 1931, вып. 3, с. 1—35.
7. *Гамбурцев Г.А.* Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 461 с.
8. Гоби-Алтайское землетрясение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 391 с.
9. *Голицын Б.Б.* Лекции по сейсмометрии. СПб., 1912. 654 с.
10. *Голубева Н.В.* Каталог сильных землетрясений земного шара с 1953 по 1967 годы с  $M \geq 6$ . М.: ВИНТИ, 1972. 164 с.
11. *Горшков Г.П.* Землетрясения на территории Советского Союза. М.: Географгиз, 1949. 119 с.
12. *Горшков Г.П., Шенкарева Г.А.* О корреляции сейсмических шкал. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1958, № 1 (168), с. 44—64.
13. *Горшков Г.П., Якушова А.В.* Общая геология. М.: Изд-во МГУ, 1973. 592 с.
14. *Дарбинян С.С.* Количественная оценка интенсивности и взаимодействия сильных землетрясений: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 1977. 48 с.
15. Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 412 с.
16. Землетрясения в СССР, 1962—1979 гг. М.: Наука, 1964—1983.
17. *Зоммерфельд А.* Механика. М.: Изд-во иностр. лит., 1947. 392 с.
18. *Горшков Г.П., Шебалин Н.В., Шенкарева Г.А., Щукин Ю.К.* К энергетической характеристике зон сейсмической активности. — Геофизика, 1969, № 6, с. 16—22.
19. *Кропоткин П.Н., Поляк Б.Г.* Энергетический баланс Земли. — В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Наука, 1973, с. 7—24.
20. Магнитуда и энергетическая характеристика землетрясений. М.: Наука, Т. I. 1974. 219 с.; Т. II. 221 с.
21. *Матвеев П.С., Голубицкий В.Б.* Влияние приливообразующих сил Луны и Солнца на частоту землетрясений Закавказья. — Тр. Полтав. гравиметр. обсерватории, 1961, т. 10, с. 67—74.
22. *Медведев С.В.* Новая сейсмическая шкала. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1953, № 21, с. 110—114.
23. *Медведев С.В.* Соотношение между глубиной очага землетрясения и изосейстами. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1959, № 5, с. 94—99.
24. *Медведев С.В.* Международная шкала сейсмической интенсивности. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, ч. 1, с. 157—162.
25. *Медведев С.В., Шебалин Н.В.* С землетрясением можно спорить. М.: Наука, 1957. 131 с.
26. *Монтессю де Баллор Ф.* Сейсмичность Русского государства. СПб.: Геол. ком., 1899. Т. 18, с. 195—233.
27. *Мушкетов И.В., Орлов А.П.* Каталог землетрясений Российской империи. — Зап. РГО, 1893, т. 26. 582 с.
28. *Назаров А.Г., Дарбинян С.С.* Основы количественного определения интенсивности сильных землетрясений. Ереван, 1974. 165 с.
29. *Напетваридзе Ш.Г.* Некоторые задачи инженерной сейсмологии. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 162 с.
30. *Нечаев В.А.* Шкала ускорений сейсмических колебаний грунта и их воздействие на сооружения. — Бюл. по инж. сейсмологии, 1975, № 9, с. 19—31.
31. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
32. *Поваров Г.Н.* Ампер и кибернетика. М.: Сов. радио, 1977. 95 с.
33. Подробная шкала для определения силы землетрясений, обработанная А. Зибергом на основании шкалы Меркалли—Канкани. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. 2 с.
34. *Раутиан Т.Г.* Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений. — Тр. ТИССС АН ТаджССР. Сталинабад, 1960, т. 7, с. 41—96.
35. *Ризниченко Ю.В.* Об изучении сейсмического режима. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 9, с. 1057—1074.
36. *Ризниченко Ю.В.* О возможности расчета максимальных землетрясений. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1962, № 25, с. 5—15.
37. *Ризниченко Ю.В.* Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1964, № 7, с. 969—977.
38. *Ризниченко Ю.В.* Об активности очагов

- землетрясений и сотрясаемости земной поверхности. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1965, № 11, с. 1—12.
39. *Ризниченко Ю.В.* Сейсмическая активность и энергия максимальных землетрясений. — В кн.: Проблемы геофизики Средней Азии и Казахстана. М.: Наука, 1967, с. 36.
  40. *Ризниченко Ю.В.* Сейсмическая активность и сотрясаемость. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 112—120.
  41. *Рихтер Ч.Ф.* Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 670 с.
  42. *Робертс Э.* Когда сотрясается Земля. М.: Мир, 1966. 176 с.
  43. *Розенталь Э.* Об определении глубины очага землетрясения. — Изв. ПЦСК, 1913, т. 5, с. 237—328.
  44. *Саваренский Е.Ф.* Землетрясения с глубокими очагами. — Тр. Сейсмол. ин-та АН СССР, 1940, № 96, с. 1—22.
  45. *Саваренский Е.Ф.* Сейсмические волны. М.: Недра, 1972. 293 с.
  46. *Саваренский Е.Ф., Курнос Д.П.* Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М.; Л.: Гостехиздат, 1949. 343 с.
  47. Сейсмическая сотрясаемость территории СССР (с атласом карт) /Под ред. Ю.В. Ризниченко. М.: Наука, 1979. 192 с.
  48. Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. 279 с.
  49. Слабые землетрясения. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 533 с.
  50. *Соловьев С.Л.* О классификации землетрясений по величине их энергии. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1955, № 30 (157), с. 3—21.
  51. *Соловьев С.Л.* Магнитуда землетрясений. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 83—102.
  52. *Соловьев С.Л.* Общий обзор сейсмичности СССР. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 165—210.
  53. *Соловьев С.Л., Джибладзе Э.А.* Об изменении потока сейсмической энергии с эпицентральных расстоянием. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1955, № 5, с. 462—463.
  54. *Солоненко В.П.* О неравномерности распределения интенсивности на поверхности Земли при землетрясениях. — Геология и геофизика, 1960, № 3, с. 122—126.
  55. *Солоненко В.П.* Шкала бальности по сейсмодислокациям. М.: Наука, 1975, с. 121—131.
  56. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы. М.: Прогресс, 1978. 440 с.
  57. *Стрелков С.П.* Механика. М.: Гостехиздат, 1956. 456 с.
  58. *Сюзхиро К.* Инженерная сейсмология. М.: Экон. жизнь, 1935. 168 с.
  59. *Тазиев Г.* Когда дрожит Земля. М.: Мир, 1968. 251 с.
  60. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 года. Ташкент: Фан, 1971. 672 с.
  61. *Уломоу В.И.* Внимание! Землетрясение! Ташкент: Узбекистан, 1971. 160 с.
  62. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс И.* Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1967. Т. 1. 267 с.
  63. *Чертов А.Г.* Международная система единиц измерений. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1967. 287 с.
  64. *Шебалин Н.В.* Соотношение между бальностью и интенсивностью землетрясений в зависимости от глубины очага. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1957, № 6, с. 122—126.
  65. *Шебалин Н.В.* Определение глубины очага по макросейсмическим данным с учетом слоя пониженной скорости. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1959, № 5 (172), с. 100—113.
  66. *Шебалин Н.В.* Определение очага землетрясений по его магнитуде  $M$  и макросейсмическим данным. — Тр. Ин-та геофизики АН СССР, 1960, т. 18, с. 159—169.
  67. *Шебалин Н.В.* Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 95—111.
  68. *Шебалин Н.В.* Макросейсмическое поле и очаг сильного землетрясения: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М.: ИФЗ АН СССР, 1969. 31 с.
  69. *Шенкарева Г.А.* Сейсмичность Апеннинского полуострова и прилегающих островов. М.: Наука, 1973. 102 с.
  70. Шкала для определения силы землетрясений: (Единые нормы строит. проектирования № 2, утв. Госпланом СССР 28.III 1931) — ОСТ-ВКС-4537. М.: Стандартгиз, 1931, вып. XIV. 7 с.
  71. Шкала для определения силы землетрясений в пределах от 6 до 9 баллов. — ГОСТ (взамен ОСТ 4537). ОСТ 4537). Группа ЖО2, утв. Гос. ком. по делам стр-ва при СМ СССР 26.V 1952. М.: Госстрой, 1952, с. 1—2.
  72. *Эдье Л.* Механизм возникновения глубоких землетрясений. — Бюл. Совета по сейсмологии, 1957, № 6, с. 89—95.

## Глава 2

### ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ (В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ)

73. *Алиев А.А., Буннат-Заде З.А.* Грязевые вулканы Прикуринской нефтегазоносной области. Баку: Элм, 1969. 143 с.
74. *Ананьин И.В.* Связь сейсмичности Русской платформы с современными тектоническими движениями. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1968, № 3, с. 282—295.
75. *Архангельский А.Д.* Несколько слов о генезисе грязевых вулканов Апшеронского полуострова и Керченско-Таманской области. — Бюл. МОИП. Н. С. Отд. геол., 1925, т. 33 (3), № 3/4, с. 269—285.
76. *Архангельский А.Д.* Геологическое строение СССР. М. Вып. 1. 1934. 224 с.; Вып. 2. 428 с.
77. *Батюшкова И.В.* Представления о причинах землетрясений в работах отечественных геологов. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 79 с.
78. *Белоусов В.В., Гзовский М.В.* Тектонические условия и механизм возникновения

- землетрясений. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1954, № 25 (152), с. 25—35.
79. Белоусов В.В., Сорский А.А., Бунз В.И. Сейсмотектоническая карта Европы. М.: Наука, 1967. 39 с.
80. Борисов А.А., Шенкарева Г.А. Сейсмогеофизическая характеристика Кавказа и запада Средней Азии. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1972, т. 47, № 6, с. 5—16.
81. Борисов Б.А., Рейснер Г.И. Выделение сейсмоопасных зон по геологическим данным. — Вестн. АН СССР, 1973, № 8, с. 61—64.
82. Борисов Б.А., Рейснер Г.И., Шолло В.Н. Выделение сейсмоопасных зон в альпийской складчатой области (по геологическим данным). М.: Наука, 1975. 139 с.
83. Былинская Л.Н., Мещеряков Ю.А. О связи градиентов скорости вертикальных тектонических движений земной поверхности с сейсмичностью на примере территории западной половины Европейской части СССР. — Докл. АН СССР, 1964, № 3, с. 586—589.
84. Васильев П.В. Сейсмичность Южной России и прилегающих к ней стран в связи с тектоникой. — Зап. Новорос. о-ва естествоиспытателей, Одесса, 1908, т. 31, с. 129—182.
85. Влодавцев В.И. Вулканы Земли. М.: Наука, 1973. 168 с.
86. Вулканизм и глубинное строение Земли. М.: Наука, 1966. Т. 3. 120 с.
87. Вулканизм и глубины Земли. М.: Наука, 1971. 396 с.
88. Гамбурцев Г.А., Вейцман Л.С. Сопоставление данных глубинного сейсмического зондирования о строении земной коры в районе Северного Тянь-Шаня с данными сейсмологии и гравиметрии. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1956, № 9, с. 1036—1043.
89. Геодинамика и полезные ископаемые/Под ред. А.А. Ковалева, М., 1976. 246 с.
90. Гзовский М.В. Тектоническое обоснование геологических критериев сейсмичности. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1957, № 2, с. 141—160 (ч. I); № 3, с. 273—289 (ч. II).
91. Гзовский М.В. Использование новейших и современных тектонических движений при детальном сейсмическом районировании нового типа. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1, с. 149—178.
92. Гзовский М.В. Тектонофизическое сопоставление новейших тектонических движений с сейсмичностью, гравитационными аномалиями, магнетизмом и глубинными процессами в пределах СССР. — В кн.: Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М.: Наука, 1964, с. 58—77.
93. Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976. 148 с.
94. Горшков Г.П. Александр Петрович Орлов: (Из истории русской сейсмологии). М.: Изд-во АН СССР, 1955. 62 с.
95. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
96. Горячев А.В. Основные закономерности развития Курило-Камчатской зоны. М.: Наука, 1966. 235 с.
97. Гришов А.Н. Рассуждение о землетрясениях и огнедышащих горах: сочинение покойного профессора астрономии А.Н. Гришова, Санкт-Петербургской Академии наук члена. — В кн.: Новые ежемесячные сочинения. СПб., 1794, с. 41—48.
98. Зобин В.М. Динамика очага вулканических землетрясений. М.: Наука, 1979. 92 с.
99. Интерпретация данных сейсмологии и неотектоники. — В кн.: Вычисл. сейсмология. М.: Наука, 1975. вып. 8. 192 с.
100. Карпинский А.П. Очерки геологического прошлого Европейской России. Пг.: Воен. тип. 1919. 148 с.
101. Карта градиентов скоростей вертикальных неотектонических движений территории СССР, масштаб 1:5 000 000/Под ред. Н.И. Николаева. М.: Мингео СССР, Минвуз СССР, 1965.
102. Карта новейшей тектоники СССР, масштаб 1:5 000 000/Под ред. Н.И. Николаева, С.С. Шульца. М.: Мингео СССР, 1959.
103. Карта новейшей тектоники СССР и сопредельных областей, масштаб 1:5 000 000/Под ред. Н.И. Николаева. М.: Минвуз СССР, Мингео СССР, 1979.
104. Карта новейшей тектоники юга СССР, масштаб 1:1 000 000/Под ред. Л.П. Полкановой. М.: ГУГК, 1971.
105. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы, масштаб 1:10 000 000/Под ред. Ю.А. Мещерякова. М.: Мингео СССР, ГУГК, 1971; 2-е изд., 1973.
106. Крестников В.Н. О связи геологических и сейсмических явлений Тянь-Шаня. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1957, № 3, с. 81—94.
107. Кучай В.К., Пономарев В.С. Оценка вероятности возникновения сильных землетрясений по комплексу геофизических и геологических признаков. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1976, № 9, с. 33—40.
108. Лейбензон Л.С. Лик Земли и его происхождение. — Собр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1955, т. 4, с. 186—266.
109. Ломоносов М.В. Слово о рождении металлов от трясения Земли. М.; Л.: Госгеол-издат, 1949, с. 161—187; 1-е изд., 1757.
110. Ляйелль Ч. Основные начала геологии или новейшие изменения Земли и ее обитателей. М.: Изд. А.И. Глазунова, 1866. Т. I. 399 с.; Т. 462 с.
111. Мазарович А.Н. Основы геологии СССР. М.; Л.: ОНТИ, 1938. 544 с.
112. Муратов М.В. Тектоника и история развития Альпийской геосинклинальной области Европейской части СССР и сопредельных стран. — В кн.: Тектоника СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949, т. 2. 510 с.
113. Мушкетов И.В., Мушкетов Д.И. Физическая геология. Л.; М.: ОНТИ, 1935. 908 с.
114. Неотектоника СССР. Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1961. 336 с.
115. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М.: Наука, 1977. 240 с.
116. Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: Изд-во МГУ, 1969, № 1; 1969, № 2; 1972, № 3; 1973, № 4; 1973, № 5; 1976, № 6; 1980, № 7; 1982, № 8.
117. Новейшие тектонические движения и структура альпийского геосинклинального пояса юго-западной Европы. Баку: Элм, 1970. 158 с.

118. Новые принципы сейсмического районирования на примере центральной части Тянь-Шаня. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1960, № 2, с. 177—194; № 3, с. 353—370.
119. Обручев В.А. Основные черты кинетики и пластики неотектоники. — Изв. АН СССР, 1948, № 5, с. 13—24.
120. Орлов А.П. О землетрясениях вообще и о землетрясениях Южной Сибири и Туркестанской области в особенности. — Тр. О-ва естествоиспытателей при Казан. ун-те, 1873, т. 3, № 1, вып. 1, 77 с., вып. 2. 97 с.; 1876, т. 5, № 3, вып. 3, с. 101—318.
121. Орлов А.П. Землетрясения и их соотношения с другими явлениями природы: Заметки по поводу землетрясений 1887 г. Казань, 1887. 170 с.
122. Петрушевский Б.А. О некоторых текущих задачах сейсмологии. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1957, т. 32, вып. 5, с. 99—125.
123. Петрушевский Б.А. О связи между землетрясениями максимальной силы и геологической обстановкой. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 28—35.
124. Петрушевский Б.А. Землетрясения и тектоника. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1969, т. 44, вып. 1, с. 17—23.
125. Проблемы современных движений земной коры. Таллин: Валгус, 1975. 249 с.
126. Райзман А.П. Геодезические данные о деформациях земной коры в результате землетрясения 26 апреля 1966 г. в г. Ташкенте. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1968, № 4, с. 213—219.
127. Ранцман Е.Я. Новейшая и современная тектоника сейсмических районов горной Средней Азии по геоморфологическим наблюдениям. — В кн.: Современные тектонические движения земной коры и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 135—149.
128. Рац М.В. Некоторые геологические данные о механизме роста разрывов в их связи с землетрясениями. — В кн.: Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 264—273.
129. Рейснер Г.И. Геологические методы оценки сейсмической опасности. М.: Недра, 1980. 176 с.
130. Рустанович Д.Н. О типизации землетрясений. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1977, № 10, с. 48—53.
131. Святловский А.Е. Структурная вулканология. М.: Недра, 1971. 232 с.
132. Сейсмоструктура альпийского складчатого пояса юга СССР и некоторых сопредельных районов. М.: Сов. радио, 1974. 116 с.
133. Сейсмоструктура некоторых районов Юга СССР. М.: Наука, 1976. 192 с.
134. Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, № 1, 1963. 383 с.; № 2, 1965. 433 с.; № 3, 1968. 300 с.; № 4, 1968. 288 с.; № 5, 1973. 685 с.
135. Современные движения земной коры: (Теория, методы, прогноз). М.: Наука, 1980. 210 с.
136. Современные тектонические движения земной коры и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 160 с.
137. Гзовский М.В. и др. Сопоставление тектоники с сейсмичностью Гармского района Таджикской ССР. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 8, с. 959—976 (I); № 12, с. 1425—1445 (II).
138. Тектоническая карта Евразии, масштаб 1:5 000 000/Под ред. А.Л. Яншина. М.: ГИН АН СССР, ГУГК, 1966.
139. Тектоническая карта СССР/Под ред. А.А. Богданова. М.: ГУГК, Мингео, АН СССР, 1961.
140. Тетяев М.М. Принципы геотектонического районирования территории СССР. — Пробл. сов. геологии, 1933, т. 1, № 1, с. 9—34.
141. Тетяев М.М. Геотектоника СССР. Л.; М.: ГОНТИ, 1938. 298 с.
142. Траутшольд Г. Основы геологии. СПб, 1872—1877. Ч. 1—3.
143. Федотов С.А. Глубинное строение, свойства верхней мантии и вулканическая деятельность Курило-Камчатской дуги по сейсмологическим данным на 1964 год. — В кн.: Вулканизм и глубинное строение Земли. М.: Наука, 1966, т. 3, с. 8—25.
144. Федотов С.А., Горельчик В.М., Степанов В.В. Сейсмические данные о механизме и развитии большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. (Камчатка). — Докл. АН СССР, 1978, т. 242, № 4, с. 909—912.
145. Федотов С.А., Хренов А.П., Чирков А.М. Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 г., Камчатка. — Докл. АН СССР, 1976, т. 228, № 5, с. 1193—1196.
146. Физико-географический атлас Мира. М.: АН СССР, ГУГК, 1964. 298 л.
147. Крестников и др. Четвертичная тектоника Памира и Тянь-Шаня. М.: Наука, 1979. 115 с.

