

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КРЫМА

Прогноз места и силы землетрясения осуществляется в результате комплекса работ по сейсмо-геолого-геофизическому районированию, которое включает общее, детальное сейсмическое районирование и микро-районирование. При детальном сейсмическом районировании обычно используются различные модификации двух основных методов: сейсмического (сейсмологического) и генетического (сейсмотектонического). Методику детального районирования можно показать на примере Крыма. Большинство исследователей при районировании опирались на сейсмологические данные [1-4]. В работе [5] сейсморайонирование было приведено в соответствие с грунтовыми условиями. Пример сейсмотектонического метода описан в [6]. В последние годы объединением "Крым-геология", Институтом геофизики АН УССР и Институтом минеральных ресурсов МГ УССР проведен широкий комплекс геолого-геофизических исследований, позволяющих оценить сейсмотектонические особенности Крыма. Тщательному изучению подверглись разрывные структуры, которые можно с некоторой долей условности подразделить на глубинные (мантийные) разломы, разломы глубокого заложения (зарождающиеся в подошве земной коры или в отдельных участках в верхних частях мантии) и локальные разрывные нарушения.

Среди выделенных в пределах Крыма глубинных разломов четко выделяются ортогональная и диагональная системы (рис. 1).

Ортогональная система представлена Скадовско-Евпаторийским, Орехово-Павлоградским и Корсак-Феодосийским глубинными разломами меридиональной ориентировки. Возраст наибольшей активности этих разломов, по мнению некоторых исследователей [7], ограничивается протогеем, хотя не исключается некоторое их оживление и в мезозое [8]. По нашему мнению, верхним возрастным пределом активной жизни этих разломов можно считать титонское время.

Диагональная система представлена Салгиро-Октябрьским, Крымским и Крымско-Кавказским глубинными разломами, выделенными и частично изученными предыдущими исследователями [7-14]. На рис. 1 (IV) показан Салгиро-Октябрьский глубинный разлом, заложение разломов произошло в поздне триасово-раннеюрское время; активизация выразилась в развитии конседиментационных складок и внедрении межпластовых интрузий. В байосе, в обстановке растяжения, во флишевую толщу внедрились крупные активные интрузии с образованием тектоно-магматических структур. С этим же временем связано широкое проявление вулканической деятельности и активная гидротермальная проработка зон дробления. С Крымским разломом, зона которого зафиксирована по линии мыс Фиолент-Симферополь, в частности, связано полиметаллическое рудопроявление мыса Фиолент. С нею, к примеру, связано отклонение от материнской толщи Чатыр-Дагского блока, его разворот относительно общего структурного плана и заложение Салгирской эрозивно-тектонической депрессии. Отмечена активность диагональных глубинных раз-

ломов в новейшее время, причем размах молодых дифференцированных подвижек возрастает по мере приближения к сейсмогенной зоне.

Существенную роль в строении Крыма играют разломы глубокого заложения. Поперечные (относительно общего структурного плана Крымского мегантиклинория) разломы: Молбайский, Гурзуфский, Ялтинский и Кучук-Мойский, имеющие северо-западное простирание, в современном врезе трассируются системами сбросо-сдвигов с близвертикальными смесителями. Наиболее древняя доступная для исследователей активизация отмечена в среднеюрское время, о чем свидетельствуют характерные для этого возраста вторичные изменения в зонах дробления. Очередная активизация произошла в раннем мелу. Деформации террасовых уровней и вовлечение в подвижки позднечетвертичных суглинков свидетельствуют о новейшем возрасте последней активизации разломов.

Продольный Демерджинский разлом глубокого заложения фиксируется у южного подножия Караби-Яйлы резким перегибом изодинам на магнитометрических картах, сгущением локальных разрывных нарушений, активной гидротермальной проработкой пород в зоне дробления. В районе Ставлухарской балки и в южной части Качинского поднятия с разломом связаны выходы эффузивных пород. На отдельных участках (Харпузеяны-Касы, Суук-Су, Чок-Сыра-Кая) от основной толщи верхнеюрских пород оторваны крупные массивы и "затерты" в зону. С влиянием разлома связано также образование пережатых складок и крутое, местами опрокинутое падение верхнеюрских пород. Таким образом, разлом претерпел активизацию в среднеюрское и в послевеерхнеюрское время. Многочисленные сколовые трещины и зеркала скольжения обуславливают в отдельных участках угловатые очертания перетертой массы аргиллитов, совершенно не характерные для столь легко разрушаемых пород, свидетельствуют о новейшей активизации разлома, так как эрозионные процессы не успели дезинтегрировать породы.

