



УДК 551.24:550.348.436(477.75—13)

## АНАЛИЗ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА В СВЯЗИ С ПРОГНОЗОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КРЫМСКОЙ СЕЙСМОГЕННОЙ ЗОНЕ

*Л. С. Борисенко, Г. Н. Бугаевский, П. С. Кармазин, Э. П. Тихоненков*

Бурное развитие исследований по прогнозу сейсмической опасности в последние три десятилетия позволило в настоящее время рассматривать проблему прогноза времени землетрясений как разрешимую. Известно достаточно много предвестников землетрясений, совместное использование которых обещает как долго-, так и краткосрочный и оперативный прогноз.

Как показывают опыт и расчеты, стоимость комплексных прогностических пунктов и наблюдений на них относительно высока. Поэтому, не говоря уже об эффективности, рациональное размещение (и, следовательно, обоснование местоположения) пунктов является важной задачей в комплексе прогностических исследований. Прогностические признаки основаны на вариациях геодезических, геофизических, гидрогеологических, геохимических параметров, которые существенным образом определяются тектоническим режимом сейсмических районов. В связи с этим детальный анализ тектонической и особенно неотектонической активности сейсмически опасных территорий является важной и неотъемлемой частью исследований по прогнозу землетрясений.

Среди различного рода геологических образований, позволяющих получить сведения о тектонической активности региона, наиболее информативны разрывные нарушения, рассматриваемые в геолого-историческом плане совместно с разделяемыми ими блоками. Поэтому в настоящей статье предпринята попытка детального ретроспективного анализа разрывных нарушений территории Южного берега Крыма, непосредственно примыкающей к Крымской сейсмогенной зоне, и интерпретации с учетом полученных данных результатов наклономерных наблюдений в Крыму.

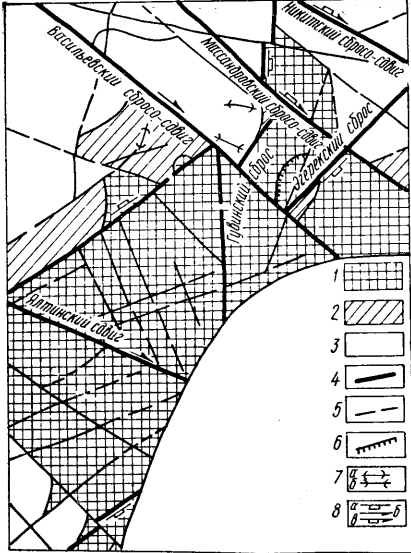
По данным исследований последних лет, Горный Крым является частью крупного глыбово-блокового поднятия, южное крыло которого и часть ядра погружены под уровень Черного моря [1]. В строении поднятия можно выделить два структурных этажа. Нижний сложен дислоцированными, разбитыми многочисленными нарушениями песчаниками, алевролитами и аргиллитами таврической серии ( $T_3 - J_1$ ) и средней юры. Глины, известняки, конгломераты, песчаники, слагающие верхний структурный этаж, менее дислоцированы. Они обладают пестрой литологической составом и частыми фациальными замещениями.

В пределах Горного Крыма широко развит вулканизм, характерный для верхнебайосского и альбского времени. В верхнебайосский этап вулканической деятельности широко проявились все генетические разновидности изверженных пород: пирокластические, эффузивные, жильные, субвулканические и интрузивные, тогда как альбский этап запечатлен только в виде пирокластических образований.

В данной работе рассматривается юго-западная часть Горного Крыма, в пределах которой в последние годы проводилась геологиче-

ская съемка с целью сейсмического микрорайонирования. Полученные при картировании данные позволили существенно уточнить геологическое строение региона и выявить некоторые специфические черты тектонического строения этой части Крыма. К их числу относится резкое преобладание блоковой и разломной тектоники над пликативными структурами, представляющими собой различного рода приразломные складки либо складчато-блоковые образования типа грабен-синклиналей и горст-антиклиналей.

На всей исследованной территории четко выделяются системы разрывов субмеридионального, северо-западного, северо-восточного и субширотного простираний.