### Глава 3

#### ВОПРОСЫ ГЕОФИЗИКИ (В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ)

148. Апрецов С.М. О глубине складчатых систем и глубинных разломов. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1957, т. 32, № 4, с. 27—33.
149. Артемьев М.Е. Гравитационные аномалии и сейсмичность Западной Европы и Средиземноморья. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1963, т. 2, с. 309—317.
150. Артемьев М.Е. Изостатические аномалии силы тяжести и некоторые вопросы их геологического истолкования. М.: Наука, 1966. 138 с.
151. Артемьев М.Е., Бунз В.И. Связь нарушенный изостатического равновесия с сейсмичностью. — В кн.: Предвестники землетрясений. М., 1973, с. 19—27.
152. Артюшков Е.В. Дифференциация по плотности вещества Земли и связанные с ней явления. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1970, № 5, с. 18—30.
153. Артюшков Е.В. Геодинамика. М.: Наука, 1979. 328 с.
154. Борисов А.А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М.: Недра, 1967. 303 с.
155. Борисов А.А., Успенский Д.Г. Гравиметрический метод изучения глубинного

- строения земной коры и верхней мантии. — В кн.: Кора и верхняя мантия Земли. М.: Изд-во МГУ, 1975, вып. 2, с. 110—140.
156. *Ботт М.* Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 373 с.
157. *Боуи В.* Изостазия. М.; Л.; ОНТИ, 1936. 208 с. (пер. с англ. изд. 1927 г.).
158. *Ващилов Ю.Я.* К вопросу о глубинных разломах и их геологических признаках. — В кн.: Сборник геофизических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1964, с. 154—177.
159. *Введенская А.В.* Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1956, № 3, с. 277—284.
160. *Вольвовский И.С., Вольвовский Б.С.* Разрезы земной коры территории СССР по данным глубинного сейсмического зондирования. М.: Сов.радио, 1975. 286 с.
161. *Гайский В.В., Ладынин А.В., Преснякова Л.П.* Соотношение сейсмичности с изостатическими аномалиями. — В кн.: Вопросы количественной оценки сейсмической опасности. М.: Наука, 1975, с. 63.
162. Геофизические поля и сейсмичность. М.: Наука, 1975. 197 с.
163. *Гзовский М.В.* Моделирование тектонических полей напряжений и разрывов. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1954, № 6, с. 527—553.
164. *Гзовский М.В.* Геофизическая интерпретация данных о новейших современных глубинных тектонических движениях. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1, с. 37—63.
165. *Гзовский М.В.* Тектонические поля напряжений и очаги землетрясений. — В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Наука, 1973, с. 38—55.
166. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
167. *Горшков Г.П.* К проблеме строения земной коры. — Природа, 1939, № 1, с. 14—22.
168. *Горшков Г.П.* Землетрясения, кора и мантия. — В кн.: Кора и верхняя мантия. М.: Наука, 1968, с. 222—227.
169. *Горшков Г.П.* Промежуточные землетрясения Северо-Восточного Афганистана и закон скалывающихся напряжений. — В кн.: Физические основания поисков методов прогноза землетрясений. М.: Наука, 1970, с. 100—104.
170. *Горшков Г.П., Точилин М.С.* О пликативных микродислокациях в магнетитовых кварцитах протерозоя Курской магнитной аномалии. — Учен. зап. МГУ. Геология, 1949, т. 3, вып. 136, с. 110—135.
171. *Горшков Г.П., Шенкарева Г.А.* Удельная сейсмическая энергия и сейсмическое районирование. — В кн.: Тр. 10-й Генеральной ассамблеи ЕСК. М.: Наука, 1970, т. 2, с. 119—129.
172. *Горшков Г.П., Шенкарева Г.А.* Некоторые особенности проявления сейсмической активности в альпийском поясе Евразии. — В кн.: Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах. М.: Наука, 1978, с. 234—240.
173. *Гурарий Г.З., Соловьева И.А.* Строение земной коры по геофизическим данным. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 127 с.
174. *Дементицкая Р.М.* Кора и мантия Земли. М.: Недра, 1967. 280 с.
175. *Джибладзе Э.А.* Связь аномалий силы тяжести с сейсмичностью. — В кн.: Вопросы количественной оценки сейсмической опасности. М.: Наука, 1975, с. 59—62.
176. *Земная кора/Под ред. В.Е. Хаина.* М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 787 с.
177. *Камбаров Н.Ш.* Методика выделения сейсмоопасных зон Кавказа. — В кн.: Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах. М.: Наука, 1978, с. 27—42.
178. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран, масштаб 1 : 2 500 000/Под ред. А.В. Сидоренко. М.: Мингео СССР, 1980.
- 178а. *Кейлис-Борок В.И.* О динамической характеристике очага по сейсмическим наблюдениям. — Докл. АН СССР, 1950, т. 70, № 6, с. 995—998.
179. Кора и верхняя мантия Земли. М.: Наука, 1968. 231 с.
180. *Любимова Е.А.* Термика Земли и Луны. М.: Наука, 1968. 279 с.
181. *Магницкий В.А.* Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 379 с.
182. Материалы 9-й конференции по вопросам постоянного магнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. Баку, 1973. Ч. I. 152 с.; Ч. II. 138 с.
183. *Нестеренко П.Г., Стюас М.В.* Гравитация и сейсмичность. — Природа, 1963, № 7, с. 78—82.
184. *Нестеренко П.Г., Стюас М.В.* Изменение гравитационного поля как одна из причин сейсмичности Земли. — Геофизика и астрономия, 1963, № 5, с. 85—92.
185. *Николаев П.Н., Щукин Ю.К.* Модели деформации земной коры и верхней мантии района глубоких очагов Восточных Карпат (Вранча). — В кн.: Глубинное строение земной коры. М.: Наука, 1975, с. 61—83.
186. *Оль О.И.* Вековой ход магнитного поля и сейсмичность Земли. — Природа, 1949, № 12, с. 6—14.
187. *Пейве А.В.* Глубинные разломы в геосинклинальных областях. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1945, № 5, с. 23—46.
188. *Пейве А.В.* Общая характеристика, классификация и пространственное расположение глубинных разломов. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1956, № 1, с. 90—105.
189. *Балакина А.М., Введенская А.В., Голубева Н.В.* и др. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясения. М.: Наука, 1972. 192 с.
190. Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. 255 с.
191. *Альтер С.М., Кунин Н.В., Лысянов Л.М.* и др. Результаты и дальнейшее направление комплексных геофизических исследований сейсмоопасного района Алма-Аты. — В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Наука, 1973, с. 138—151.
192. *Рябой В.З.* Структура верхней мантии территории СССР по сейсмическим данным. М.: Недра, 1979. 246 с.
193. *Соллоуб В.Б., Чекунов А.В.* Строение и возраст основания земной коры Централь-

- ной и Юго-Восточной Европы. — Геотектоника, 1980, № 1, с. 17—29.
194. *Стейси Ф.* Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.
195. *Стовас М.В.* К вопросу об образовании планетарных глубинных разломов в земной коре. — Докл. АН СССР, 1960, т. 135, № 1, с. 69—72.
169. Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы. Киев: Наук. думка, 1978. 272 с.
197. Строение земной коры Центральной и Восточной Европы (по данным взрывной сейсмологии). Киев: Наук. думка, 1971. 286 с.
198. Структура земной коры Центральной и Восточной Европы по данным геофизических исследований. Киев: Наук. думка, 1980. 207 с.
199. *Субботин С.И., Наумчик Г.Л., Рахимов И.Ш.* Мантия Земли и тектоногенез. Киев: Наук. думка, 1968. 174 с.
200. *Ушаков С.А.* Строение и развитие Земли. — В кн.: Физика Земли. М.: ВИНТИ, 1974, т. 1. 269 с.
201. Физика земной коры и верхней мантии. М.: Мир, 1966. 254 с.

#### Глава 4

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СЕЙСМОТЕКТОНИКИ

202. *Асланян А.Т., Левыкин А.И., Арутюнян А.В.* Об одном возможном механизме возникновения землетрясений. — Докл. АН АрмССР, 1976, т. 63, № 2, с. 96—101.
203. *Болт Б.* Землетрясения. М.: Мир, 1981. 256 с.
204. *Быковцев А.С., Черепанов Г.П.* О моделировании очага землетрясения. — Прикл. математика и механика, 1980, т. 44, № 3, с. 557—564.
205. *Быковцев А.С., Черепанов Г.П.* Об одной модели очага тектонического землетрясения. — Докл. АН СССР, 1980, т. 251, № 6, с. 1353—1356.
- 205а. *Габриелян А.А.* Очерк сейсмо тектоники Кавказа и сопредельных стран. — Изв. АН АрмССР. Сер. наук о Земле, 1977, т. 30, № 4/5, с. 27—40.
206. *Гоцадзе О.Д.* Об изменении физического состояния среды в очагах сильных землетрясений: Тез. докл. науч. сес., посвящ. 50-летию ВОСР. Тбилиси: ИГ АН ГССР, 1965, с. 25—26.
207. *Егоркина Г.В., Краснопевцева Г.В., Щукин Ю.К.* Геофизическая характеристика очаговых зон. — В кн.: Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 206—224.
208. Живая тектоника/Под ред. Д.А. Туголесова. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 339 с.
209. *Золотарев Г.С.* Современные задачи инженерно-геологического изучения оползней, обвалов и селевых потоков в горноскладчатых областях. — В кн.: Геологические закономерности развития оползней, обвалов и селевых потоков. М.: Изд-во МГУ, 1976, с. 5—34.
210. *Иванова М.Ф.* О роли неотектоники в развитии оползней Тянь-Шаня. — Вест. МГУ. Сер. 4, Геология, 1971, № 5, с. 67—77.
211. *Каспаров С.А., Дейнега А.Г.* Фундаментальная сейсмогенерирующая роль деформации типа сдвига-раздвиг. — В кн.: Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана. Махачкала, 1979, с. 11—18.
212. *Кейлис-Борок В.И.* О динамической характеристике очага по сейсмическим наблюдениям. — Докл. АН СССР, 1950, т. 70, № 6, с. 995—998.
213. *Костров Б.В.* Механизм очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 176 с.
214. *Мещеряков Ю.А.* О движениях земной коры — предвестниках землетрясений. — В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Мысль, 1973, с. 94—103.
215. *Мушкетов Д.И.* Региональная геотектоника. М.: Гл. ред. геол.-развед. и геодез. лит., 1935. 528 с.
216. *Осика Д.Г.* О некоторых теоретических и практических следствиях изучения генетической сущности геохимических и гидродинамических процессов в связи с сейсмичностью недр. — В кн.: Геодинамика и сейсмичность Дагестана. Махачкала, 1979, с. 97—114.
217. *Ризниченко Ю.В.* Проблема величины землетрясения. — В кн.: Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М.: Наука, 1974, т. 1, с. 43—78.
218. *Ризниченко Ю.В.* Размеры очага корового землетрясения. — В кн.: Геофизические исследования. Тбилиси: Мецниереба, 1976, с. 5—36.
219. *Ризниченко Ю.В., Пшенникова К.В., Зорин Ю.А.* Сейсмическая активность Прибайкалья в сопоставлении с рельефом и гравитационными аномалиями. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, № 10, с. 10—27.
220. *Саваренский Е.Ф., Ненилина В.С.* Об учете геологических неоднородностей при определении очага землетрясений. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1955, № 1, с. 17—30.
221. Сейсмические волновые поля в зонах разломов/Под ред. А.В. Николаева. М.: Наука, 1978. 167 с.
222. Сейсмические структуры и сейсмодислокации/Под ред. Г.П. Горшкова, М.К. Полшкова. М., 1973. 123 с.
223. Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования/Под ред. Г.П. Горшкова. М.: Изд-во МГУ, 1977. 158 с.
224. *Солоненко В.П.* Шрамы на лике Земли. — Природа, 1970, № 9, с. 17—25.
225. *Солоненко В.П.* Палеосейсмология. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1973, № 9, с. 3—16.
226. *Солоненко В.П.* Сейсмология и сейсмическое районирование. — В кн.: Проблемы наук о Земле и их развитие. Иркутск, 1975, с. 21—31.
227. *Солоненко В.П.* Сейсмовозбужденные обвалы и земляные лавины. — В кн.: Геологические закономерности развития опол-

зней, обвалов и селевых потоков. М.: Изд-во МГУ, 1976, с. 4—18.

228. Солоненко В.П., Хромовских В.С., Лопатин Д.В. Сейсмотектонический процесс как рельефообразующий фактор. — В кн.: Структурная геоморфология горных стран. Фрунзе: Илим., 1973, с. 51—52.
229. Тушинский Г.К. Лавины и защита от них на геолого-разведочных работах. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 108 с.
230. Уломова Н.И., Захарова А.И., Уломов В.И. Очаговая область повторных толчков Ташкентского землетрясения. — В кн.: Ташкентское землетрясение 26 сентября 1966 года. Ташкент: Фан. 1971, с. 80—89.
231. Физика очага землетрясений. М.: Наука, 1975. 244 с.
232. Физические процессы в очагах землетрясений/Под ред. М.А. Садовского, В.И. Мячкина. М.: Наука, 1980. 283 с.
233. Флейшман С.М. Селевые потоки. М.: Госгеографгиз, 1951. 96 с.
234. Чигарев Н.В. Сейсмогенез и блоковое строение земной коры. — Докл. АН СССР, 1980, т. 255, № 2, с. 313—317.
235. Шебалин Н.П. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.
236. Щукин Ю.К. Глубинные сейсмогенные разломы земной коры. — В кн.: Сейсмогенные структуры и сейсмодислокации. М., 1973, с. 70—80.
237. Агабеков М.Г. К методике составления карт сейсмического районирования. — Новости нефть. техники. Геология, 1957, № 3, с. 30—32.
238. Айзенберг Я.М. Сооружения с включаемыми связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976. 232 с.
239. Белоусов В.В. К вопросу о методах сейсмического районирования. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1954, № 3, с. 209—222.
240. Бончковский В.Ф. Сейсмическое районирование территории СССР и задачи антисейсмического строительства. — В кн.: Юбилейный сборник, посвященный 30-летию ВОСР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947, с. 454—464.
241. Бюллетень Совета по сейсмологии: Материалы октябрьской сессии 1953 г. в Сталинабаде. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 95 с.
242. Бюс Е.И. Влияние микрогеологии на действие сейсмических сил. — В кн.: Сейсмостойкость сооружений. Тбилиси, 1937, с. 1—11.
243. Влияние инженерной деятельности на сейсмический режим/Под ред. Н.И. Николаева. М.: Наука, 1977. 191 с.
244. Вопросы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во АН СССР, 1958—1981. Вып. 1—21.
245. Вопросы прогноза землетрясений и строения Земли. — В кн.: Вычислительная сейсмология. М.: Наука, 1978, вып. 11. 183 с.
246. Вопросы сейсмического районирования. — Бюл. Совета по сейсмологии. М.: Изд-во АН СССР, 1960, № 8. 233 с.
247. Гамбурцев Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений. — Бюл. Совета по сейсмологии, 1955, № 1, с. 7—14.
248. Гзелишвили И.А. К вопросу об установлении принципов сейсмического районирования. — Сообщ. АН ГССР, 1950, т. 11, № 4, с. 231—236.
249. Горшков Г.П. Сейсмическая карта СССР. Большой Советский Атлас Мира/Под ред. П.М. Никифорова. М., 1937, т. I, к. 3.
250. Горшков Г.П. Сейсмическое районирование территории СССР: Программа и тез. докл. совещ. по антисейсм. стр-ву, М., 1937, с. 5—8.
251. Горшков Г.П. О сейсмическом райониро-
- вании Средней Азии. — Тр. СИ АН СССР, 1938, № 79 (6), с. 67—71.
252. Горшков Г.П. О новой карте сейсмического районирования территории СССР. — Тр. ГЕОФИ АН СССР, 1948, № 1 (128), с. 71—73.
253. Горшков Г.П. Сейсмическое районирование территории СССР. — В кн.: Совещание по антисейсмическому строительству: Тезисы, М., 1948, с. 5—8.
254. Горшков Г.П. Карты сейсмического районирования СССР (в редакции 1949 г.). — В кн.: Технические условия проектирования и строительства зданий и сооружений для сейсмических районов, ТУ-58—48. М.: МСПТИ, 1949, с. 32—40.
255. Горшков Г.П. Карта сейсмического районирования территории СССР. — В кн.: Положение по строительству в сейсмических районах (ПСР-101—51). М.: Госстройиздат, 1951.
256. Горшков Г.П. О сейсмическом районировании Азии: Тез. докл. на XI Генер. ассамблее МГГС. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 41—42.
257. Горшков Г.П. О сейсмическом районировании. — Геофиз. журн., Будапешт, 1958, вып. 7, № 3/4, с. 195—198.
258. Горшков Г.П. Вопросы сейсмодектоники и сейсмического районирования Китайской Народной Республики. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 7. 55 с.
259. Горшков Г.П. Вопросы сейсмодектоники и сейсмического районирования территории Бирманского Союза. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1961, № 12, 130 с.
260. Горшков Г.П. Сейсмичность Евразии. — В кн.: Проблемы неотектоники. М.: Изд-во МГУ, 1964. 46 с.
261. Горшков Г.П. О прогнозе землетрясений. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1968, № 5, с. 25—34.
262. Горшков Г.П. О новой нормативной карте сейсмического районирования территории СССР. — Вестн. МГУ Сер. 4, Геология, 1975, № 2, с. 8—18.
263. Горшков Г.П., Гзовский М.В., Шенкарева Г.А. Вариант сопоставления сейсмичности с тектоникой Венгрии. — Ann. Univ. sci., Budapest s. geol., 1962, № 5, p. 55—63.
264. Детальное сейсмическое районирова-