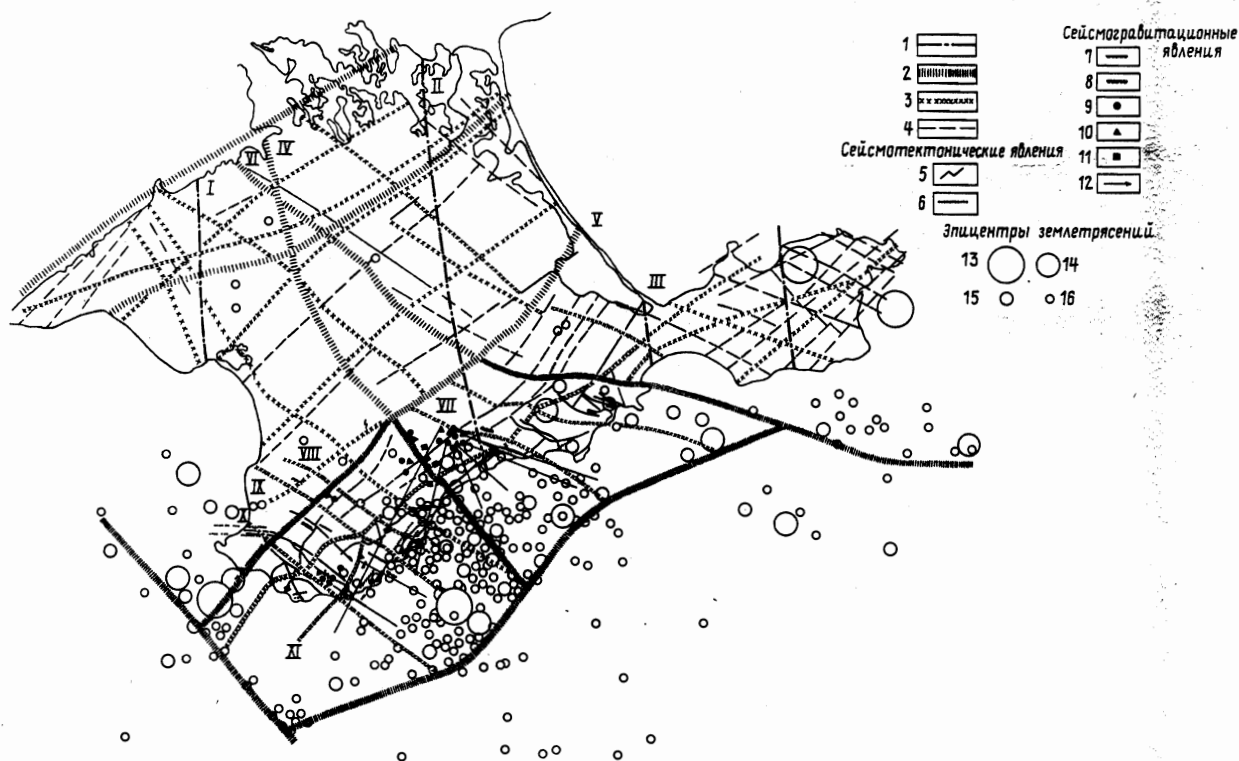
В процессе полевых работ большое внимание уделялось изучению локальных разрывных нарушений, так как без знания их морфологии, физико-механического типа, периодов активизации, направленности и интенсивности подвижек по сместителям, а также их роли в развитии различных геологических процессов невозможно составить ясное представление о структурах более высокого порядка. Анализ полученного материала позволяет утверждать, что в пределах Горного Крыма структуры контролируются диагональными разрывными нарушениями (рис. 2). Ортогональная система выражена слабо.