Наиболее древние разрывы — субмеридиональные. В качестве примера можно привести Гувинский сброс (рис. 1) в районе г. Ялта, прослеженный по долине р. Гува, который разбит северо-западными нарушениями на ряд фрагментов. В зоне дробления сброса, рассекающей отложения нижнего структурного этажа, сохранились следы гидротермальной деятельности, свидетельствующие о его активности в среднеюрское время. В послеверхне-

Рис. 1. Тектоническая схема района г. Ялта

Отложения: 1 — таврической серии ( $T_3-I_1$ ), 2 — среднеюрские ( $I_2$ ), 3 — верхнеюрские ( $I_3$ ); разрывные нарушения: 4 — межблоковые, 5 — внутриблоковые; 6 — надвиги; 7 — складки: а — антиклинали, б — синклинали; 8 — тип нарушений: а — сбросы; б — сдвиги, в — сбросо-сдвиги

юрское время по этому разлому произошли крупные смещения, в результате которых в ряде мест по сместителю породы нижнего структурного этажа контактируют с породами верхних горизонтов оксфорда мощностью в несколько сотен метров.

Разрывы широтного простирания развиты в основном в западной части описываемого участка. Один из них — Ласпинский сброс (взброс), ограничивает Ласпинское поднятие с севера, протягиваясь вдоль обрывов известняков. Сместитель сброса падает к югу под углом  $70^\circ$ . Южное крыло поднято относительно северного на 100—150 м. Поскольку по сбросу контактируют породы средней и верхней юры, в данном случае можно говорить лишь о послеверхнеюрской активизации сброса.

Наиболее интересен сброс, ограничивающий грабен Северной бухты Севастополя с севера, хорошо выраженный на водораздельном пространстве между балками Мартыновская и Цыганская. Водораздел перекрыт мощным (до 10 м) чехлом верхнечетвертичных суглинков, в которых карьером вскрыта зона дробления, включающая обломки и глыбы глинистых известняков, оторванных от материнской толщи и затертых в зону. Зона, видимо, была сформирована в условиях катастрофических молодых подвижек, следы которых эрозионные процессы не успели уничтожить.

Наибольшее значение в формировании структур имеют системы нарушений северо-восточного и северо-западного простираний. В качестве примера типичного нарушения северо-восточного простирания можно привести Дегерменкойский сброс, прослеженный от мыса Никита до южного подножия г. Кафель. Сброс фиксируется широкой (30—50 м) зоной передробленных аргиллитов таврической серии с

многочисленными зажатými в зоне фрагментами пластов песчаников, с характерными сизыми выцветами солей, со следами активной гидротермальной переработки. Возраст последней активизации сброса вполне можно принять четвертичным, так как известняки, слагающие грабен в районе в. Шарха, находятся не в коренном залегании, а представляют собой остатки педимента [3], сформировавшегося в четвертичное время и разбитого затем нарушениями.

Система однотипных нарушений северо-западного простирания заложилась в послесреднеюрское, но доверхнеюрское время, о чем свидетельствуют остатки древней тектонической брекчии, включающей обломки только среднеюрских пород (Тессельский сброс). Обновление зон произошло в послеверхнеюрское время, в результате чего зоны дробления обогатились обломками верхнеюрских известняков. В ряде мест (Васильевский сбросо-сдвиг, см. рис. 1) в сферу влияния этих нарушений попадают верхнечетвертичные суглинки. Как северо-восточные, так и северо-западные нарушения повсеместно разбивают отложения педимента четвертичного возраста. Кроме того, наблюдается тесная причинная связь заложения и активизации древних и современных оползней с активизацией нарушений.

Таким образом, следует особо отметить, что выделенная сеть разрывных нарушений характеризуется консерватизмом во времени и пространстве и остается практически неизменной на протяжении формирования всех структурных этажей. Возраст последней активизации большинства разрывов четвертичный.

Системы линейных, радиальных и кольцевых (дуговых) разломов развиты на всей территории юго-западной части Крыма. Линейные разрывы северо-западного и северо-восточного простираний образуют закономерную сеть. Разрывы часто сопровождаются системами оперяющих нарушений (см. рис. 1). Радиальные и кольцевые (дуговые) разломы закономерно приурочены к структурам центрального типа, из которых наиболее крупной является полукупол Качинского антиклинория.