## Глава 5

### СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ. ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

- ние/Под ред. И.Е. Губина. М.: Наука, 1980. 176 с.
- ✓ 265. Федотов С.А., Соболев Г.А., Болдырев С.А. и др. Долгосрочный и пробный краткосрочный прогноз камчатских землетрясений. — В кн.: Поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан, 1976, с. 49—61.
266. Изучение землетрясений и сейсмическое районирование/Под ред. Е.Ф. Саваренского. — В кн.: Вопросы советской науки. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 19 с.
267. Инструкция по проектированию гражданских и промышленных зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах (утв. НКС СССР 20.X 1939 г.) М.: Стройиздат НКС, 1940. 28 с.
268. Инструкция по проектированию и строительству зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах в условиях военного времени (утв. НКС СССР 28.XII 1943 г.). М.: Стройиздат НКС, 1943. 32 с.
269. Колебание грунтов и зданий при землетрясениях. М.: Наука, 1975. 211 с. (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 17).
270. Лагорно А.Е. О землетрясениях и предсказывании их: (Речь, произнесенная на торжественном акте Варшавского университета 30.VIII 1887 г.). — Варшав. унив. изв., 1887, № 6, с. 1—13. (Приложение).
271. Медведев С.В. Вопросы сейсмического районирования. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 5—27.
272. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962, 284 с.
273. Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР. М.: Наука, 1974. 195 с.
- ✓ 274. Мещеряков Ю.А. О движениях земной коры — предвестниках землетрясений. — В кн.: Земная кора сейсмоопасных зон. М.: Мысль, 1973, с. 94—103.
275. Мушкетов Д.И. Опыт сейсмического районирования СССР. М., 1933. 17 с. (Тр. СИ АН СССР; № 33. Вып. 1).
276. Мушкетов Д.И. Сейсмическое районирование Средней Азии. — Тр. СИ АН СССР, 1933, № 34, вып. 2, с. 1—26.
- ✓ 277. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясений. М.: Наука, 1978. 232 с.
278. Нормы и правила строительства в сейсмических районах (СН-8—57). М.: Госстрой СССР, 1957. 103 с.
279. Основные принципы сейсмического микрорайонирования/М.А. Садовский, И.Л. Нерсесов, С.В. Медведев, Г.А. Лямзина и др.; М.: Наука, 1973, с. 3—34, (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 15).
280. Петрушевский Б.А. Значения геологических явлений при сейсмическом районировании. М., 1955. 59 с. (Тр. Геофиз. ин-та АН СССР; № 28 (155)).
281. Петрушевский Б.А. О геологических основаниях сейсмического районирования. — Studii și cerc. asron. și seismol., Anne VI, Ed. Rep. Pop. Romine, 1961, vol. 2, p. 181—186.
282. Петрушевский Б.А. О новых направлениях в сейсмологии в связи с сейсмическим районированием. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1967, т. 42 (5), с. 60—73.
- ✓ 283. Поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан, 1976. 262 с.
- ✓ 284. Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. М.: Наука, 1974. 210 с.
285. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978. 311 с.
286. Правила антисейсмического строительства. М.: Госстройиздат НККХ РСФСР, 1937. 28 с.
287. Преображенский И.А. Сейсмические условия постройки Семиреченской железной дороги восточнее Пишпекского меридиана. — Изв. ППИ, 1918, т. 27, с. 1—41.
- ✓ 288. Проблемы прогноза землетрясений. М., 1954. 207 с. (Тр. Геофиз. ин-та АН СССР; № 25 (152)).
- ✓ 289. Прогноз землетрясений во времени. Библиогр. указ., 1926—1969. М.: Б-ка АН СССР, 1969. 47 с.
- ✓ 290. Программа работ по поискам предвестников землетрясений. М.: Изд-во АН СССР, 1971. 40 с.
291. Рекомендации Всесоюзного семинара "Сейсмическое микрорайонирование в инженерных изысканиях для строительства". М.: Госстрой СССР, ПНИИИС, НТО строителей, ВДНХ, 1980. 11 с.
292. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию/Под ред. С.В. Медведевой. М.: Стройиздат, 1971. 66 с.
293. Решение Всесоюзного совещания "Детальное сейсмическое районирование" (3—8.X. 1977 г., Симферополь). Симферополь, 1977. 50 с.
294. Решение Всесоюзного совещания по сейсмическому микрорайонированию. Кишинев, 1978. 20 с.
295. Ризниченко Ю.В., Нерсесов И.Л. К разработке основ количественного метода сейсмического районирования. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 36—59.
- ✓ 269. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1978. 388 с.
297. Рустанович Д.Н. Особенности колебаний поверхности грунта при землетрясениях, взрывах и микросемках. — Вопр. инж. сейсмологии, 1973, вып. 15, с. 112—115.
298. Рустанович Д.Н. Колебания поверхности Земли в эпицентральных зонах сильных землетрясений. М.: Наука, 1975. 97 с.
299. Садовский М.А. Наука будет предсказывать землетрясения. — Земля и Вселенная, 1967, № 6, с. 3.
300. Сафарян А.Н. Сейсмическое районирование. — В кн.: Строительство в сейсмических районах. М., 1957. 171 с.
301. Сейсмическое микрорайонирование/Под ред. С.В. Медведевой. М.: Наука, 1977. 248 с.
302. Сейсмическое микрорайонирование в условиях вечной мерзлоты/Под ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1975. 89 с.
- ✓ 303. Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. 476 с.
- ✓ 304. Сейсмическое районирование территории РСФСР/Под ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшкова. М.: Наука, 1980. 307 с.
305. Сейсмическое районирование для строительства и его обоснование. М.: Стройиздат, 1975. 139 с.
306. Соловьев С.Л. Сессия Совета по сейсмологии АН СССР по вопросам сейсмического

районирования. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 8, с. 1054—1056.

307. Солоненко В.П. Сейсмология и проблемы предсказания землетрясений. — Геология и геофизика, 1974, № 5, с. 158—178.
308. Строительные нормы и правила. Ч. II, разд. А, Гл. 12. Строительство в сейсмических районах — нормы проектирования (СНиП П-А12—69). М.: Госстрой СССР, 1970. 47 с.

309. Тезисы докладов "Сейсмическое районирование территории городов и крупных строителств Кавказа". Махачкала, 1974. 19 с.

310. Физические основания поисков методов прогноза землетрясений/Под ред. М.А. Садовского. М.: Наука, 1970. 151 с.
311. Элементы методики сейсмического районирования (на примере Молдавии). Кишинев: Штиинца, 1974. 95 с.

## Глава 6

### СЕЙМОТЕКТОНИКА КАРПАТСКОГО РЕГИОНА

312. Батюшкова И.В. К истории изучения землетрясений учеными Румынии. — Тр. ИИЕТ, 1960, т. 37, с. 162—168.
313. Богданов А.А., Высоцкий Б.В., Пуцаровский Ю.М. Основные черты развития взглядов на тектонику Восточных Карпат. — Тр. МГРИ, 1949, т. 26, с. 111—137.
314. Борисов А.А., Круглякова Г.И. О глубинном строении земной коры Закарпатья. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1962, № 11, с. 1497—1501.
315. Борисов Б.А., Рейснер Г.И. Сеймотектонический прогноз максимальной магнитуды землетрясений Карпатского региона. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1976, № 5, с. 21—31.
316. Вилип И.И. О некоторых землетрясениях весною 1912 года. — Изв. ПЦСК, 1913, т. 6, вып. 1, с. 33—56.
317. Вялов О.С. Глубинные разломы и тектоника Карпат. — Геол. сб. Львов. геол. о-ва, 1965, № 9, с. 21—40.
318. Горшков Г.П. Третий симпозиум по проблемам геофизики Карпатского бассейна. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 11, с. 1421—1424.
319. Гофштейн И.Д. Неотектоника Карпат. — В кн.: Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М.: Наука, 1964, с. 235—247.
320. Гофштейн И.Д. Неотектоника западной Волино-Подолии. Киев: Наук. думка, 1979. 154 с.
321. Гофштейн И.Д., Сомов В.И. Современные тектонические движения на территории Советских Карпат. — Геофиз. сб. АН УССР, 1966, № 18, с. 29—33.
322. Добрев Т.Б., Щукин Ю.К. Глубинные разломы и региональные сейсмогеологические условия Карпато-Балканского региона. М.: Сов. радио, 1974, с. 96—111.
323. Добрев Г.В., Щукин Ю.К. Исследование земной коры и природы сейсмичности Карпато-Балканского региона. — Сов. геология, 1967, № 5, с. 95—109.
324. Добрев Т.Б., Щукин Ю.К. О сейсмичности Карпато-Балканского региона в связи с глубинной структурой земной коры. — В кн.: Инженерная геология и гидрогеология: Геофизика. Белград, 1967, с. 81—86.
325. Добрев Т.Б., Щукин Ю.К. Геофизические поля и сейсмичность восточной части Карпато-Балканского региона. М.: Наука, 1974. 170 с.
326. Добрев Т.Б., Щукин Ю.К. Геофизические

модели земной коры и верхней мантии различных геоструктурных элементов восточной части Балканского региона (в связи с проблемой сейсмичности). — В кн.: Геофизические поля и сейсмичность. М.: Наука, 1975, с. 15—32.

327. Друмя А.В., Попов В.М., Решетлов А.И. Расчет сейсмической сотрясаемости северо-восточной части Карпатской зоны. — Геофиз. сб. АН УССР, 1970, вып. 36, с. 46—54.
328. Друмя А.В., Устинова Т.И., Щукин Ю.К. Проблемы тектоники и сейсмологии Молдавии. — В кн.: Сейсмическое районирование территории Молдавской ССР и прилегающих районов Украинской ССР. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1964, вып. 2. 120 с.
329. Друмя А.В., Устинова Т.И., Щукин Ю.И. Молдавия. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 180—195.
330. Евсеев С.В. Допитання про сейсмічність Української РСР. — Геол. журн. АН УССР, 1954, т. 14, вып. 4, с. 57—59.
331. Евсеев С.В., Левицкая А.Я., Сагалова Е.А. Сейсмичность Карпатской зоны. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 211—216.
332. Евсеев С.В., Сагалова Р.М. О связи между локальными аномалиями силы тяжести и элементами сейсмического поля в Закарпатье. — Геофиз. сб. АН УССР, 1970, вып. 35, с. 15—20.
333. Зайцев В.Н., Пиотровская Т.Ю. Этапы неотектонического развития Закарпатского прогиба. — В кн.: Очерки по геологии Советских Карпат. М.: Изд-во МГУ, 1966, вып. 1, с. 164—194.
334. Иосиф Т., Раду С., Саваренский Е.Ф. Механизм некоторых Карпатских землетрясений. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1963, № 15, с. 146—167.
335. Горшков Г.П. и др. К энергетической характеристике глубинных зон сейсмической активности. — Геотектоника, 1969, № 6, с. 16—22.
336. Карпатский геодинамический полигон/Под ред. Я.С. Постригача, А.В. Чекунова. М.: Сов. радио, 1978. 127 с.
337. Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. М.: Наука, 1980. 272 с.
338. Катоги Карпатських землетрусів за 1955—1969 гг. Київ: Вид-во АН УРСР, 1958—1975.
339. Кондорская Н.В., Славина Л.Б., Щукин Ю.К. Строение и динамика литосферы Карпатского региона и района глубоких

- землетрясений в р. ча по сейсмологическим и геофизическим данным. — В кн.: Геофизика; Геология и катастрофические природные явления; Геология континентальных окраин. М.: Наука, 1980, с. 89—101.
340. *Краснопевцева Г.В.* Земная кора альпийского горного пояса по данным ГСЗ. — В кн.: Региональная, разведочная и промышленная геофизика. М.: ВИЭМС, 1980. 54 с.
341. *Кутас Р.И., Гордиенко В.В.* Тепловое поле и глубинное строение Восточных Карпат. — Геофиз. сб. АН УССР, 1970, вып. 34, с. 29—41.
342. *Лебедев Г.С., Кутас Р.И., Гордиенко В.В.* Геотермические условия советских Восточных Карпат и Крыма. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 1967, с. 107—116.
343. *Медведев С.В.* О последствиях карпатских землетрясений 1940 г. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1948, № 1 (128), с. 76—79.
344. *Медведев С.В.* Опыт нового районирования Молдавской ССР по зонам сейсмической активности. — Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1949, № 5 (132), с. 38—48.
345. *Моргунов Ю.Г.* Основные черты развития фундамента западной части Скифской платформы. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1980, № 1, с. 18—29.
346. *Муратов М.В.* Тектоника и основные этапы развития Восточных Карпат. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1947, № 2, с. 3—48.
347. *Муратов М.В., Маслакова Н.И.* Основные черты геологической истории Восточных Карпат. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1952, т. 27 (3), с. 3—26.
348. *Хаин В.Е., Бызова С.Л., Безр М.А.* и др. Некоторые основные вопросы тектоники и тектонической истории Советских Карпат. — В кн.: Tectonic problems of the Alpine System. Вр., 1975, р. 43—56.
- 348a. *Субботин С.И., Соллозуб В.Б., Чекунов А.В.* и др. Новые данные о строении земной коры Украины (по геофизическим исследованиям) — В кн.: Геологические результаты прикладной геофизики. М.: Наука, 1968, с. 15—21.
349. *Оническу Н.* Геология Румынской Народной Республики. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 520 с.
350. *Хаин В.Е., Безр М.А., Бызова С.Л.* и др. Основные черты тектонической истории Карпат — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1977, № 3, с. 3—20.
351. *Очерки по геологии Советских Карпат.* М.: Изд-во МГУ, 1966, Вып. 1. 233 с.
352. *Полов В.С.* Сейсмичность УССР и Бессарабии и связь землетрясений Юго-Запада СССР с карпатскими очагами. — Тр. СИ АН СССР, 1938, № 79 (7), с. 2—5.
353. *Проблемы физики Земли на Украине.* Киев: Наук. думка, 1975. 174 с.
354. *Рудяков С.Г.* Сравнительный анализ покровной структуры и домезозойской истории гор Северной Апеннины и Мармарошского массива Карпат. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1980, № 2, с. 26—36.
355. *Рудницкий В.П., Чекунов А.В.* Новое о глубинном строении Советских Карпат по данным сейсмологических наблюдений над обменными проходящими волнами. — Геол. журн., 1970, т. 30, вып. 5, с. 106—112.
356. *Сагалова Е.А.* Про обробку Карпатських землетрусів за 1908—1953 гг. — Каталог Карпатських землетрусів. Київ: Вид-во АН УРСР, 1958, № 1 (4), с. 22—29.
357. *Сагалова Е.А.* Фокальная зона Карпатских землетрясений у гор Вранча. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, вып. 68, с. 75—81.
358. *Сейсмический бюллетень Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым—Карпаты) за 1970—1979 гг.* Киев: Наук. думка, 1980—1982.
359. *Сигалова Р.М.* Изосейсти и землетрусів на Україні. — В кн.: Каталог Карпатських землетрусів. Київ: Вид-во АН УРСР, 1963, № 6 (9), с. 21—25.
360. *Славин В.И.* О срединном Паннонском массиве Карпат. — Геол. сб. Львовского геол. о-ва, Львов, 1958, с. 75—81.
361. *Собакарь Г.Т., Сомов В.И., Кузнецова В.Г.* Современная динамика и структура земной коры Карпат и прилегающих территорий. Киев: Наук. думка, 1975. 128 с.
362. *Соллозуб В.Б.* О структуре земной коры Юго-Восточной Европы. — Геофиз. сб. АН УССР, 1967, вып. 19, с. 13—30.
363. *Соллозуб В.Б.* Результаты глубинных сейсмических зондирований на Украине. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 1957, с. 8—19.
364. *Соловьев С.Л.* Семинар по сейсмическому районированию Карпат. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1960, № 1, с. 176.
365. *Сомов В.И., Собакарь Г.Т., Рахимова И.Ш.* Современная динамика земной коры Украины. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Наука, 1980, с. 175—179.
366. *Строение земной коры Центральной и Юго-Восточной Европы (по данным зрывной сейсмологии).* Киев: Наук. думка. 1971. 286 с.
367. *Структура земной коры Центральной и Восточной Европы по данным геофизических исследований / Под ред. В.Б. Соллозуба, А. Гутерха, Д. Просена и др.* Киев: Наук. думка, 1980. 207 с.
368. *Сухов И.М.* Землетрясения в Молдавской ССР и их возможная связь с тектоникой. — Учен. зап. Кисинев. ун-та, 1949, т. 1, вып. 1, с. 53—63.
369. *Сухов И.М.* Землетрясение 10 ноября 1940 г. в Молдавии и сопредельных областях и вопросы сейсмрайонирования юго-западной части СССР. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 93—98.
370. *Фельдбарг Н.Е.* О новейшей структуре Восточных Карпат. — В кн.: Новейшая тектоника, новейшие отложения и чело- век. М.: Изд-во МГУ, 1973, № 5, с. 16—34.
371. *Хаин В.Е., Славин В.И.* Тектоника Карпат. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1966, № 5, с. 13—33.
372. *Чекунов А.В., Кучма В.Г.* О наклонах глубинных разломов. — Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 6, с. 1441—1443.
373. *Чекунов А.В., Кучма В.Г.* Глубинная

- структура разломов. — Геотектоника, 1979, № 5, с. 24—37.
374. Чекунов А.В., Кучма В.Г. Тектоническая раздробленность земной коры и сейсмическая активность (на примере Украины). — Докл. АН СССР, 1979, т. 245, № 6, с. 1472—1473.
375. Чернов В.Г. Эволюция состава конгломератов Советских Карпат. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1980, № 6, с. 3—14.
376. Щукин Ю.К. К вопросу о сейсмичности Карпато-Балкан в связи с глубиной структуры земной коры. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1967, т. 42, вып. 2, с. 142—143.
377. Щукин Ю.К. Характеристика сейсмоопасных регионов Альпийского складчатого пояса Юга СССР. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1974, вып. 1, с. 150—151.
378. Щукин Ю.К. Сейсмические движения литосферы Средиземноморского складчатого пояса. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1978, № 11, с. 79—84.
379. Щукин Ю.К., Безр М.А. Геодинамика и сейсмичность Карпато-Динарской системы. — Тр. симпоз. "Анализ сейсмичности и сейсмический риск". Прага, 1978, с. 55—61.
380. Щукин Ю.К., Добрев Т.Д. Глубинное строение, геодинамика и геофизические поля очагов зоны Вранча. — В кн.: Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия. М.: Наука, 1980, с. 7—40.