Среди продольных (относительно общего структурного плана Крымского мегантиклинория) нарушений преобладают взбросы и сбросы с преимущественным падением сместителей к северо-западу и с амплитудой смещения крыльев, достигающей сотен метров. Отдельные отрезки одного и того же нарушения могут быть представлены как взбросами, так и сбросами. В отдельных случаях отмечена ундуляция сместителей по простиранию.

Поперечные нарушения северо-западного простирания представлены, как правило, сдвигами, сбросо- и взбросо-сдвигами с амплитудой горизонтальных перемещений от первых десятков до нескольких сотен метров.

Подавляющее большинство нарушений заложено, по-видимому, в триасе - нижней юре и испытало несколько периодов активизации: байос-

00  
00  
00



899

Рис. 1. Сейсмотектоническая карта Крыма. Составили Л.С. Борисенко, Н.Н. Новик, Э.П. Тихоненков с использованием материалов Г.П. Горшкова, Т.И. Добровольской, В.Н. Дублянского, И.И. Попова, Б.Г. Пустовитенко, В.Б. Соллогуба, В.Е. Кульчицкого. 1 - Глубинные разломы с последней активизацией в мезозое: I - Скадовско-Евпаторийский, II - Орехово-Павлоградский, III - Корсак-Феодосийский; 2 - глубинные разломы, активизировавшиеся в неотектонический этап развития Крыма: IV - Салгиро-Октябрьский; V - Крымский, VI - Крымско-Кавказский; сгущение линий соответствует зонам новейшей активизации; 3 - разломы глубокого заложения, активизировавшиеся в неотектонический этап: VII - Молбайский, VIII - Гурзуфский, IX - Ялтинский, X - Кучук-Койский, XI - Демерджинский; сгущение условных знаков соответствует зонам новейшей активизации; 4 - кластические дайки. 5-6 - сейсмотектонические явления: 5 - разрывные нарушения со следами катастрофических подвижек, прослеженные на суше; 6 - разрывные нарушения со следами катастрофических подвижек, выявленные геолокацией на шельфе. 7-12 - сейсмогравитационные явления: 7 - обвалы; 8 - оползни; 9 - глыбово-обвальные накопления в карстовых полостях; 10 - смещенные натечные колонны; 11 - разрушенные крепости, храмы; 12 - направления на эпицентры землетрясений, вызвавших смещение натечных колонн. 13-16 - эпицентры землетрясений: 13 -  $M = 6,0-6,9$ ; 14 -  $M = 5,0-5,9$ ; 15 -  $M = 4,0-4,9$ ; 16 -  $M < 3,9$

ский, послевеерхнеюрский и четвертичный. Большинство нарушений активны в настоящее время.

Диагональные нарушения контролируют развитие различных геологических процессов; с ними связаны практически все известные геохимические и гидрохимические аномалии. Зоны дробления, как правило, сопровождаются вторичными изменениями: диккитизацией алузитизацией, окварцеванием, кальцитизацией. Доказана решающая роль диагональных нарушений в формировании глубинных карстовых полостей и, соответственно, в распределении подземного стока и питания карстовых вод. Отчетливо проявляется пространственная и кинетическая связь диагональных нарушений с оползнями.

Надвиговые структуры в Горном Крыму развиты слабо и не играют существенной роли в строении региона. В пределах Туакского и Качинского поднятий зафиксированы мелкие, малоамплитудные (несколько десятков метров) надвиги, являющиеся опережающими к магистральным взбросам и сбросам.

Определенную роль в строении региона играют разрывы, связанные с тектономагматическими и вулканотектоническими структурами.

Большой объем тектонофизических наблюдений позволяет сделать предварительные выводы о механизме образования структур.

Анализ диаграмм максимумов полосов мелкой тектонической трещиноватости показывает, что эти полосы, в свою очередь, образуют области концентрации. Их ориентировка совпадает с направлениями основных систем разломов Крыма, которые образуют две пары сопряженных склонов, сформировавшиеся в результате воздействия двух региональных полей палеонапряжений. Одно из них характеризуется близширотной субгоризонтальной ориентировкой оси максимальных сжимающих напряжений. С этим полем, по-видимому, связано образование широтных отрывов типа грабена Северной Бухты. Другое поле напряжений отличается тем, что ось максимальных сжимающих напряжений имеет северо-восточное простирание и наклонена к северо-западу под углом  $45^{\circ}$ . С этим полем связано образование большинства складчатых и разрывных структур Горного Крыма.