Детальный анализ морфологии разрывных нарушений различных порядков, связанных с ними приразломной и сопутствующей трещиноватости свидетельствует о том, что кольцевые и радиальные разломы представляют собой, как правило, отрывы, возникшие в обстановке растяжения под воздействием субвертикально ориентированных усилий. Большинство разломов северо-западного и северо-восточного простираний являются сколами, по многим из которых фиксируются перемещения с явно выраженной горизонтальной (сдвиговой) составляющей. Разломы северо-западного простирания чаще всего являются левыми, а северо-восточного — правыми сбросо- или взбросо-сдвигами. Анализ массовых замеров мелкой приразломной трещиноватости пород показал, что трещины северо-западного и северо-восточного простираний образовались близкоодновременно, часто взаимно экранируют друг друга. Эти признаки позволяют отнести их, а также и те разломы, с которыми они связаны, к классу сопряженных, т. е. образовавшихся под воздействием одного поля тектонических палеонапряжений. Судя по площади развития сопряженных разломов и трещин северо-западного и северо-восточного простираний, это поле было региональным и охватывало практически всю территорию юго-западной части Крыма (рис. 2). Оно характеризовалось субширотной ориентировкой оси максимальных главных нормальных напряжений ( $\sigma_3$ ) и субмеридиональной — оси минимальных главных нормальных напряжений ( $\sigma_1$ ), что свидетельствует о его возникновении в результате субширотного сжатия. Направления действия максимальных касательных напряжений ( $\tau_{\max}$ ) имели северо-западную и северо-восточную ориентировки, и вдоль этих напряжений возникали сколовые нарушения. Образование структур центрального типа разных порядков вызывало локальные

аномалии поля тектонических напряжений, которые характеризовались окружными и радиальными напряжениями. Приразломные аномалии напряжения, возникавшие в результате подвижек по разломам, вызывали образование оперяющих сколов и отрывов, а радиальные и окружные напряжения явились причиной возникновения радиальных и кольцевых (дуговых) разрывов в пределах структур центрального типа таких, как Аюдагская, Кастропольская.

Характерной особенностью регионального поля напряжений, фиксирующего субширотное сжатие, является его большая стабильность,

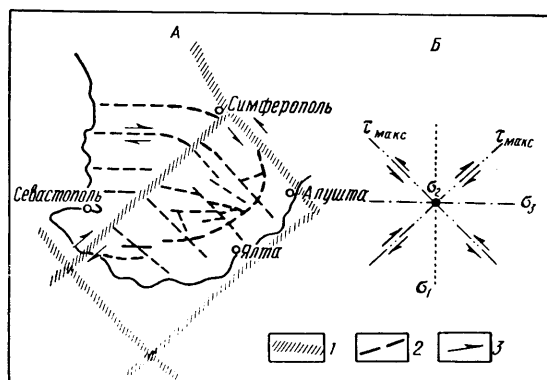


Рис. 2. Принципиальная схема разрывной тектоники (А) и тектонических палеонапряжений (Б) юго-западной части Горного Крыма:

1 — зоны глубинных разломов; 2 — разрывные нарушения; 3 — направление перемещений по разломам;  $\sigma_2$  — ось промежуточного главного нормального напряжения

проявившаяся в унаследованности ориентировки разрывных нарушений. Другой особенностью этого тектонического поля палеонапряжений является значительная длительность его существования — от мезозоя до антропогена.

Еще одним подтверждением высокой современной тектонической активности территории юго-западной части Крыма являются данные инструментальных наблюдений, которыми, в частности, установлены современные наклоны поверхности. Наклономерные наблюдения в Крыму осуществляются с 1954 г. при низких периодах наблюдений в следующих пунктах: Симферополе, Ялте, Алуште, Феодосии, Бахчисарае, на горе Ай-Петри.

В Симферополе наклономерные наблюдения выполнялись с 1954 по 1957 г. в подвале сейсмической станции «Симферополь», а с 1957 по 1958 г. — в рядом расположенной штольне наклономерами системы В. Ф. Бончковского. С 1963 по 1966 г. использовались приборы системы Репсольда—Левицкого. Наблюдения в этом пункте продолжаются до настоящего времени. Общий наклон с 1963 по 1966 г. составил 70'' к юго-западу.