## Глава 7

### СЕЙМОТЕКТОНИКА КРЫМСКОГО РЕГИОНА

381. Авдулов М.В. Гравитационное и магнитное поля Горного Крыма. — В кн.: Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966, с. 27—30.
382. Альбом образцов тематического дешифрирования космических фотоснимков, полученных с долговременной орбитальной станции "Салют-4". М.: ГУГК, Госцентр "Природа", 1978. 49 с.
383. Борисенко Л.С., Бугчаевский Г.Н., Кармазин П.С., Тихоненков Э.П. Анализ тектонической активности территории Южного берега Крыма в связи с прогнозом землетрясений в Крымской сейсмической зоне. — Геол. журн. 1980, т. 40, № 4, с. 49—56.
384. Ананьин И.В. Сейсмичность Западного Кавказа, восточной части Черного моря и связь ее с внутренним строением земной коры. — В кн.: Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966, с. 31—39.
385. Аранович З.И. Об определении энергии Крымских землетрясений. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1963, с. 532—545.
386. Аранович З.И. Энергетическая характеристика сейсмических явлений в Крыму. — В кн.: Геофизика и астрономия. Киев: Изд-во АН УССР, № 5, с. 98—104.
387. Бабак В.И. Метод построения палеотектонических карт для изучения истории новейших тектонических движений (на примере Крыма). — В кн.: Неотектоника СССР. Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1961, с. 71—78.
388. Балавадзе Б.К., Миндели П.Ш. Строение земной коры бассейна Черного моря по геофизическим данным. — В кн.: Сейсмические исследования. М.: Наука, № 6, с. 66—76.
389. Благоволин Н.С., Лилиенберг Д.А. Карта современных тектонических движений Причерноморья и ее морфоструктурный анализ. — В кн.: Современные движения земной коры. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1973, № 5, с. 112—122.
390. Борисов Б.А., Рейснер Г.И. О районировании территории Крыма по максимальной магнитуде ожидаемых землетрясений. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, вып. 67, с. 68—79.
391. Брусиловский С.Я., Бруханский Н.П., Сегапов Т.Е. Землетрясения в Крыму и нервно-психический травматизм. Л., 1928. 106 с.
392. Бызова С.Л. Некоторые вопросы тектоники Горного Крыма. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1980, № 6, с. 15—25.
393. Вознесенский А.В. Землетрясения 1927 года в Крыму. — Природа, 1927, № 12, с. 357—374.
394. Гайнанов А.Г., Исаев Е.Н., Михно М.Ф. Гидромагнитные исследования и строение земной коры переходной зоны Крым—Черное море. — В кн.: Геофизические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1966, с. 241—250.
395. Глубинное строение земной коры. — Геофиз. сб. АН УССР, 1967, № 20. 107 с.
396. Соллогуб В.Б., Павленкова Н.П., Чекунов А.В., Халинский Л.А. Глубинное строение земной коры вдоль меридионального пересечения Черное море—Воронезский массив. — В кн.: Проблемы строения Земли. Киев: Наук. думка, 1966, вып. 15, с. 46—59.
397. Гончаров В.П., Непрочнов Ю.П. Геоморфология дна и вопросы тектоники Черного моря. — В кн.: морская геология. М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 94—104.
398. Горшков Г.П., Левицкая А.Я. Некоторые вопросы сеймотектоники Крыма. — Докл. АН СССР, 1946, т. 54, № 3, с. 255—258.
399. Горшков Г.П., Левицкая А.Я. Некоторые данные по сеймотектонике Крыма. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1947, т. 22, вып. 3, с. 31—40.
400. Грачев А.Ф., Кулаков Ю.Н., Литинский В.А. Выражение новейших структурных форм в гравитационном поле. — В кн.: Геоморфология и геофизика. Л.: Наука, 1972, с. 5—32.
401. Двойченко П.А. Черноморские землетрясения в Крыму. — Зап. Крым. о-ва естествоиспытателей и любителей природы, 1928, т. 10, с. 118—143.
402. Двойченко П.А. Черноморские землетрясения 1927 года в Крыму. — Природа, 1928, № 6, с. 523—642.
403. Дубинский И.Б. Ощутимые землетрясения Крыма за 1963—1967 гг. — В кн.: Сейсмо-

- логические данные по Украине: Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 1963—1967 гг. Киев: Наук. думка, 1969, с. 71—73.
404. *Дублянский В.Н., Молодых И.И.* Сейсмичность Горного Крыма по данным карстово-археологических исследований. — В кн.: Проблемы гидрогеологии и инженерного грунтоведения. Киев: Наук. думка, 1972, вып. 2, с. 43—51.
405. Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука, 1975. 358 с.
406. *Каменобродский А.Г.* Уточненные карты сейсмической сотрясаемости Крыма. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1974, № 6, с. 29—38.
407. *Кармазин П.С.* Тектоническое положение очагов землетрясений и сейсмическое районирование Крыма. — В кн.: Сейсмотектоника некоторых районов Юга СССР. М.: 1976, с. 26—31.
408. *Кельин Н.* Некоторые данные о последнем землетрясении в Крыму. — В кн.: Землеведение. М.; Л.: Госиздат, 1928, т. 30, вып. I/II, с. 3—44.
409. *Китык В.И., Плотников А.М.* Грязевые вулканы, дисгармонические складки и нефтегазоносность Керченского полуострова. — В кн.: Тектоника провинций горючих ископаемых. Киев: Наук. думка, 1977, с. 31—43.
410. *Комарова М.В., Штенгелов Е.С.* Антропогенные землетрясения в Степном Крыму. — Природа, 1980, №10, с. 96.
411. *Кондарак В.Х.* Кратера, сопки, землетрясения и передвижения почвы. — В кн.: Универсальное описание Крыма. СПб., 1875, т. 2, ч. IV, с. 60—62.
412. *Аранович З.И., Горшков Г.П., Медведев С.В.* и др. Крым. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 196—213.
413. Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. I. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 575 с.
414. *Каменобродский А.Г., Кармазин П.С., Кульчицкий Е.Е.* и др. Крым. — В кн.: Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с. 114—120.
415. *Кутас Р.И., Гордиенко В.В.* Геотермические исследования на Крымском полуострове. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, вып. 67, с. 75—79.
416. *Лебедев Т.С.* Земная кора Черного моря. — В кн.: Проблемы физики Земли. Киев: Наук. думка, 1966, с. 78—83.
417. *Лебедев Т.С., Болюбах К.А.* Глубинное строение земной коры Крыма и Черноморско-Азовского бассейна по данным геофизических исследований. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры. Киев: Наук. думка, 1964, с. 18—26.
418. *Лебедев Т.С., Гордиенко В.В., Кутас Р.И.* Геотермические условия Крыма. — В кн.: Глубинное строение земной коры. Киев: Наук. думка, 1967, с. 23—28.
419. *Лебедева Н.Б.* Условия и некоторые вопросы механизма образования глиняных диапиров Керченско-Таманской области. — В кн.: Складчатые деформации земной коры, их типы и механизм образования. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 219—239.
420. *Левицкая А.Я.* О глубине залегания очагов Крымских землетрясений. — Тр. СИ АН СССР, 1935, № 60. 8 с.
421. *Левицкая А.Я.* О крымских землетрясениях до данным сейсмических станций Крыма. — Тр. СИ АН СССР, 1948, № 127, с. 80—99.
422. *Левицкая А.Я.* Сейсмичность Крыма. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 214—221.
423. *Левицкая А.Я., Муратов М.В.* О связи сейсмичности с тектонической структурой Черноморской впадины и окружающих ее областей. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1959, № 4, с. 538—546.
424. *Лычагин Г.А.* Ископаемые грязевые вулканы Керченского полуострова. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1952, т. 27, вып. 4, с. 3—13.
425. *Маловицкий Я.П., Непрочнов Ю.П.* Составление сейсмических и гравиметрических данных о строении земной коры Черноморской впадины. М.: Наука, 1966, с. 5—16.
426. *Маркевич А.И.* Летопись землетрясений в Крыму: (Ист. справка). — В кн.: Черноморские землетрясения 1927 года и судьба Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928, с. 64—73.
427. *Матвеев П.С., Корба П.С., Булацен В.Г.* Исследование приливных деформаций Земли на Крымском полигоне. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, вып. 67, с. 80—90.
428. *Милановский Е.Е.* Проблема происхождения Черноморской впадины и ее место в структуре альпийского пояса. — Вест. МГУ. Сер. 4, Геология, 1967, № 1, с. 27—43.
429. *Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.
430. *Молодых И.И., Куликова Г.В.* Опыт составления карт детального сейсмического районирования по данным анализа грунтовых и инженерно-геологических условий. — В кн.: Вопросы региональной сейсмичности Средней Азии. Фрунзе: Илим, 1964, с. 137—144.
431. *Монахов Ф.И.* О некоторых вопросах поляризации поперечных сейсмических волн. — Изв. АН СССР. География и геофизика, 1950, т. 14, № 6, с. 501—513.
432. *Морозова Р.Н., Шебалин Н.В.* О землетрясениях Крыма 1800—1967 гг.: (Опыт критического каталога). — Геофиз. сб. АН УССР, 1968, вып. 26, с. 13—41.
433. *Муратов М.В.* Основные черты тектоники Крымского полуострова. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1937, т. 15 (3), с. 215—241.
434. *Муратов М.В.* Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 207 с.
435. *Николаев Н.И., Бабак В.И., Рыжов А.А.* Новейшая тектоника Крыма. — В кн.: Новейшие тектонические движения и структуры Альпийского геосинклинального пояса юго-западной Евразии. Баку: Изд-во АН АзССР, 1970, с. 68—75.
436. *Гаркаленко И.А., Пустильников М.Р., Соллогуб В.Б.* и др. Основные черты глубинного строения Северного Причерноморья и Западного Предкавказья. — В

- кн.: Глубинное строение земной коры. Киев: Наук. думка, 1967, с. 29—40.
437. *Полумб А.Х.* Очерк Крымских землетрясений: Сейсмическая станция "Ялта". Симферополь: Госиздат Крым. АССР, 1933, с. 1—70.
438. *Попов Вл.В.* Крым (1908—1936): Каталог землетрясений Союза ССР. — М., 1940, 21с., (Тр. СИ АН СССР, № 8. Вып. 1).
439. *Попов И.И.* Землетрясения в Крыму и прилегающих к нему частях Черного моря. — В кн.: Геология СССР, т. 8. Крым, ч. 1. М.: Недра, 1969, с. 447—459.
440. *Попов И.И.* Микросейсмические шумы на Крымском полуострове как помехи при сейсмических наблюдениях. — Геофиз. сб. АН УССР, 1967, вып. 19, с. 77—83.
441. *Попов И.И., Пустовитенко Б.Г.* Наклономерные исследования на Крымском геодинамическом полигоне. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, № 67, с. 16—24.
442. *Бунз В.И., Гитис В.Г.* и др. Прогноз максимальных магнитуд землетрясений по комплексу геолого-геофизических данных. — В кн.: Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980, с. 111—119.
443. *Лузанов И.И.* Фауна Крыма. — В кн.: Крым: Путеводитель. Симферополь: Крымиздат, 1923, с. 87—135.
444. *Пустовитенко Б.Г.* Тектонические напряжения в земной коре Крымского региона по данным об очагах слабых землетрясений. — Геофиз. сб. АН УССР, 1977, № 78, с. 15—22.
445. *Пустовитенко Б.Г., Каменобродский А.Г.* Некоторые закономерности миграции очагов землетрясений за последние 100 лет. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, вып. 65, с. 81—87.
446. *Пустовитенко Б.Г., Каменобродский А.Г., Кальчицкий В.Е.* Сейсмическая активность и максимально возможные землетрясения Крымского региона. — В кн.: Вопросы количественной оценки сейсмической опасности. М.: Наука, 1975, с. 38—43.
447. *Пустовитенко Б.Г., Кальчицкий В.Е.* Особенности проявления сейсмических процессов в Крыму. — Геофиз. сб. АН УССР, 1975, № 67, с. 55—61.
448. *Пустовитенко Б.Г., Раутиан Т.Г.* Применение сейсмической коды к исследованию затухания сейсмических волн в Крымском регионе. — Геофиз. сб. АН УССР, 1977, вып. 78, с. 3—14.
449. *Пустовитенко Б.Г., Тростников В.Н.* К вопросу о связи сейсмических процессов в Крыму с тектоникой. — Геофиз. сб. АН УССР, 1977, № 77, с. 13—23.
450. *Райко Н.В.* Эпицентральная зона Крымских землетрясений. — М., 1930. 13 с. (Тр. СИ АН СССР; вып. 3. 13 с.).
451. *Райкова Н.В.* О проявлении киммерийской складчатости в Горном Крыму. — В кн.: Региональная геология некоторых районов СССР: Материалы науч. студ. конф. 1975 г. М.: Изд-во МГУ, 1977, вып. 2, с. 5—9.
452. *Репников М.П.* Опыт применения тематической статистики при изучении сейсмических явлений. Ташкент: Ком. политехн. наук УзССР, 1938. 21 с.
453. *Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Джибладзе Э.А.* Сейсмичность. — В кн.: Земная кора и история развития Черноморской впадины. М.: Наука, 1975, с. 213—236.
454. *Ризниченко Ю.В., Бунз В.И., Захарова А.И.* Сейсмическая сотрясаемость Крымского региона. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, № 8, с. 3—15.
455. Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкость строительства. Киев: Наук. думка, 1972. 195 с.
456. *Слудский А.Ф.* О землетрясениях в Крыму. — Бюл. погоды и состояния моря за 21—30 сент. 1927 года, Феодосия, 1927, № 27, с. 10—12.
457. *Слудский А.Ф.* Исторический очерк землетрясений в Крыму. — В кн.: Крым: О-во по изуч. Крыма. М.; Л.: Госиздат, 1928, № 1 (5), вып. 1, с. 17—24.
458. *Смирнов М.В.* Каталог землетрясений в Крыму. Симферополь, 1931, с. 1—48.
459. *Собакарь Г.Т.* Квазипериодические вариации силы тяжести Земли, их природа и научно-прикладное значение. — Геофиз. сб. АН УССР, 1972, вып. 46, с. 31—42.
460. *Соколов Д.В.* Крымские землетрясения и работы по их исследованию. — В кн.: Крым: О-во по изуч. Крыма. М.; Л.: Госиздат, 1928, № 1 (5), вып. 1, с. 9—16.
461. *Соллогуб В.Б.* О структуре земной коры Юго-Восточной Европы. — Геофиз. сб. АН УССР, вып. 19, с. 13—30.
462. *Соллогуб В.Б.* Результаты глубинных сейсмических зондирований на Украине. — В кн.: Геофизические исследования строения земной коры Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 1967, с. 8—19.
463. *Соллогуб Н.В.* Глубинное строение Крымского полуострова. — В кн.: Структура земной коры Центральной и Восточной Европы по данным геофизических исследований. Киев: Наук. думка, 1980, с. 78—84.
464. Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966. 95 с.
465. *Субботин С.И.* Строение земной коры впадины Черного моря, причины и схема ее формирования. — В кн.: Строение земной коры и физические свойства горных пород. — Геофиз. сб. АН УССР, 1965, вып. 1 (12), с. 3—17.
466. *Балавадзе Б.К., Бураковский В.Е., Гаркаленко И.А.* и др. Тектоника области Черного и Азовского морей. — Геотектоника, 1968, № 4, с. 70—84.
467. *Моргунов Ю.Г., Куприн П.Н., Филимонов А.Ф.* и др. Тектоника платформенного чехла северо-западной части Черного моря. — Вест. МГУ. Сер. 4, Геология, 1976, № 3, с. 35—44.
468. *Ушаков С.А., Галушкин Ю.И., Иванов О.П.* Природа складчатости осадков на дне Черного моря в зоне перехода к Крыму и Кавказу. — Докл. АН СССР, 1977, т. 233, № 5, с. 932—935.
469. *Чекунов А.В., Веселов А.А., Гильман А.М.* Геологическое строение и история развития Причерноморского прогиба. Киев: Наук. думка, 1976. 163 с.
470. Черноморские землетрясения 1927 года и судьбы Крыма. Симферополь: Крымгосиздат, 1928. 113 с.
471. *Шалимов А.И.* Новая тектоническая схема Крыма и связь складчатых сооруже-

ний Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа. — В кн.: Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966, с. 49—58.