При сейсмотектонических исследованиях особый интерес представляют сейсмотектонические и сейсмогравитационные остаточные деформации (см. рис. 1). Особо тщательно изучались нарушения, прослеживаемые в молодых рыхлых отложениях. Опыт изучения таких нарушений в других регионах показал, что тектонические движения в областях новейшего горообразования носят импульсный характер. Например, хорошо выраженная сейсмодислокация, связанная со сбросом, ограничивающим с севера грабена Северной Бухты, описана нами на водораздельном пространстве между балками Мартыновской и Цыганской (район Белокаменска). Водораздел перекрыт мощным (до 8 м) чехлом верхнечетвертичных суглинков, в которых карьером вскрыта зона дробления, включающая в себя обломки и глыбы палеогеновых глинистых известняков, оторванных от коренной толщи и затертых в зону. Зона, по-видимому, была сформирована в условиях катастрофических подвижек, следы которых эрозионные процессы не успели уничтожить. При землетрясении 1927 г. пострадал железнодорожный туннель, проходящий под вышеописанным водоразделом, но на поверхности ярко выраженных остаточных деформаций не отмечено. Напрашивается вывод, что землетрясение, оставившее описанную палео-

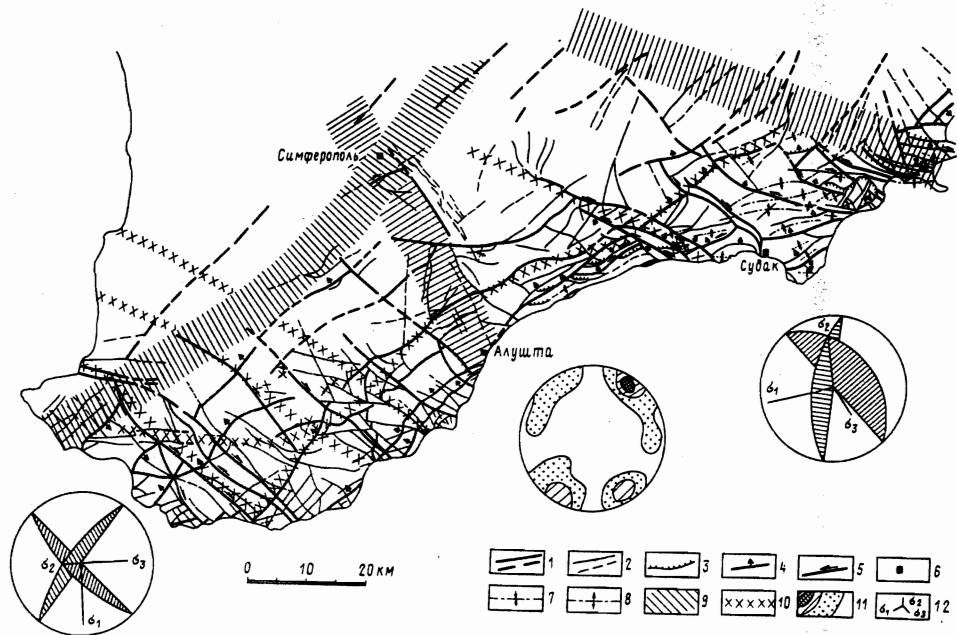


Рис. 2. Схема разрывных структур Крыма. Составили Л.С. Борисенко, Н.Н. Новик, Э.П. Тихоненков, С.В. Пивоваров. 1 - межблоковые разрывные нарушения; 2 - внутриблоковые разрывные нарушения; 3 - надвижки; 4 - элементы залегания сместителей разрывных нарушений; 5 - сдвиги; 6 - основные населенные пункты; 7 - синклинали; 8 - антиклинали; 9 - глубинные разломы; 10 - разломы глубокого заложения; 11 - диаграмма трещиноватости регионального поля палеонапряжений; 12 - оси главных нормальных напряжений

сейсмодислокацию, было несоизмеримо разрушительнее землетрясения 1927 г.

Палеосейсмодислокации зафиксированы также северо-восточнее мыса Фиолент и на Южном берегу Крыма в районах Симеиза, Ялты, Гурзуфа. Многие палеосейсмодислокации отчетливо фиксируются звуковой геологией на шельфе. Практически полное отсутствие денудационных процессов под водной толщей создает уникальные условия для консервации молодых сейсмодислокаций.

Сейсмогравитационные явления развиты в Крыму более широко и отмечались многими исследователями. Так, при землетрясении 1927 г. повсеместные обвалы отмечались вдоль обрывов яйл, а также во многих участках Южного берега Крыма. В пещерах и шахтах, расположенных близ разломов, часто отмечаются глыбово-обвальные накопления [15]. Кроме того, В.Н. Дублянским и И.И. Молодых [15] приводятся интересные данные о разрывах и закономерно ориентированном расположении выбитых сейсмическим ударом и поваленных крупных натечных колонн в пещерах Крыма.

О землетрясениях XIV–XV вв. имеется много археологических данных [16]. В этот период были разрушены или частично погребены под обвалами укрепления возле Гаспры, поселение у скалы Крыло Лебеда (Симеиз), монастырь Илья-Кая в бухте Ласпи и др. Отдельные сейсмогравитационные остаточные деформации отмечены нами в районе поселка Шебетовка, в долинах рек Качи и Бельбека.

Общим для сейсмоструктурных и сейсмогравитационных деформаций является то, что практически все они пространственно тяготеют к глубинным разломам и разломам глубокого заложения диагональной ориентировки.

Изложенные выше данные позволили составить промежуточный макет карты сейсмического районирования (рис. 3), на которой макросейсмические данные приведены в соответствии с литологическими и сейсмоструктурными условиями Крыма. Строение Южнобережной сейсмогенной зоны, скрытой под водами Черного моря, недостаточно изучено. Достаточно очевидно лишь то, что это – глубинный разлом, динамика которого неразрывно связана с процессом заложения и развития Черноморской котловины и выход которого на поверхность Земли пространственно соответствует континентальному склону. Отсутствие соответствующей аппаратуры не позволяет вести наблюдения непосредственно за эпицентральной зоной с вероятными магнитудами максимальных толчков  $M = 6-7$ .

В пределах Крыма всеми без исключения авторами выделяются (в различной трактовке) зоны с вероятным возникновением землетрясений интенсивностью в 8, 7 и 6 баллов. С учетом грунтовых условий и новых данных по тектонике границы зон располагаются следующим образом (рис. 3, б)

В 8-балльную зону попадает (в этом единодушны все исследователи) все южное побережье Горного Крыма от м. Аяя на западе до м. Ай-Фока на востоке. Крымские яйлы, развитые на массивных известняках, не могут быть отнесены к 8-балльной зоне, если учесть, что исходная балльность [2] отнесена к средним грунтовым условиям