472. *Шебалин Н.В.* К оценке максимальной сейсмической опасности Крымско-Таманского региона. — В кн.: Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкость строительства. Киев: Наук. думка, 1972, с. 14—20.
473. *Штенгелов Е.С.* Зоны современного тектонического растяжения в Крыму и юго-западной части Русской плиты. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1977, № 2, с. 118—123.
474. *Штенгелов Е.С.* Некоторые вопросы плиоцен-четвертичного раздвижения континентальной коры. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1979, т. 54, вып. 4, с. 3—15.
475. *Штенгелов Е.С.* Зоны новейшего и современного раздвижения континентальной коры. Изв. АН СССР. Сер. геол., 1980, № 6, с. 5—19.
476. *Щербяков Ф.А., Чистяков А.А., Куприн П.Н.* Новейшая структура Северного борта Черноморской впадины. — Вест. МГУ. Сер. 4, Геология, 1980, № 4, с. 25—31.
477. *Абакелия М.С.* Проблема Кюрдмирского гравитационного хребта в Закавказье. — Тр. Ин-та физики и геофизики АН ГССР, 1947, т. 10, с. 125—191.
478. *Абих В.* Землетрясение в Шемахе и Эрзруме в мае 1859 года. — Горн. журн., СПб., 1861, ч. 4, № 10, с. 101—120; То же — Зап. Кавк. отд-ния РГО, Тифлис, 1862, кн. V, с. 1—18.
479. *Агабеков М.Г., Аллахвердиев Р.А., Мошавили А.Б.* Структурные соотношения мезозойского и кайнозойского комплексов центральной части Куринской впадины и Шемаха-Кобыстанской области. Баку: Элм, 1977, 126 с.
480. *Агабеков М.Г., Ахмедбейли Ф.С.* К вопросу изучения неотектоники в Азербайджане. — Изв. АН АзССР, 1956, № 7, с. 49—71.
481. *Агабеков М.Г., Григорянц Б.В.* Миграция центрального поднятия юго-восточного Кавказа в южном направлении (в пределах Апшеронской области). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1957, № 10, с. 85—94.
482. *Агамирзов Р.А.* Сейсмотектоническая обстановка очагов землетрясений Юго-Восточного Кавказа. — В кн.: Материалы конференции по изучению сейсмичности и глубинного строения Азербайджана. Баку: Элм, 1974, с. 64—75.
483. *Агамирзов Р.А.* К сейсмическому районированию Азербайджана. — В кн.: Сейсмотектоника некоторых районов Юга СССР. М.: Наука, 1976, с. 31—41.
484. *Агамирзов Р.А., Гюль Э.К., Кузнецов В.П.* Шекинское землетрясение. — Сейсм. бюл. Кавказа за 1976 г., Тбилиси, 1979, с. 143—146.
485. *Кулиев Ф.Т., Рагимов Ш.С., Ахмедбейли Ф.С.* и др. Азербайджан. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, с. 227—241.
486. *Азизбеков Ш.А.* Геология Нахичеванской АССР. М.: Госгеолтехиздат, 1961, 502 с.
487. *Айвазишвили И.В., Папалашвили В.Г.* К вопросу сейсмического районирования территории Кавказа. — Тр. ИГАН ГССР за 1972 г., 1973, т. 29, с. 13—18.
488. *Айвазов И.В.* Зависимость между балльностью, интенсивностью и глубиной очага для Кавказских землетрясений. — Сообщ. АН ГССР, 1961, т. 26, № 2, с. 149—152.
489. *Алексидзе М.А., Гоцадзе О.Д., Купрад*  
*зе М.А.* К вопросу картирования сейсмических элементов землетрясений с помощью ЭВМ. — В кн.: Исследования сейсмичности и сейсмического режима территории Грузии. Тбилиси, 1980, с. 5—19. (Тр. ИГАН ГССР; Т. 46).
490. *Ананьин И.В.* Сейсмичность Западного Кавказа, восточной части Черного моря и связь ее с внутренним строением земной коры. В кн.: Строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1966, с. 31—48.
491. *Ананьин И.В.* Северный Кавказ. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 254—270.
492. *Ананьин И.В.* Аргунское землетрясение 2 марта 1966 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1966 г. М.: Наука, 1970, с. 35—43.
493. *Ананьин И.В.* Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977, 148 с.
494. *Ананьин И.В., Горячун Ю.Г., Зарайский М.П.* и др. Об Анапском землетрясении. — В кн.: Доклады комиссий. Обнинск: Обнин. отд-ние РГО, 1970, вып. 2, с. 122—125.
495. *Ананьин И.В., Зыбина И.А.* Анапское землетрясение 12 июля 1866 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1966 г. М.: Наука, 1970, с. 56—62.
496. *Ананьин И.В., Кронрод Т.Л.* Модель изосейст Кавказа. — В кн.: Интерпретация данных сейсмологии и неотектоники. М.: Наука, 1975, с. 38—70 (Вычисл. сейсмология; Вып. 8).
497. *Ананьин И.В., Кулиев Ф.Т.* Касумкентское землетрясение 20 апреля 1966 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1966 г. М.: Наука, 1970, с. 44—56.
498. *Аранович З.И., Зарайский М.П., Якушева В.Н.* Сейсмичность Анапского района по инструментальным данным. — Физика Земли, 1972, № 1, с. 79—85.
499. *Артемьев М.Е., Балавадзе Б.К.* Изостазия Кавказа. — Геотектоника, 1973, № 6, с. 20—33.
500. *Артемьев М.Е., Бунз В.И., Камбаров Н.Ш.* Использование данных о нарушениях изостатического равновесия для выделения сейсмоопасных зон Крымо-Кавказского региона. — Изв. АН СССР, 1972, № 11, с. 8—27.
501. *Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармачев Ш.Г.* и др. Салатауское землетрясение 23 декабря 1974 г. в Дагестане. —

- В кн.: Землетрясения в СССР в 1975 г. М.: Наука, 1978, с. 43—52.
502. *Асманов О.А., Гамидова А.М., Левкович Р.А.* Дургелинское землетрясение 14 июля 1977. в Дагестане. — В кн.: Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана. Махачкала: Даг. фил. АН СССР, 1979, с. 3—10.
503. *Асманов О.А., Идармачев Ш.Г., Левкович Р.А.* Чиркейские землетрясения 8 июня 1972 года. — Бюл. сети сейсм. станций Кавказа за I—VI 1973 г., Тбилиси, 1974, с. 205—209.
504. *Астахов М.Е.* Структурная геоморфология Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 224 с.
505. *Ахалбедашвили А.М.* Хашмское землетрясение 17 июня 1967 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1967 г. М.: Наука, 1970, с. 31—33.
506. *Ахмедбейли Ф.С.* Неотектоника восточной части Большого Кавказа (в пределах Азербайджана). Баку: Изд-во АН АзССР, 1966. 202 с.
507. *Ахмедбейли Ф.С.* Некоторые критерии неотектонического районирования молодых складчатых областей. — В кн.: Новейшие тектонические движения и структура альпийского геосинклинального пояса юго-западной Евразии. Баку: Элм, 1970, с. 21—29.
508. *Багдасарова А.М., Кузьмина Н.В., Ненилина В.С.* Сейсмичность Шемахинской зоны. — В кн. Землетрясения в СССР, М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 250—258.
509. *Баграмян А.Х., Геодакян Э.Г., Еремьян Б.Ц.* Ереванское землетрясение 16 июня 1973 г. — Бюл. сети сейсм. станций Кавказа за I—VI 1973 г., Тбилиси, 1974, с. 133—146.
510. *Баграмян А.Х., Геодакян Э.Г., Палалашвили В.Г.* Землетрясение 24 ноября в районе озера Ван. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1976 г. М.: Наука, 1980, с. 16—18.
511. *Бадалян М.С., Оганисян Ш.С., Пирюзян С.А.* О некоторых соотношениях между геофизическими полями и новейшим вулканизмом Армянской ССР. — Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле, 1978, № 1, с. 47—57.
512. *Блавадзе Б.К.* Гравитационное поле и строение земной коры в Грузии. Тбилиси: Изд-во АН ГССР, 1957. 122 с.
513. Бежтинское землетрясение 4 августа 1974 г./Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармачев Ш.С. и др. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1975 г. М.: Наука, 1978, с. 31—35.
514. *Белоусов В.В.* Большой Кавказ: Опыт геотектонического исследования. — Тр. ЦНИГРИ, ч. I—1938, вып. 108, 98 с., ч. II—1939, вып. 126, 176 с.; ч. III—1940, вып. 126. 90 с.
515. *Белоусов В.В., Кириллова И.В., Сорский А.А.* Краткий обзор сейсмичности Кавказа в сопоставлении с его тектоническим строением. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1952, № 5, с. 3—9.
516. *Богачев В.В.* Геологический очерк Азербайджана. — В кн.: Материалы по районированию АзССР, 1926, т. 1, вып. 3, 87 с.
517. *Богданович К.И.* Несколько замечаний о землетрясении в Шемахе 30 января 1902 г. — Изв. ПЦСК, 1903, т. 1, вып. 2, с. 282—290.
518. *Борисов А.А., Рейснер Г.И.* О сейсмо тектоническом каталоге землетрясений Кавказа. — Физика Земли, 1974, № 9, с. 11—18.
519. *Борисов А.А., Рейснер Г.И., Шолпо В.Н.* Выделение сейсмоопасных зон в альпийской складчатой области. М.: Наука, 1975. 139 с.
520. *Будагов Б.* О новейших тектонических движениях юго-восточного Кавказа. — Докл. АН АзССР, 1958, т. 14, № 5, с. 379—383.
521. *Буниат-Заде З.А.* Газонефтяной вулканизм Южно-Каспийской впадины и землетрясения. — В кн.: Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования. М.: Изд-во МГУ, 1977, с. 33—40.
522. *Быховский В.А., Карапетян Б.И.* Библиографический справочник по инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений Ереван: Ин-т геофизики и инж. сейсмологии АН АрмССР 1964. 355 с.
523. *Бюс Е.И.* Очерк сейсмичности ЗСФСР. — В кн.: Материалы к общей схеме использования водных ресурсов Кура-Араксинского бассейна. Тифлис, 1930, вып. 9, с. 46—59.
524. *Бюс Е.И.* К вопросу о сейсмическом районировании РСФСР. — В кн.: Сейсмостойкость сооружений. — Тр. ЗНИИС, Тифлис, 1931, вып. 3, с. 36—39.
525. *Бюс Е.И.* К вопросу о влиянии землетрясений на Кавказе на источники. — Тр. Ин-та физики и геофизики АН ГССР, 1946, т. 9, с. 103—122.
526. *Бюс Е.И.* Землетрясение в Тбилиси. — Тр. Ин-та физики и геофизики АН ГССР, 1947, т. 10, с. 83—123.
527. *Бюс Е.И.* Мегрело-Сванское землетрясение 7 ноября 1930 г. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1947, т. 12, № 4, с. 37—45.
528. *Бюс Е.И.* Михайлово-Аджикендское землетрясение 19 сентября 1942 г. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1947, т. 13, № 1/4, с. 149—154.
529. *Бюс Е.И.* Рой июньских землетрясений 1941 г. в Мегрелии (Грузия). — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1947, т. 12, № 4, с. 47—67.
530. *Бюс Е.И.* Сейсмические условия Закавказья. Тбилиси: Изд-во АН ГССР, ч. I. 1948. 304 с.; ч. II. 1952. 174 с.; ч. III. 1955. 130 с.
531. *Бюс Е.И.* Вопросы макросейсмического распространения землетрясений в Закавказье. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1950, т. 17, № 1/4, с. 75—92.
532. *Бюс Е.И.* Западно-Грузинское землетрясение 13 сентября 1948 г. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1950, т. 16, № 1/4, с. 69—81.
533. *Бюс Е.И.* К вопросу исследования сейсмогеографии территории Грузинской ССР и ее сейсмоярмонирование. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1950, т. 16, № 1/4, с. 83—89.
534. *Бюс Е.И.* О сейсмичности Закавказья. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1956, № 1, с. 95—99.
535. *Бюс Е.И.* О сейсмоэнергетическом режиме

- Кавказа. — В кн.: Восьмая научная сессия Института геофизики АН ГССР. Тбилиси: ИГ АН ГССР, 1958, с. 5—7.
536. *Бюс Е.И.* Сейсмознергетические условия Кавказского перешейка в годы 1912—1958. — Тр. ИГ АН ГССР, 1962, т. 20, с. 59—74.
537. *Бюс Е.И., Гигинейшвили В.* Ленинканское землетрясение 22 октября 1926 г. (по макросейсмическим наблюдениям). — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1943, т. 12, № 2, с. 39—110.
538. *Бюс Е.И., Лебедева Т.М., Цхакая А.Д.* Аджикендское землетрясение 21. XII. 1938 г. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1940, т. XI, № 1, с. 35—48.
539. *Бюс Е.И., Рубинштейн М.М.* Новые данные о Табачкурском землетрясении 7—8 мая 1940 г. — Сообщ. АН ГССР, 1958, т. 14, № 2, с. 85—89.
540. *Бюс Е.И., Рубинштейн М.М.* О характере сейсмической активности южного склона Большого Кавказа. — Сообщ. АН ГССР, 1956, т. 17, № 9, с. 801—806.
541. *Бюс Е.И., Цхакая А.Д.* Сейсмологические основы сейсмрайонирования Кавказа. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 99—104.
542. *Бюс Е.И., Цхакая А.Д., Рубинштейн М.М.* Грузия. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 242—253.
543. *Варазанашили О.Ш.* Очаговые зоны землетрясений Кавказа. — В кн.: Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 257—264.
544. *Варданянц Л.А.* Геотектоника и геосейсмика Дарьяла как основная причина катастрофических обвалов Девдоракского и Генал-донского ледников Казбекского массива. — Изв. РГО, 1932, т. 64, вып. 1, с. 51—60.
545. *Варданянц Л.А.* Сейсмотектоника района Транскавказской перевальной железной дороги. — Тр. СИ АН СССР, 1934, № 40, с. 1—11.
546. *Варданянц Л.А.* Сейсмотектоника Кавказа. — М., 1935. 87 с. (Тр. СИ АН СССР: № 64).
547. *Варданянц Л.А.* Землетрясения Кавказа и его глубинное строение. — Изв. ВГО, 1945, т. 28, вып. 2, с. 201—206.
548. *Вассоевич Н.Б., Хаин В.Е.* Явления покровной тектоники в Лагичских горах. — Изв. АН СССР, Сер. геол., 1940, № 1, с. 76—80.
549. *Вахания Е.К.* Новая тектоническая схема Колхидской низменности. — Докл. АН СССР, 1967, т. 177, № 3, с. 658—661.
550. *Вебер В.Н.* О землетрясении в Ахалкалакском уезде 19 декабря 1899 г. — Изв. Кавк. отд-ния РГО, Тифлис. 1900, т. 13, № 5, с. 104—109.
551. *Вебер В.Н.* Шемахинское землетрясение 31 января 1902 г. Пб., 1903, 73 с. (Тр. Геол. ком. Н.С.; вып. 9).
552. *Вебер В.Н.* Об исследовании землетрясений. — В кн.: Памяти И.В. Мушкетова. СПб., 1905, с. 173—187.
553. *Вебер В.В., Федынский В.В.* Гравиметрическая картина юго-восточного Кавказа в палеогеографическом освещении. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 5, с. 131—138.
554. *Володкевич И.И.* О влиянии землетрясений на источники Кавказских минеральных вод. — В кн.: Материалы по изучению Ставропольского края. Ставрополь, 1952, вып. 4, с. 131—133.
555. Второй семинар по геодинамике Кавказа: Тез. докл., 21—25 апреля 1980 г. Тбилиси, 1980. 66 с.
556. *Габриелян А.А.* Северо-Зангезурский глубинный разлом и его геологическое значение. — Докл. АН СССР, 1956, № 3, вып. 106, с. 511—513.
557. *Габриелян А.А.* Тектоническое строение Анти-Кавказа (Малого Кавказа) и положение его в системе альпийского орогена Юга СССР и сопредельных стран. — Изв. АН АрмССР. Сер. наук о Земле, 1961, т. 14, № 4, с. 7—22.
- ✓ 558. *Габриелян А.А.* Геотектоническое районирование территории Армянской ССР. — Изв. АН АрмССР. Сер. наук о Земле, 1974, № 4, с. 3—21.
- ✓ 559. *Габриелян А.А., Пирузян С.А.* Сейсмотектоническая схема Армении и сопредельных частей Антикавказа. — Изв. АН АрмССР. Сер. наук о Земле, 1972, № 4, с. 24—32.
- ✓ 560. *Габриелян А.А., Пирузян С.А., Симонян Г.П.* Новая схема сейсмического районирования территории Армянской ССР. — Докл. АН АрмССР, 1976, т. 63, № 3, с. 182—188.
561. *Гаджиев Р.М.* Глубинное геологическое строение Азербайджана. Баку: Изд-во АзССР, 1965. 200 с.
- ✓ 562. *Гаретовская И.В.* Изучение глубинного строения Армении по близким землетрясениям, регистрируемым станциями "Земля". — В кн.: Геофизические исследования. М.: Наука, 1975, с. 50—62.
563. Геодинамика и сейсмичность территории Дагестана. Махачкала, 1979. 166 с.
564. *Герасимов А.П.* Тифлисское землетрясение 12 октября 1912 г. — Бюл. ПЦСК за 1912 г., ПГ., 1914, с. 9—29.
- 564а. Глубина строения Кавказа. М.: Наука, 1960. 163 с.
565. *Гниловский В.Г.* Землетрясения Ставропольской возвышенности. — Материалы по изучению Ставропольского края. Ставрополь: Крымиздат, 1940, вып. 1, с. 177—188.
566. *Гниловский В.Г., Никитин П.Н.* Землетрясение 12 ноября 1954 г. в предгорной полосе Западного Кавказа. — Материалы по изучению Ставропольского края, 1956, вып. 8, с. 5—25.
567. *Гогмачадзе С.А., Напетваридзе Ш.Г., Самков Б.Н.* Сейсмическое микрорайонирование территории г. Тбилиси. — В кн.: Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977, с. 208—212.
568. *Голубятников В.Д.* О тектонике Центрального Предкавказья. — Материалы Всесоюз. н.и.геол. ин-та, 1956, вып. 8, с. 285—293.
569. *Горшков Г.П.* Геологические условия Зангезурского землетрясения 27 апреля 1931 г. М., 1933. 25 с. (Тр. СИ АН СССР; № 31).
- ✓ 570. *Горшков Г.П., Рустанович Д.Н., Милай Т.А.* Сейсмогеологические условия возникно-

- вения Зангезурского землетрясения 2 июня 1968 г. — Физика Земли, 1973, № 6, с. 77—81.
572. *Гоцадзе О.Д.* Об основных центрах сейсмической активности Джавахетского нагорья. — Сообщ. АН ГССР, 1966, т. 44, № 3, с. 571—578.
573. *Гоцадзе О.Д.* К исследованию Мадатапского землетрясения. — Изв. АН СССР, Физика Земли, 1968, № 4, с. 85—95.
574. *Гоцадзе О.Д.* Об условиях возникновения Джавахетских землетрясений. — В кн.: Тр. 3-го Всесоюз. симпози. по сейсмич. режиму (3—7. VI 1968). Новосибирск: Наука, 1969, ч. II, с. 38—50.
575. *Гоцадзе О.Д.* Об изменении физического состояния среды в гипоцентральной области крупных землетрясений. — В кн.: Некоторые вопросы физики Земли. Тбилиси, 1971, с. 37—42.
576. *Гоцадзе О.Д.* О режиме высвобождения энергии деформации в области Джавахетской сейсмоактивной зоны. — Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, 1973, т. 31, с. 18—28.
577. *Григорьянц Б.В.* Поперечная зональность в структуре юго-восточного Кавказа. — В кн.: Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Изд-во АзССР, 1964, с. 262—273.
578. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. — В кн.: Сейсмология, геология, геофизика/Под ред. Х.И. Амирханова. М.: Наука, 1980. 219 с.
579. *Джанашвили М.Г.* Землетрясения в прошлом: (Ист. справка) — Изв. КОРГО, Тифлис, 1902, т. 15, № 5, с. 319—321.
580. *Джибладзе Э.А.* Землетрясения Большого Кавказа. — Тр. ИГ АН ГССР, 1957, № 17, с. 103—114.
581. *Джибладзе Э.А.* Номограммы для определения величины  $K$  землетрясений Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 11, с. 95—98.
582. *Джибладзе Э.А.* Оценка размера очага слабых землетрясений Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 5, с. 89—99.
583. *Джибладзе Э.А.* Сейсмическая активность и максимальные землетрясения Грузии и ее окрестностей. — В кн.: Изучение сейсмической опасности. Ташкент: Фан, 1971, с. 50—55.
584. *Джибладзе Э.А.* Оценка некоторых характеристик очагов слабых землетрясений Кавказа. — Тр. ИГ АН ГССР, 1976, т. 37, с. 63—75.
585. *Джибладзе Э.А., Дарахвелидзе Л.К., Табуцадзе И.А.* Затухание сейсмических волн с расстоянием землетрясений Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 1, с. 93—95.
586. *Джибладзе Э.А., Джиджешвили П.О.* Сейсмичность зоны сочленения Крыма и Кавказа. — Тр. ИГ АН ГССР, 1976, т. 37, с. 76—90.
587. *Думитрашко Н.В., Милановский Е.Е., Хаин В.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. — В кн.: Неотектоника СССР. Рига: Изд-во АН ЛатвССР, 1961, с. 237—250.
588. *Думитрашко Н.В., Лилиенберг Д.А.* Современная тектоника Кавказа. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 274—284.
589. *Думитрашко Н.В., Лилиенберг Д.А., Будагов Б.А.* Рельеф и новейшая тектоника юго-восточного Кавказа. Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 117 с.
590. *Егоркина Г.В., Гаретовская И.В., Соколова И.А.* и др. Возможности использования сейсмических станций "Земля". — В кн.: Геофизические поля и сейсмичность М.: Наука, 1975, с. 63—69.
591. *Епишин В.К.* Тектоника и сейсмичность Апшеронского полуострова. — Тр. ПНИИИС, 1974, вып. 30, с. 48—59.
592. *Баграмян А.Х., Карапетян Н.К., Лебедева Т.М.* и др. Зангезурское землетрясение 9 июня 1968 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1968 г. М.: Наука, 1972, с. 35—38.
593. *Иоселиани М.С.* О сейсмогеологической природе Внутренне-Карталинской равнины. — Сообщ. АН ГССР, 1955, т. 16, № 7, с. 525—530.
594. *Иоселиани М.С., Карцивадзе Г.Е.* К вопросу сейсмогеологического строения Ахалкалакского нагорья и некоторых смежных районов. Тбилиси: Изд-во АН ГССР, 1960, т. 18, с. 81—89. На груз. яз.
595. *Иоселиани М.С., Папалашвили В.Г.* К вопросу о сейсмичности территории Каспийского моря и прилегающей территории. — Тр. ИГ АН ГССР, 1960, т. 19, с. 59—64. На груз. яз.
596. *Иоселиани М.С., Папалашвили В.Г.* Некоторые вопросы сеймотектонических условий восточной части Большого Кавказа и прилегающих районов. — Тр. ИГ АН ГССР, 1964, т. 22, с. 15—41. На груз. яз.
597. Исследование сейсмичности и сейсмического режима на территории Грузии. — Тр. ИГ АН ГССР, 1980, т. 46. 97 с.
598. *Кажлаев Н.Г.* Ликвидация экономических последствий сильных землетрясений. Махачкала: Даг. кн. изд-во, 1972. 212 с.
599. *Казин Э.А.* Хронология землетрясений Кавказских минеральных вод и Ставропольского возвышенности. — Бюл. сети сейсм. станций Кавказа, июль—декабрь 1973 года, Тбилиси, 1974, с. 108—142.
600. *Карапетян О.Т.* О характере и причине землетрясения г. Еревана и его районов 7 января 1937 г. — В кн.: Тр. 17-й сес. МГК 1937 г. М., 1937. 244 с.
601. *Карапетян Н.К.* Динамические параметры очагов некоторых землетрясений Кавказа. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 2, с. 260—268.
602. *Карапетян Н.К.* Напряженное состояние в очагах землетрясений Армении и механизмы их возникновения. — Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле, 1977, вып. 3, с. 42—49.
603. *Карапетян Н.К., Манукян Ж.О.* Карта сейсмической активности Армянского нагорья. — Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле, 1948, т. 29, № 5, с. 81—86.
604. *Карапетян Н.К., Мкртчян С.С., Паффенгольц К.Н.* Армения. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968, с. 214—226.
605. *Карякин Ю.В., Ковалев А.А., Оленин В.Б.* Геодинамическая модель истории геологического развития Кавказа и некоторые вопросы металлогении. — В кн.: Геодинамика и полезные ископаемые. М., 1976, с. 187—190.
606. *Каи А.З., Рустанович Д.Н.* Сейсмичность

района Сочи—Красная Поляна. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, МСССС, 1961, с. 235—239.

607. *Кашкай М.А., Тамразян Г.П.* Поперечные (антказкавказские) дислокации Крымско-Кавказского режима, их роль в магматизме и закономерностях размещения полезных ископаемых. М.: Недра, 1967. 76 с.
608. Квартальный сейсмический бюллетень (КСБ) Центральной сейсмической станции Ин-та физики и геофизики (ИФГ) АН ГССР за 1935—1948 гг. Тбилиси, 1935—1948.
609. *Кейлис-Борок В.И.* Дислокация в очагах землетрясений. — В кн.: Исследования механизма землетрясений. М., 1957, с. 71—116.
610. *Керимов К.М., Байрамов А.А.* О природе некоторых сейсмических границ в земной коре Куринской впадины. — Сов. геология, 1979, № 1, с. 81—85.
611. *Асманов О.А., Арефьев С.С., Каспаров С.А.* и др. Киятлинское землетрясение 13 ноября 1974 г. в Дагестане. — В кн.: Землетрясения в СССР 1975 г. М.: Наука, 1978, с. 36—42.
612. *Кириллова И.В.* Сейсмичность Ахалкалакского нагорья. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1952, № 5, с. 10—24.
613. *Кириллова И.В.* К вопросу об осреднении карты эпицентров. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1955, № 30 (157), с. 123—126.
614. *Кириллова И.В.* О периодичности разрушительных землетрясений Кавказа и Турции. — Докл. АН СССР, 1957, т. 115, № 4, с. 771—773.
615. *Кириллова И.В.* О сейсмических условиях Закавказья, Турции и Ирана. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 125—130.
616. *Кириллова И.В., Люстих Е.Н., Растворова В.А.* и др. Анализ геотектонического развития и сейсмичности Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 340 с.
617. *Кириллова И.В., Рейснер Г.И.* Использование геологических критериев сейсмической опасности. — В кн.: Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкость сооружений. Киев: Наук. думка, 1972, с. 44—56.
618. *Кириллова И.В., Сорский А.А.* О методике составления карты сейсмического районирования масштаба 1 : 1 000 000 на примере Кавказа. — Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1960, № 8, с. 212, 121—124.
619. *Кириллов И.В., Сорский А.А.* Тектоника и сейсмичность Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 158—170.
620. *Кисловская В.В.* К вопросу о магнитудах Кавказских землетрясений. — В кн.: Изучение сейсмической опасности. Ташкент: Фан, 1971, с. 47—50.
621. *Когошвили Л.В.* Живая тектоника Грузии и ее воздействие на рельеф. Тбилиси: Мецниереба, 1970. 219 с.
622. *Когошвили Л.В.* О развитии неотектонического рельефа Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1975. 307 с.
623. *Конюшевский Л.К.* Землетрясение в Карталини 20 февраля 1920 г.: (сводка работ геолого-технической комиссии). — В кн.: Материалы для геологии Грузии. Тифлис: Горн. отд. ВСНХ Грузии, 1929, кн. 1. 55 с.
- 623а. *Коридалин Е.А., Кузнецов В.П., Кириллов Ф.А.,* Эпицентры шемахинских землетрясений. — Докл. АН АЗССР, 1952, т. 9, № 12, с. 701—706.
624. *Костенко Н.П.* К геоморфологии лакколиты Бештау. — Бюл. Ком. по изуч. четвертич. периода, 1948, № 3, с. 67—73.
625. *Котляр В.Н.* Структура Зангезурского рудного поля. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1938, № 2, с. 349—368.
626. Краснополянское землетрясение 1955 г. — Бюл. Совета по сейсмологии, 1958, № 5, 63 с.
627. *Крестников В.Н.* Тектоническая характеристика восточной части Центрального Кавказа. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1947, № 6, с. 47—58.
628. *Крестников В.Н.* О сопоставлении сейсмичности и структуры восточной части Центрального Кавказа. — Докл. АН СССР, 1952, т. 85, с. 1135—1138.
629. *Крестников В.Н., Щукин Ю.К.* Геолого-геофизические условия возникновения Дагестанского и Пржевальского землетрясений 1970 г. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 12, с. 30—49.
630. *Кузнецов В.П.* Мардакертское землетрясение 6 декабря 1973 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1973 г. М.: Наука, 1976, с. 30—31.
631. *Кулиев Ф.Т.* Опыт сейсмического районирования Апшеронского полуострова. — Тр. ИФЗ АН СССР, № 22, с. 56—81.
632. *Кулиев Ф.Т.* О сейсмическом режиме Апшеронского полуострова. — Изв. АН АЗССР. Сер. геол.-геогр. наук и нефти, 1963, № 1, с. 55—65.
633. *Кулиев Ф.Т.* Уравнение макросейсмического поля для Азербайджана и его геотектонических областей. — Сейсмол. бюл. Кавказа за 1977 г., Тбилиси; 1980, с. 129—140.
634. *Кулиев Ф.Т., Алиев В.А., Исламов К.Ш.* Имишлинское землетрясение в мае 1965 г. — Докл. АН АЗССР, 1967, т. 23, № 6, с. 38—39.
635. *Кулиев Ф.Т., Папалашвили В.Г.* О связи между магнитудой и энергетическим классом *K* для землетрясений Кавказа. — Сейсмол. бюл. Кавказа за 1977 г., Тбилиси; 1980, с. 145—149.
636. *Лавров Л.* Землетрясение 1667 г. в Дагестане. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1957, № 8, с. 1080.
637. *Лебедев П.И.* Землетрясение в Армении в связи с сейсмичностью и строением Ближнего Востока. — Вестн. знания, 1931, № 11, с. 571—575.
638. *Лебедев Т.М.* Амбролаурское землетрясение 26 сентября 1940 г. — КСБ ИФЗ АН ГССР, Тбилиси, 1941, т. 11, № 3, с. 30—46.
639. *Лебедева Т.М.* Микросейсмические материалы Табачкурского землетрясения 7 мая 1940 г. — КСБ ИФЗ АН ГССР, Тбилиси, 1947, т. 13, № 14, с. 155—162.
640. *Лебедева Т.М.* Эпицентры Закавказских землетрясений за время 1933—1938 гг. — КСБ ИФЗ АН ГССР, Тбилиси, 1947, т. 13, № 1/4, с. 173—190.
641. *Лебедева Т.М.* Глубокофокусное землетрясение в Каспийском море 9 апреля

- 1935 г. — КСБ ИФГ АН ГССР, Тбилиси, 1949, т. 15, № 1—4, с. 81—95.
642. *Лебедева Т.М.* Дагестанское землетрясение 29 июня 1948 г. — КСБ ИФГ АН ГССР, Тбилиси, 1950, т. 17 № 1/4, с. 57—73.
643. *Лебедева Т.М.* Землетрясения на Кавказе с очагами под земной корой. — Тр. ИГ АН ГССР, 1958, т. 17, с. 139—159.
- 643а. *Лебедева Т.М., Майсурадзе О.М.* Анапское землетрясение 12 июля 1966 г. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1969, т. 7, с. 102—105.
644. *Лебедева Т.М., Махатадзе Л.Н., Папалашвили В.Г.* Параванское землетрясение 29 июня 1967 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1967 г. М.: Наука, 1970, с. 34—35.
645. *Лебедева Т.М., Папалашвили В.Г.* Землетрясение 12 февраля 1953 г. в Горийском районе. — Тр. ИГ АН ГССР, Тбилиси, 1954, т. 13, с. 149—157.
646. *Левицкая А.Я.* Сейсмическая деятельность на Кавказе в 1947—1949 гг. — В кн.: Сообщение по сейсмрайонированию Баку и Апшеронского полуострова, 21—25 октября 1949 г. Баку, 1949, с. 49. (Тез. докл.).
647. *Левицкая А.Я., Варданянц Л.А.* О землетрясении 6 апреля 1932 г. в Прикавказском районе Центрального Кавказа. — Изв. АН СССР. Отд. мат. науки и естеств. наук, 1933, № 2, с. 277—282.
648. *Левкович Р.А., Асманов О.А.* Изербашское землетрясение 20 июня 1975 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1975 г. М.: Наука, 1978, с. 22—25.
649. *Леонтьев Л.Н.* О так называемом "Главном надвиге" Малого Кавказа. — Докл. АН СССР, 1949, т. 69, № 3, с. 409—412.
650. *Ломтев Ю.А., Гуцин А.И.* Условия образования сейсмогравитационных дислокаций Северного Дагестана (Сулакский выступ). — Вест. МГУ. Сер. 4, Геология, 1979, № 4, с. 25—31.
651. *Лурсманишвили О.В.* Временно-пространственное распределение сильных землетрясений Кавказа и возможность взаимосвязи землетрясений через пластические волны. — Сообщ. АН ГССР, 1977, т. 87, № 3, с. 601—604.
652. *Майсурадзе О.М.* Об особенной фазе, характерной для некоторых землетрясений Гегечкорского района. — Сообщ. АН ГССР, 1961, т. 27, № 3, с. 271—276.
653. *Майсурадзе О.М.* Определение динамических параметров очага и их геологическая интерпретация для некоторых землетрясений Западной Грузии. — Тр. ИГ АН ГССР, 1962, т. 20, с. 101—112. На груз. яз.
654. *Майсурадзе О.М.* К сейсмотектонической характеристике Западной Грузии. — Тр. ИГАН ГССР, 1963, т. 21, с. 27—36. На груз. яз.
655. *Майсурадзе О.М.* Чечено-Ингушское землетрясение 2 марта 1966 г. — Сообщ. АН ГССР, 1967, т. 46, № 3, с. 593—599. На груз. яз.
656. *Майсурадзе О.М.* О некоторых вопросах сейсмотектоники антиклиниория Главного хребта Большого Кавказа. — Тр. ИГ АН ГССР, 1973, т. 31, с. 54—61.
657. *Майсурадзе О.М., Лебедева Т.М.* Некоторые вопросы сейсмотектоники Дзирульской зоны погружения Грузинской глыбы. — В кн.: Сейсмичность Кавказа за 1976 год. Тбилиси: Мецниереба, 1979, с. 187—209.
658. *Малиновский Н.В.* Сейсмический очерк Кировобадского района. — Тр. Азерб. фил. АН СССР. Сер. геофиз., 1936, вып. 21, с. 3—14.
659. *Малиновский Н.В.* Сейсмичность Нагорно-Карабахской автономной области. — Тр. Азерб. фил. АН СССР. Сер. геофиз., 1939, т. 1, № 58, с. 43—50.
660. *Малиновский Н.В.* Сейсмичность Нахичеванской АССР. — Тр. Азерб. фил. АН СССР. Сер. геофиз., 1939, т. 1, № 58, с. 33—42.
661. *Малиновский Н.В.* Сейсмичность Апшеронского полуострова. — Изв. АН АЗССР, 1948, № 5, с. 41—49.
662. *Малышева В.В., Смирнова М.Н., Бражник В.М.* Землетрясения 1950—1955 г. в районе нефтяного месторождения Гудермес. — Сейсмол. Бюл. Кавказа за 1976 г., Тбилиси, 1979, с. 210—222.
663. *Масляев Г.А.* Основные структурные элементы Предкавказья в неогене и плейстоцене. — Сов. геология, 1976, № 7, с. 98—107.
664. *Масляев Г.А.* О распространении морских отложений позднего плицена в Предкавказье. — Докл. АН СССР, 1979, т. 247, № 3, с. 661—663.
665. *Масляев Г.А.* Палеоструктура осадочного чехла Предкавказья. — Сов. геология, 1979, № 6, с. 55—67.
666. *Матцкова В.А.* Карта скоростей современных вертикальных движений земной коры Кавказа и юго-востока Прикавказья (по данным повторных нивелировок). — В кн.: Современные движения земной коры. М., 1968, № 3, с. 244—261.
667. *Милановский Е.Е.* Основные вопросы новейшей тектоники Кавказской области. — В кн.: Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность. М.: Наука, 1964, с. 87—108.
668. *Милановский Е.Е.* Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. 483 с.
669. *Милановский Е.Е., Хаин В.Е.* Геологическое строение Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1963. 357 с. (Очерки региональной геологии СССР; Вып. 8).
670. *Михалевский А.М.* Определение глубин очагов кавказских землетрясений: Ахалкалакского 19 декабря 1899 г. и Горийского 20 февраля 1920 г. — Баку, Изв. АГУ, 1923/24 г., № 3, с. 231—238.
671. *Михалевский А.А.* Землетрясения на Кавказе и их связь с дислокацией края. — Баку, Изв. АГУ. Отд. Естествознания и медицины, 1926, с. 151—157.
672. *Морозова Е.М.* Озеро Рица на Кавказе. — Землеведение, 1914, кн. 3, с. 111—120.
673. *Мурусидзе Г.Я.* К вопросу пространственного распределения гипотензоров землетрясений Грузии. — Тр. ИГ АН ГССР, 1976, т. 37, с. 116—133.
674. *Мурусидзе Г.Я.* Строение земной коры и верхней мантии в Грузии и сопредельных районах по сейсмологическим и сейсморазведочным данным. Тбилиси: Мецниереба, 1976. 169 с.
675. *Мушкетов И.В.* Материалы по Ахалкалакскому землетрясению 9 декабря 1899 г.