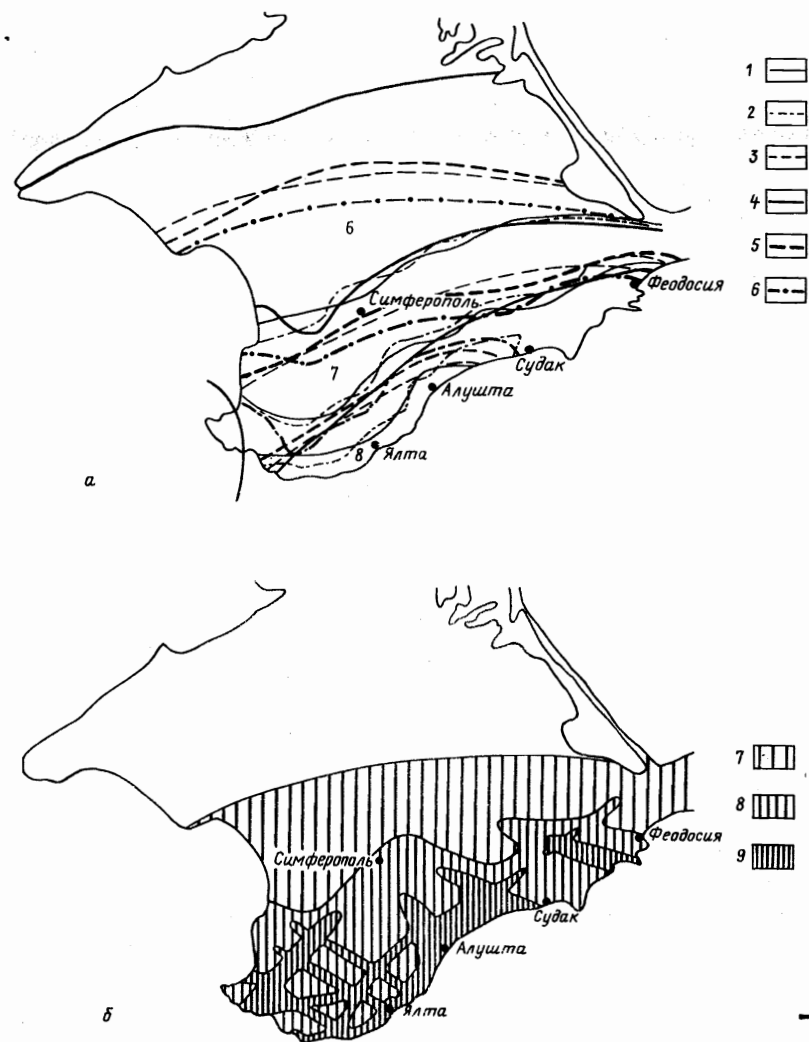


Рис. 3. Схемы сейсмического районирования: а – по литературным данным, б – схема Л.С. Борисенко, 1982. 1 – С.В. Медведев, 1958 [2]; 2 – З.И. Аронович, 1968 [1]; 3 – И.И. Молодых и др., 1964 [5]; 4 – Н.В. Шебалин, 1972 [3]; 5 – И.И. Попов и др., 1980 [4]; 6 – П.С. Кармазин, 1976 [6]; 7 – I = 6 баллов, 8 – I = 7 баллов, 9 – I = 8 баллов

(супесчано-суглинистые разности с невысоким уровнем грунтовых вод). Исключения составляют участки, по которым проходят разломы глубокого заложения: Кучук-Койский, Ялтинский и Гурзуфский. Так как эти разломы активны и с ними связаны сейсмотектонические и сейсмогравитационные явления, 8-балльная зона тянется полосами вдоль этих разломов вплоть до Третьей гряды. По этой же причине к 8-балльной зоне должны быть отнесены Крымский глубинный разлом до Бахчисарая включительно и молодая структура грабена Северной бухты. Восьмибалльные землетрясения возможны также в зоне Демерджинского разлома глубокого заложения, входящего в единую динамическую систему с сейсмогенной зоной и способного генерировать землетрясения. В центральной и восточной частях Горного Крыма 8-балльная зона должна быть также расширена за счет Салгино-Октябрьского глубинного разлома (до широты Перевального) и Молбайского разлома глубокого заложения. Землетрясения в 8 баллов следует ожидать и вдоль Крымско-Кавказского глубинного разлома (от м. Киик-Атлама от Старого Крыма).

Семибалльная зона, в силу своей удаленности от эпицентров, не так четко привязана к структурам, "размыта". Граница 7- и 6-балльных зон начинается несколько севернее м. Луккул вне зоны действия Гурзуфского разлома глубокого заложения и протягивается к юго-востоку. Затем граница поворачивается к северо-востоку, тянется параллельно Крымскому разлому, огибает с севера Симферополь и уходит к юго-востоку, охватывая центральную часть Восточно-Крымского синклинория. Затем, изгибаясь вдоль Крымско-Кавказского разлома, уходит в пос. Приморский. Из крупных населенных пунктов в 7-балльную зону попадают Бахчисарай, Симферополь, Белогорск и Феодосия.

Для построения кондиционной карты детального сейсмического районирования необходима формализация имеющихся исходных данных, позволяющая в компактной форме представлять большие массивы первичной информации, легко проводить суммарный учет и сопоставление многих характеристик, а также привлекать к анализу математические методы исследования. Наиболее результативным, по-видимому, является формальный геологический метод выделения зон возникновения землетрясений с различной магнитудой, разработанный Б.А. Борисовым, В.И. Бунэ, Г.И. Рейснер и др. [17-19].

## ABSTRACT

The fault structures of diagonal orientation are the main elements of the geodynamic system of the Crimea. They determine the development of most of the geological processes. The faults are featured by long inheritance. The zones of the latest activation, which are relevant to the seismotectonic and seismogravitational deformations, correspond to the regions of abyssal and deep faults adjoining the seismogenic zone. Seismotectonic analysis is used to develop a model for the seismic zoning map on which the macroseismic data are coordinated with lithology and tectonics.

1. Аронович З.И., Горшков Г.П. и др. Крым. - В кн.: Сейсмическое районирование СССР, ч. II. М.: Наука, 1968, с. 196-213.
2. Медведев С.В. Карты сейсмического районирования территории СССР 1957 г. Труды института физики Земли АН СССР, 1958, № 1, с. 3-28.
3. Шебалин Н.В. К оценке максимальной сейсмической опасности Крымско-Таманского региона. - В кн.: Сейсмичность, сейсмическая опасность Крыма и сейсмостойкость строительства. Киев: Наукова думка, 1972, с. 14-19.
4. Попов И.И., Каменобродский А.Г., Кармазин П.С. и др. Крым. - В кн.: Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с. 130-140.
5. Молодых И.И., Куликова Г.В. Опыт составления карт детального сейсмического районирования Крыма по данным анализа грунтовых и инженерно-геологических условий. - В кн.: Вопросы региональной сейсмичности Средней Азии. Фрунзе: Илим, 1964, с. 137-144.
6. Кармазин П.С. Тектоническое положение очагов землетрясений и сейсмическое районирование Крыма. - В кн.: Сейсмоструктура некоторых районов юга СССР. М.: Наука, 1976, с. 26-31.
7. Чекунов А.В. Структура земной коры и тектоника юга Европейской части СССР. Киев: Наукова думка, 1972, 176 с.
8. Чекунов А.В., Кучма В.Г. Глубинная структура разломов. - Геотектоника, 1979, № 5, с. 24-37.
9. Авдулов М.В. Строение земной коры Кавказа и Крыма по результатам геофизических исследований. М.: Геотектоника, 1969, № 2, с. 119-123.
10. Ковалевский С.А. Срединный глубинный разлом Крымского полуострова. - Докл. АН СССР, 1965, № 4, с. 887-890.
11. Лебедев Т.С., Оровецкий Ю.П. Особенности тектоники Горного Крыма (в свете новых геолого-геофизических данных). - Геофиз. сб. АН УССР. Геофизические исследования строения земной коры. Киев: Наукова думка, 1966, вып. 18, с. 34-41.
12. Расцветаев Л.М. Горный Крым и Северное Причерноморье. - В кн.: Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977, с. 37-51.
13. Ступка О.С. Глубинные разломы Крымского полуострова. - В кн.: Геология и нефтегазоносность Причерноморской впадины. Киев: Наукова думка, 1967, с. 23-36.
14. Чебаненко И.И. Разломная тектоника Украины. Киев: Наукова думка, 1966, 170 с.
15. Дублянский В.Н., Молодых И.И. Сейсмичность Горного Крыма по данным карстолого-археологических исследований. - В кн.: Проблемы гидрогеологии и инженерного грунтоведения. Киев: Наукова думка, 1972, вып. 2, с. 43-51.
16. Иванов Б.Н., Дублянский В.Н., Домбровский О.И. Басманские пещеры в Горном Крыму. - В кн.: Крымское государственное заповедно-охотничье хозяйство. Симферополь, Крымиздат, 1963, с. 21-22.

17. Борисов Б.А., Рейснер Г.И. О районировании территории Крыма по максимальной магнитуде ожидаемых землетрясений. - Геофиз. сб., 1975, вып. 67, с. 16-24.
18. Бунэ В.И., Турбович И.Т., Борисов Б.А. Метод прогнозирования максимальной магнитуды землетрясений. - Изв. АН СССР, Сер. Физика Земли, 1975, № 10, с. 31-43.
19. Рейснер Г.И. Геологические методы оценки сейсмической опасности. М.: Недра, 1980. 171 с.