- Пб., 1903. 80 с. (Тр. Геол. ком. Н.С.; Вып. 1).
676. *Напетваридзе Ш.Г.* Некоторые задачи инженерной сейсмологии. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 162 с.
677. *Левкович Р.А., Крамынин П.Н., Дейнега А.Г.* и др. Некоторые результаты эпицентральных наблюдений Черногорского землетрясения 28 июля 1976 г. Махачкала: Ин-т геологии Даг. фил. АН СССР, 1979, № 3 (2), с. 63—86.
678. *Никитин П.М.* На Пятигорской сейсмической станции. — Природа, 1963, № 2, с. 86—87.
679. *Никитин П.М.* Очаги землетрясений района Кавказских Минеральных вод. — Сейсмол. бюл. Кавказа за 1976 г., Тбилиси, 1979, с. 147—154.
680. *Никитин П.М., Куташева Е.П.* Каталог местных землетрясений в районе Кавказских минеральных вод. — Тр. ГЕОФИ АН СССР, 1955, № 30, с. 157—175.
681. *Николаев П.Н.* Опыт составления ранговых карт неотектонических движений Кавказа. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1979, № 5, с. 35—42.
682. *Нурматов У.А., Абдуллабеков К.Н., Головков В.П.* О случайном характере проявления сейсмичности на Кавказе. — Узб. геол. журн., 1980, № 3, с. 74—77.
683. *Бунз В.И., Гоцадзе О.Д., Кейлис-Борок В.И.* и др. О сейсмическом риске на территории Кавказа. — В кн.: Интерпретация данных сейсмологии и неотектоники. М.: Наука, 1975, с. 3—37. (Вычисл. сейсмология; Вып. 8).
684. *Мурусидзе Г.Я., Абуладзе Т.А., Литанишвили Л.И., Таблиашвили Г.Г.* О сейсмической активности Западной Грузии. — В кн.: Геофизические поля и строение земной коры и верхней мантии территории Грузии. — Тр. ИГ АН ГССР, 1977, т. 39, с. 137—161.
685. *Оганисян Ш.С.* Связь аномалий силы тяжести с сейсмичностью. — Докл. АН АрмССР, 1958, т. 26, № 2, с. 77—80.
686. *Бунз В.И., Кириллова И.В., Ананшин И.В.* и др. Опыт оценки сейсмической опасности на примере Кавказа. — В кн.: Сейсмические исследования для строительства. М.: Наука, 1971, с. 3—24. (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 14).
687. *Островский А.Б.* Происхождение озера Абрау и других бессточных котловин на Черноморском побережье Кавказа. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1970, № 1, с. 89—98.
688. *Павлинов В.Н.* О структуре некоторых лакколитов района кавказских Минеральных вод. — Бюл. МОИП, отд. геол., 1946, т. 21, № 2, с. 58—84.
689. *Хромовских В.С., Солонени В.П., Семенов Р.М.* Палеосейсмология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
690. *Папалашвили В.Г.* Библиография опубликованных работ по геофизике (за 1917—1957 гг.). — Тр. ИГ АН ГССР, 1957, т. 16, с. 269—311.
691. *Папалашвили В.Г.* Библиография опубликованных работ по сейсмологии за 1971—1972 гг. — Бюл. сети сейсмол. станций Кавказа за I—IV кв. 1973 г., Тбилиси, 1974, с. 69—100.
692. *Папалашвили В.Г., Иоселиани М.С.* Некоторые данные о сейсмичности юго-восточной части Большого Кавказа. — Тр. ИГ АН ГССР, 1960, т. 18, с. 109—127.
693. *Патарая Е.И.* Гомаретское землетрясение 11 июня 1954 г. — Тр. ИГ АН ГССР, 1957, т. 16, с. 129—133.
694. *Паффенгольц К.Н.* О землетрясении 27 апреля 1931 г. в Ордубадском и Герюсинском районах Закавказья (АрмССР—АзССР). — Изв. ГГРУ, 1931, т. 50, вып. 60, с. 935—937.
695. *Паффенгольц К.Н.* Некоторые особенности геологического строения и тектоники Армении, причина землетрясений г. Еревана. — Сов. геология, 1937, № 9, с. 799—804.
- 695а. *Паффенгольц К.Н.* Сейсмоструктура Армении и прилегающих частей Малого Кавказа. Ереван, 1946. 111 с.
696. *Паффенгольц К.Н.* О происхождении озер Севан (Армения), Ван (Анатолия) и Урмия (Иран). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1950, № 1, с. 125—138.
697. *Ризниченко Ю.В., Раджабов М.М., Куликов В.И.* и др. Первоочередные задачи изучения глубинного строения сейсмоопасных зон Азербайджана геофизическими методами. — В кн.: Геофизические поля и сейсмичность. М.: Наука, 1975, с. 33—37.
698. *Пирузян С.А.* Новые данные по сейсмоструктуре Большого Ереванского района. — Докл. АН АрмССР, 1965, т. 41, № 4, с. 244—250.
699. *Пирузян С.А.* О причине так называемых общих сотрясений или одновременных землетрясений. — Докл. АН АрмССР, 1966, т. 42, № 1, с. 41—45.
700. *Пирузян С.А.* Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. Ереван: Айастан, 1969. 92 с.
701. *Пирузян С.А., Бабаджанян А.Г., Донабедов А.Т.* и др. Блоковое строение территории Армянской АЭС и сопредельных районов в связи с сейсмическим районированием. — Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле, 1978, с. 69—78.
702. *Прангишвили Г.М.* Состояние сейсмической изученности Колхидской низменности. — Тр. ИГ АН ГССР, 1955, т. 14, с. 103—112.
703. *Рагимов Ш.С.* Изучение разломов земной коры по макросейсмическим данным. — В кн.: Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Изд-во АН АзССР, 1964, с. 276—282.
704. *Раджабов М.М., Бабазаде О.Б., Злотина С.Д.* О связи сейсмичности с особенностями земной коры Куринской впадины. — В кн.: Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980, с. 131—134.
705. *Райко Н.В.* Дополнительные материалы о землетрясениях Кавказских Минеральных Вод. — Тр. БИКМЗ, 1926, т. 4, с. 160—162.
706. *Райко Н.В.* Землетрясение на Кубани. — Природа, 1926, № 7/8, с. 95.
707. *Райко Н.В.* Зангезурская сейсмическая экспедиция. — Вестн. Всесоюз. Акад. наук, 1932, № 1, с. 177—184.

708. *Растворова В.А.* О некоторых связях новейших движений и сейсмической активности Кавказа. — Докл. АН СССР, 1960, т. 133, № 5, с. 1179—1182.
709. *Растворова В.А.* Сопоставление новейших движений и регионального гравитационного поля Кавказа. — Бюл. МОИП, отд. геол., 1960, т. 85, вып. 2, с. 38—42.
710. *Растворова В.А.* Новейшая тектоника Большого Кавказа в связи с его сейсмичностью. — В кн.: Неотектоника СССР. Рига, 1961, с. 255—260.
711. *Растворова В.А.* Роль разрывной тектоники в формировании рельефа Краснополянского района Б. Кавказа. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1961, т. 36, с. 32—37.
712. *Растворова В.А.* Новейшая структура и сейсмичность Большого Кавказа и сопредельных территорий. — В кн.: Материалы VII съезда КБГА. Киев: Наук. думка, 1967, с. 150—155.
713. *Растворова В.А., Некрасов И.Л.* Вартановское землетрясение в 1953 г. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1955, № 1, с. 86—88.
714. *Растворова В.А., Рустанович Д.Н.* Сейсмичность и новейшая тектоника зоны Краснополянских землетрясений. — Бюл. Совета по сейсмологии, 1960, № 8, с. 110—115.
715. *Растворова В.А., Щербакова Е.И.* Поднятие Центрального Кавказа за поздние и послеледниковое время. — В кн.: Современные движения земной коры. М.: Изд-во АН СССР, 1963, № 1, с. 297—303.
716. *Ренгартен В.П.* Тектоническая характеристика складчатых областей Кавказа. — Тр. III Всесоюз. съезда геологов. Ташкент, 1929, вып. 2, с. 179—213.
717. *Ренгартен В.П.* Общий очерк тектоники Кавказа. — В кн.: Тр. XVII сес. МГК. М., 1939, т. 2, с. 415—427.
718. *Ризниченко Ю.В., Джибладзе Э.А.* Сейсмическая активность и большие землетрясения Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1972, № 1, с. 35—49.
- 718а. *Ризниченко Ю.В., Джибладзе Э.А.* Определение максимальных возможных землетрясений по комплексным данным для Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1974, № 5, с. 64—85.
719. *Робинсон В.Н.* Очерк геологического строения района Красной Поляны на Кавказе. Изв. ВГРО, 1932, т. 51, вып. 73, с. 1079—1091.
720. *Розова Е.А.* Глубинное строение земной коры Кавказа. — Тр. СИ АН СССР, 1939, № 94, с. 23—34.
721. *Розова Е.А.* Определение эпицентра землетрясений и его глубины по записям двух региональных станций. — Тр. СИ АН СССР 1939, № 94, с. 16—22.
722. *Рубинштейн М.М.* Сейсмичность Грузии в связи с ее геотектоническим строением. — Сообщ. АН ГССР, 1949, т. 10, № 3, с. 145—150.
723. *Рубинштейн М.М.* Некоторые вопросы сейсмотектоники Грузии. — В кн.: Тр. совещ. по тектонике альпийской геосинклинальной области Юга СССР. Баку, 1956, с. 97—104.
724. *Рубинштейн М.М.* Опыт геологической интерпретации сейсмических данных по территории Грузии. — Тр. Геол. ин-та АН ГССР, 1957, т. 10 (15), с. 181—195.
725. *Рубинштейн М.М.* Геологические критерии сейсмического районирования территории Грузии. — В кн.: Восьмая науч. сес. ИГ АН ГССР. Тбилиси, 1958, с. 100—101.
726. *Рубинштейн М.М.* Сейсмотектоника. — В кн.: Геология СССР: (Грузинская ССР). М.: Недра, 1964, т. 10, ч. 1, гл. 7, с. 452—502.
727. *Рубинштейн М.М., Цхакая А.Д.* Сейсмотектонические особенности Джавахетского (Ахалкалакского) нагорья. — Тр. ИГ АН ГССР, 1958, т. 17, с. 161—175.
728. *Рустанович Д.Н.* Эпицентральная зона Краснополянских землетрясений. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1960, № 10, с. 90—98.
729. *Рустанович Д.Н.* Очаговая зона Зангезурских землетрясений 9 июня и 1 сентября 1968 г. и особенности их проявления на поверхности Земли. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1968 г. М.: Наука, 1972, с. 38—62.
730. *Рустанович Д.Н., Смирнова М.Н.* Землетрясения в районе с. Советское (Б. Шатой) (Северо-Восточный Кавказ). — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1968, № 12, с. 20—29.
731. *Рустанович Д.Н., Смирнова М.Н.* Геофизические условия возникновения Дагестанского землетрясения 1970 г. — В кн.: Геофизические поля и сейсмичность. М.: Наука, 1975, с. 38—49.
732. *Рустанович Д.Н., Шебалин Н.В.* Модель очага Дагестанского землетрясения. — В кн.: Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г.: Сейсмология, геология, геофизика. М.: Наука, 1980, с. 138—149.
733. *Саваренский Е.Ф.* Об искажениях в картах сейсмичности. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1956, № 7, с. 745—754.
734. *Сафарян А.Н., Джабуа Ш.А., Бакрадзе Е.И.* Последствия Хашминского землетрясения. — Тр. ИСД АН ГССР, 1960, вып. 8, с. 155—162.
735. *Багдасарова А.М., Исламов К.Ш., Коридалин Е.А.* и др. Сейсмичность восточной части южных отрогов Главного Кавказского хребта и некоторые методологические вопросы изучения сейсмичности отдельных районов. — Изв. АН АзССР, сер. геол. и геогр., 1959, вып. 1, № 6, с. 121—131; 1960, вып. 2, № 5, с. 21—33; 1961, вып. 3, № 4, с. 13—24.
736. *Смирнова М.Н.* Сейсмические зоны Центрального и Восточного Предкавказья. — Тр. Грозн. нефт. ин-та, 1967, с. 19—21.
737. *Смирнова М.Н.* О причине землетрясений на Северном Кавказе и роли глубинных разломов в сейсмичности территории. — В кн.: Новые данные по нефтяной геологии, гидрогеологии, геотермии и геофизике Центрального и Восточного Кавказа. М.: Недра, 1968, с. 14—22.
738. *Смирнова М.Н.* О влиянии слабых землетрясений на режим пятигорских минеральных источников. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1971, № 7, с. 80—83.
739. *Смирнова М.Н., Добрыченко А.Г.* Землетрясение в районе Терека. — Природа, 1964, № 6, с. 116—117.
740. *Смирнова М.Н., Новицкая Н.А.* Землетрясение на станции Червленое-Узловая (Восточное Предкавказье). — Бюл. сети

- сейсм. станций Кавказа I—VI, 1973 г., Тбилиси, 1974, с. 101—104.
741. *Смирнова М.Н., Рустанович Д.Н., Новицкая Н.А.* Старогрозненское землетрясение. — Бюл. сети сейсм. станций Кавказа I—VI, 1973 г., Тбилиси, 1974, с. 105—115.
742. *Смирнова М.Н., Рустанович Д.Н., Санаев О.А.* Анхой-Мартановское землетрясение 17 (18) июня 1969 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1969 г. М.: Наука, 1978, с. 29—32.
743. *Сократов Б.Г.* Восточно-Ставропольский скрытый глубинный разлом. — В кн.: Некоторые проблемы нефтяной геологии Северного Кавказа. — Тр. ВНИГНИ, 1970, вып. 100, с. 209—226.
744. *Соловьев Б.Л.* Землетрясение 1963 г. в Абхазии и его географическое проявление. — Изв. ВГО, 1965, т. 97, вып. 1, с. 81—85.
745. *Солоненко В.П., Хромовских Г.С.* Мощные землетрясения Большого Кавказа. — Природа, 1974, № 6, с. 34—47.
746. *Солоненко В.П., Хромовских В.С., Поптин Д.В.* Сейсмотектонический процесс как рельефообразующий фактор (на примере Большого Кавказа и Монголо-Байкальского горного пояса). — В кн.: Структурная геоморфология горных стран. Фрунзе: Илим, 1973, с. 51—52.
747. *Сорский А.А.* О сейсмичности района Шемахи в Закавказье. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1955, № 1, с. 35—94.
748. *Сорский А.А.* Основные черты строения и развития Кавказа в связи с его глубинной структурой. — В кн.: Глубинное строение Кавказа. М.: Наука, 1966, с. 22—34.
749. *Сорский А.А., Кириллова И.В.* Некоторые новые данные по тектонике Юго-Восточного Кавказа: (К вопросу о Баскальском покрове). — Сов. геология, 1954, № 41, с. 102—114.
750. *Баграмян А.Х., Папалашвили В.Г., Пирузян С.А.* и др. Спитакское землетрясение 30 января 1967 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1967 г. М.: Наука, 1970, с. 29—31.
751. *Степанян В.А.* Краткая хронология наиболее значительных землетрясений в исторической Армении и в прилегающих районах. Ереван: Айастан, 1942, с. 59—72.
752. *Султанова З.З.* Землетрясения Азербайджана. Баку: Гянджлик, 1969. 86 с.
753. *Табулевич В.Н.* О сейсмичности Махачкалы. — Тр. ИФЗ АН СССР, 1962, № 22, с. 46—52.
- 753а. *Тамразян Г.П.* Землетрясения в Тбилиси и космические условия Земли. — Сообщ. АН ГССР, 1977, т. 19, № 2, с. 151—158.
754. *Тамразян Г.П.* К вопросу о некоторых особенностях расположения грязевых вулканов Восточного Азербайджана. — Докл. АН СССР, 1958, т. 118, № 4, с. 807—810.
755. *Твалтвадзе Г.К.* Распространение сейсмических волн и строение земной коры в районе Ткибули (Западная Грузия). — Сообщ. АН ГССР, 1958, т. 20, № 4, с. 411—418.
756. *Твалтвадзе Г.К., Карцивадзе Г.Е.* Новые данные о расположении эпицентров и гипоцентров землетрясений Кавказа. — Тр. АН ГССР, 1957, т. 16, с. 163—175.
757. *Тетяев М.М.* Геотектоника СССР. Л.; М.: ГОНТИ, 1938. 298 с.
758. *Хайн В.Е.* Краткий геологический очерк эпицентральной зоны шемахинских землетрясений. — Изв. АН АзССР, 1953, № 3, с. 73—84; № 7, с. 83—97.
759. *Хайн В.Е., Ломизе М.Г.* О некоторых подвижках по древним разломам на Западном Кавказе и их влиянии на гидрографическую сеть. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1959, № 8, с. 17—21.
760. *Цхакая А.Д.* Гудамакарское землетрясение 15 августа 1947 года (по макросейсмическим данным). — Кварт. сейсм. Тбилиси, 1949, т. 14, № 1/4, с. 101—116.
761. *Цхакая А.Д.* Очерк развития сейсмологии в Грузии: 50 лет Тбилисской центральной сейсмической станции. Тбилиси: ИФГ АН СССР, 1950, с. 1—64.
762. *Цхакая А.Д.* Гудамакарское землетрясение 15 августа 1947 года. (по инструментальным данным). — В кн.: Кварт. сейсм. бюл. Тбилиси, 1953, т. 21, № 1—4, с. 61—69.
763. *Цхакая А.Д.* Гегечкорские землетрясения в январе 1957 года. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1957, № 8, с. 990—999.
764. *Цхакая А.Д.* Сейсмичность Джавахетского (Ахалкалакского) нагорья и прилегающих районов. — Тр. ИГ АН ГССР, 1957, т. 16, с. 177—219.
765. *Цхакая А.Д.* Некоторые результаты изучения землетрясений Кавказа. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1961, № 7, с. 1031—1036.
766. *Цхакая А.Д.* Сейсмичность Джавахетского (Ахалкалакского) нагорья. — В кн.: Землетрясения в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 240—249.
767. *Цхакая А.Д.* О глубинах кавказских землетрясений. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1962, № 5, с. 577—584.
768. *Цхакая А.Д.* К вопросу сейсмичности района строительства Ингури ГЭС. — Тр. ИГ АН ГССР, 1963, т. 21, с. 85—96.
769. *Цхакая А.Д.* Графики повторяемости и карта сейсмической активности Кавказа. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1965, вып. 8, с. 1—11.
770. *Цхакая А.Д.* К вопросу сейсмичности района г. Ереван и прилегающих областей. — В кн.: Строение земной коры на территории Грузии по геофизическим данным. Тбилиси: Мецниереба, 1966, вып. 24, с. 17—27.
771. *Цхакая А.Д., Лебедева Т.М., Ахалбадашвили А.М.* Мадаталское землетрясение в декабре 1959 г. — Тр. ИГ АН ГССР, 1963, вып. 21, с. 77—85.
772. *Цхакая А.Д., Майсурадзе О.М.* Ачигварское землетрясение 5 июля 1958 г. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1959, № 9, с. 1386—1392.
- 772а. *Цхакая А.Д., Махатадзе Л.Н., Тобидзе Д.Д.* Чхалтинское землетрясение. Тбилиси: Мецниереба, 1967. 54 с.
773. *Цхакая А.Д., Майсурадзе О.М.* Аджаро-Гурийское землетрясение 20 мая 1959 г. — Тр. ИГ АН ГССР, 1968, вып. 21, с. 61—75.
774. *Цхакая А.Д., Папалашвили В.Г.* Сейсми-

- ческие условия Кавказа. Тбилиси: Мецние реба, 1973. 115 с.
775. *Шарданов А.Н.* Тектоническая карта Краснодарского края. — В кн.: Вопросы тектоники нефтегазоносных областей. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 256 с.
776. *Шатский Н.С.* О надвигах восточной части Черных гор на Северном Кавказе. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1925, т. 3, № 3/4, с. 305—344.
777. *Шатский Н.С.* Геологическое строение восточной части Черных гор и нефтяные месторождения Миатлы и Дылым (Северный Дагестан). — Избр. Тр. М.: Изд-во АН СССР, 1963, т. 1, с. 115—331.
778. *Шатский Н.С.* О глубинных дислокациях, охвативших платформенные и складчатые области (Поволжье и Кавказ). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1948, № 5, с. 39—66.
779. *Агамирзоев Р.А., Ахмедбейли Ф.С., Арефьев Л.А.* и др. Шахдагское землетрясение 20 декабря 1971 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1972 г. М.: Наука, 1976, с. 27—32.
780. *Базрамян А.Х., Геодакян Э.Г., Гогмачадзе С.Г.* и др. Шахназарское землетрясение 30 марта 1974 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1975 г. М.: Наука, 1978, с. 26—30.
781. *Шебалин В.В., Крестников В.В., Рустанович Д.Н.* и др. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1970 г. М.: Наука, 1973, с. 28—49.
782. *Шенгелия Л.С.* Определение динамических параметров очагов кавказских землетрясений — Тр. ИГ АН ГССР, 1976, т. 37, с. 110—115.
783. *Шенкарева Г.А.* К методике обработки сейсмических материалов (на примере Кавказа и Туркмении). — Сов. геология, 1966, № 8, с. 169—175.
784. *Шерстюков Н.М.* Землетрясения в Грозном. — Природа, 1963, № 3, с. 112.
785. *Широкова Е.И.* О напряжениях, действующих в очагах землетрясений Кавказа и примыкающих районах. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1962, № 10, с. 1207—1306.
786. *Широкова Е.И.* Напряженное состояние и возможное направление разрывов в очагах Зангезурских землетрясений. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1968 г. М.: Наука, 1972, с. 43—44.
787. *Шихалибейли Э.Ш.* Поперечные структуры (поднятия, прогибы, разломы и флексуры глубокого заложения) восточной части Малого Кавказа. — В кн.: Очерки по геологии Азербайджана. Баку: Изд-во АН АзССР, 1964, с. 241—253.
788. *Ярославцев И.Н.* Сейсмическая деятельность на Кубани с 1794 по 1927 гг. — Тр. Кубан. с.-х. ин-та, 1929, т. 8, с. 35—67.
789. *Abdalian S.* Le grand tremblement de terre de l'Arménie. — Nature, 1927, N 2764, p. 1—8.
790. *Adám A., Bisztricsány E., Márton P., Stegana L.* Investigation on seismology and on the physics of the Earth's interior in Hungary: Rep. at the Hung. Nat. Com. of IUGG for the Gen. Ass. Moscow, 1971.
791. *Ambraseys N.M.* Value of historical records of Earthquakes. — Nature, 1971, vol. 232, N 5310, p. 375—379.
792. *Balla Z.* Neogene volcanites in the geodynamic reconstruction of the Carpathin region. — B. Geofiz. Közl., 1980, vol. 26, p. 5—33.
793. *Barazangi M., Dorman J.* World seismicity maps from ESSA coast and geodetic survey, epicenter data for 1961—1967. — Bull. Seismol. Soc. Amer., 1969, vol. 59, p. 369—380.
794. *Both M., Duda S.J.* Earthquake volume, fault plane area, seismic energy, strain, deformation and related quantities. — Ann. géofis., 1964, vol. 17, N 3.
795. Bulletins of the Intern. Seismol. Centre for 1964—1979 years. Edinburgh, Scotland.
796. *Bune V.I., Sorsky A.A.* Seismotectonic principles of Distinguishing zones of probable origin of strong earthquakes foci on the example of the Caucasus. — In: Papers, pres. at 9th Assoc. Europ. Seismol., 1—7 Aug. 1966, Copenhagen: Akad. Forlag, 1967, p. 59—74.
797. *Cěrmak V., Hurtig E.* Heat flow map of Europe. Berlin; Heidelberg, 1979.
798. *Chamberlin R.* Isostasy from the geological point of view. — J. Geol., 1931, N 1, p. 1—23.
799. Circular Bulletins of the Brit. Assoc. for the Advanc. of Sci., Seismol. Comm. (1900—1912).
800. *Duda S.J.* Secular seismic energy release in the Circum-Pacific belt. — Tectonophysics, 1965, vol. 2, N 5, p. 409—452.
801. Earthquake Inform. Bull., 1981, vol. 13, N 3, p. 79—120; N 4, p. 125—159.
802. *Forel F.A.* Les tremblements de Terre, Etudiés par la Commission Sismologique Suisse. Genève, — Arch. sci. phys. et natur., 1881, vol. 6, N 712, p. 461—494.
803. *Gutenberg B., Richter Ch.F.* Seismicity of the Earth and associated phenomena. N.Y.; L.: Princeton Univ. press, 1954—1965.
804. *Hadžievski D.* Naknadni potresi Skorskog područja u razdoblju 1967.07.01—1074.12.31. — Acta seismol. Jugosl., 1979, N 5.
805. *Haugh E.* Les geosynclinaux et les aires continentales. — Bull. Soc. géol. France. Ser. 3, 1900, t. 28, N 3.
806. *Hobbs W.N.* Lineaments of the Atlantic border region. — Bull. Geol. Soc. Amer., 1904.
807. *Karnik V.* Seismicity of the European area /Ed. A. Zatopec. Prague: Publ. House Czechoslovak Acad. Sci. Pt 1. 1968. 364 p.; Pt. 2. 1971. 218 p.
808. *Kober L.* Der Bau der Erde. B.: Gebr. Borntraeger, 1921. 324 S.
809. *Matthews W.H.* The story of volcanoes and earthquakes. N.Y.: Harvey House, 1969. 126 p.
810. *Mescherikow J.A.* Recent crystal movements in seismic regions: Geodetic and geomorphic data. — Tectonophysics, 1968, vol. 6, N 1, p. 29—39.
811. *Montessus de Ballore F.* Géosynclinaux et régions à tremblements de terre. — Bull. Soc. belge géol. palaeontol. et hydrol., 1904, vol. 18.
812. *Montesus de Ballore F.* Les tremblements de Terre (La géographie sismologique). P., 1906. Vol. 1.
813. Monthly Bulletins of the British Assoc. for the Advanc. of Sci. Seismol. Comm. (1913—1917).

814. *Mušketov D., Nikiforov P.* Gravimetric and seismic expedition to Central Asia. — Тр. ФИАН СССР, 1930, № 1, Докл. АН СССР, 1929, с. 499—502.
815. *Pilar G.* Grundzüge der Abyssodynamik. Agram: Albrecht und Fieder, 1881. 220 S.
816. Proceedings of the Seminar on the seismotectonic map of the Balkan region (Dubrovnik, 17—26 April, 1973). — In: UNESCO Survey of the seismicity of the Balkan Region. Skopje, 1974, pt. III—4. Romania, p. 117—143.
817. *Reid H.F.* The California earthquake of April 18, 1906. — In: The mechanics of the earthquake. Wash., 1910, vol. 2.
818. *Rezanov I.A., Sevcenko V.I.* Die Entwicklung des Kaukasus-Kaspigebiets im Phanerozoikum. — Ztschr. geol. Wiss., 1980, S. 791—806.
819. *Richter C.F.* An instrumental earthquake magnitude scale. — Bull. Seismol. Soc. Amer., 1936, vol. 25, N 1, p. 1—32.
820. *Roman C.* Plate tectonics in the Carpathians: A case in development. — Carpatho-Balkan Assoc. XII Congr., 1971, p. 37—40.
821. *Rosenthal E.* La sismicité du Caucase. — In: C.R.d. seanc. Comm. perm. Assoc. Intern. Seismol., réun. à Zermatt. Budapest, 1910.
822. *Rossi M.S. de.* Scale delle Intensità dei terremoti. — Boll. vulcan. ital., 1875, anno 2.
823. *Rossi M.S. de.* Programma dell'osservatorio ed archivio centrale geodinamico presso il reale Comitato geologico d'Italia. Istruzioni per gli osservatori. — Bull. vulcan. ital., 1883, anno 10.
824. *Рустанович Д.Н., Хацевски Д.* Сейзмичка активност во Скопскогo подјарје. — Повремени изданита, Сейсмолошка опсерваторија на универзитетот, Скопје (Југославија), 1967, № 3, с. 31—44.
825. *Shih Chen-liang, Huan Wen-lin, Yan Zi-guan et al.* On recent tectonics of China and its vicinity, terrestrial and space technique. — In: Earthquake prediction research. Braunschweig, 1978, p. 549—568.
826. *Sinha A.K., Jhingran A.G.* Deep seated lineament structures in Himalaya and Caucasus: their role in the history of geological development and metallogeny. — Himalaian Geol., 1977, vol. 7, p. 46—64.
827. *Sieberg A.* Über die macroseismische Bestimmung der Erdbebentärke (Ein Beitrag zur seismologischen Praxis). — Gerlands Beitr. Geophys., 1912, Bd. 11, H. 2/4, S. 227—239.
828. *Sieberg A.* Geologische, physikalische und angewandte Erdbebenkunde. Jena, 1923. 572 S.
829. *Sieberg A.* Erdbebengeographie. — In: Handbuch der Geophysik. B., 1932, Bd. 4.
830. *Stahl A.* Kaukasus. — In: Handbuch der Regionalen Geologie. Heidelberg, 1923, Bd. 5, H. 10.
831. *Stille H.* Grundfragen der Vergleichenden Tektonik. B.: Gebr. Borntraeger, 1924. 443 S.
832. *Radulescu D.P., Cornea J., Sandulescu M.* et al. Structure de la croûte terrestre en Roumanie (essai d'interprétation des études sismiques profonds). — Ann. Inst. Geol. and Geophys., 1976, vol. 50, p. 5—36, 117—143.
833. *Suess E.* Die Erdbeben Nieder-Oesterreichs. — Denkschr. K. Akad. Wiss., 1873, Bd. 33.
834. *Swidzinski H.* O rozmiarach przesunec poziomych w polnocnych Karpatach Fliszowych. — Roczn. Pol. tow. geol. Krakow, 1971, t. 12, z. 1, s. 181—219.
835. *Szenás G.* The evolution and structure of the Carpathian basin. — In: Spec. Pap. Hungarian Eötvös Geophys. Inst. for the IXth Session of the Carp.-Balkan Assoc. Budapest, 1969, p. 61—107 (рус. изд., с. 3—39).
836. The international seismological summaries for 1918—1963. IGGU, Richmond Survey.
837. *Wadati K.* Shallow and deep earthquakes. — Geophys. Mag., 1928, vol. 1, N 4, pt 1, p. 160—202; 1929, vol. 2, N 1, pt 2, p. 1—36; 1931, vol. 4, pt 3, p. 231—283.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
<b>I. Общие вопросы сейсмотектоники</b>	
<b>Глава 1. Общие сведения о землетрясениях</b>	
1.1. Географическое распределение землетрясений .....	5
1.2. Энергетическая характеристика землетрясений ( $E, M, K, N_m$ ) .....	5
1.3. Интенсивность землетрясений ( $I$ ) .....	9
1.4. Глубина очагов землетрясений ( $h$ ) .....	13
1.5. Макросейсмическое поле .....	15
1.6. Сейсмическая активность ( $A$ ) .....	16
1.7. Сейсмическая сотрясаемость ( $B$ ) .....	18
<b>Глава 2. Вопросы геологии (в связи с сейсмичностью)</b>	
2.1. Геотектоника и землетрясения .....	19
2.2. Неотектоника и землетрясения .....	21
2.3. Современная тектоника и землетрясения .....	23
2.4. Вулканизм и землетрясения .....	24
2.5. Грязевые вулканы и землетрясения .....	26
<b>Глава 3. Вопросы геофизики (в связи с сейсмичностью)</b>	
3.1. Строение земной коры и землетрясения .....	27
3.2. Глубинные разломы и землетрясения .....	29
3.3. Геофизические поля и сейсмичность .....	32
3.4. Тектонические напряжения в недрах Земли .....	37
<b>Глава 4. Некоторые вопросы сейсмотектоники</b>	
4.1. Сейсмодислокации .....	40
4.2. Об очаге землетрясения .....	48
<b>Глава 5. Сейсмическое районирование. Прогноз землетрясений</b>	
5.1. Сейсмическое районирование (СР) .....	57
5.2. О прогнозе землетрясений .....	61
5.3. Заключение .....	65
<b>II. Сейсмотектоника Альпийского пояса юга СССР</b>	
<b>Глава 6. Сейсмотектоника Карпатского региона (Молдавия, Западная Украина, Восточные Карпаты)</b>	
6.1. Из истории изучения землетрясений .....	68
6.2. Общая характеристика сейсмичности .....	71
6.3. Тектоника Восточных Карпат .....	72
6.4. Вопросы геофизики .....	78
6.5. О сейсмотектонике .....	85
6.6. Заключение .....	91
<b>Глава 7. Сейсмотектоника Крымского региона</b>	
7.1. Из истории изучения землетрясений .....	92
7.2. Общая характеристика сейсмичности .....	101
7.3. Вопросы тектоники .....	103
7.4. Вопросы геофизики .....	107
7.5. Заключение .....	111
<b>Глава 8. Сейсмотектоника Кавказского региона</b>	
8.1. Из истории исследований по региональной сейсмологии .....	117
8.2. История исследований по сейсмотектонике .....	124
8.3. Общий обзор сейсмичности .....	137
8.4. Геология и землетрясения .....	150
8.5. Геофизика и землетрясения .....	161
8.6. Современное тектоническое расчленение Кавказа .....	168
8.7. Сейсмотектоника Кавказского региона .....	170
8.8. Сейсмотектонические зоны № 1—24 .....	172
8.9. Заключение. Сейсмическое районирование Кавказа .....	244
Литература .....	248

В книге доктора геолого-минералогических наук, профессора Г.П. Горшкова изложены общие представления о землетрясениях, а также дана их характеристика для некоторых сейсмоопасных регионов СССР: Карпат, Крыма, Кавказа.

Автор проводит идею об объемном очаге землетрясений, о том, что источником подземных ударов и колебаний почвы служат трехчленные материальные массы земной коры или мантии, накапливающие эндогенную энергию и излучающие ее каждой своей частицей.