На горе Ай-Петри наблюдения велись с помощью пузырьковых уровней с 1956 по 1959 г. «Вековой» ход выявить не удалось, но в 1959 г. отмечено преобладающее движение к западу на величину около 34'', превосходящую ожидаемый годовой ход и ошибки измерений.

В Алуште с 1957 г. и по настоящее время выполняются наблюдения наклономерами В. Ф. Бончковского. За 15 лет наклон составил 200'' или в среднем 13''/год.

На Гераклеюмском п-ове, в Белокаменске (бывший Инкерман) с 1966 по 1969 г. наклоны фиксировались приборами Репсольда—Левицкого. За указанный период наклон составил 3'',  $8 \pm 0$ , 5''/год в север-северо-восточном направлении.

Следует отметить, что наклономерные наблюдения имели аппаратно-методический характер: рассматривались влияние температуры, идентичность работы приборов, оценка флуктуаций наклонов за счет местных факторов и выделение собственно наклонов земной коры («вековой ход»). Объяснение наклонов сводилось к следующему: 1) не-

обратимый наклон как результат пластической деформации, видимо, является основной причиной большой величины «векового хода», полученного для большинства пунктов наблюдений на Крымском п-ове [8]; 2) на пункте «Алушта» указанный значительный наклон может быть объяснен оползнем [5]; 3) причиной искажения упругого параметра земно-приливной деформации (число Лява) в Белокаменске являются тектонические особенности земной коры — пункт наблюдений находится вблизи северной границы блока, образованного субмеридиональными и субширотными глубинными разломами [6]; 4) если необратимый температурный наклон одной из частей поверхности относительно другой составляет величину  $0,5''/\text{год}$ , то монотонность наклонов на пунктах «Алушта» и «Симферополь» объясняется медленными движениями земной поверхности [8]. Сопоставляя наклономерные данные с результатами повторного нивелирования по линии Симферополь—Алушта, авторы отмечают, что «к такому сопоставлению следует относиться с недоверием, поскольку исходные данные были получены с помощью малочувствительных наклономеров устаревшей конструкции в делювиях недостаточной термостатичности» [8, с. 20]. По их мнению, «из изложенного не следует, что все ранее полученные результаты наклономерных наблюдений в Крыму лишены ценной, заложенной в них информации. Только повторные систематические и репрезентативные наблюдения в Крыму с помощью современных чувствительных и надежных наклономеров могут подтвердить или отвергнуть возникающие сомнения» (там же). Отсюда следует, что наклономерные наблюдения на протяжении 24 лет не дали достоверной информации о наклонах земной поверхности и связей их с тектоникой и динамикой земной коры в Крыму. Поэтому, учитывая отсутствие конкретной геологической интерпретации наклономерных наблюдений в Крыму, сопоставим результаты этих наблюдений с тектонической обстановкой в районе пунктов «Алушта» и «Инкерман».

Наклонометры на пункте «Алушта», совмещенном с сейсмической станцией «Алушта», установлены на бетонных фундаментах, сооруженных на коренных породах таврической серии (верхний триас — нижняя юра). Оползнь, которым объясняется большой наклон [5], здесь в действительности нет. Геологической съемкой, выполнявшейся для сейсмического микрорайонирования, выявлена зона дробления широтной ориентировки, в пределах которой и расположен наклономерный пункт «Алушта». Она хорошо обнажена в крутом склоне восточнее наклономерного пункта, расположенного у подножия этого склона. Последний ограничивает с запада небольшой хребет северо-западной ориентировки, протягивающийся через центральную часть Алушты почти до моря. Этот хребет служит водоразделом рек Демерджи и Улу-Узень.

Видимая мощность зоны дробления составляет 80—100 м. Она прослеживается по западному склону хребта ниже старого кладбища (расположенного на хребте) на всем его протяжении в обнажениях большого оврага и северо-западнее оврага, в лощинах.

В обнажениях наблюдаются брекчированные аргиллиты и песчаники, зеркала скольжения, жилы и прожилки кварца, диккита. Зона брекчирования имеет сложное строение: участки брекчированных пород разделены участками ненарушенных дроблением пород. Южная граница зоны дробления четкая и расположена примерно в 50 м от шоссе Симферополь—Ялта. К северо-западу эта зона постепенно затухает. Выносной павильон сейсмической станции «Алушта» расположен уже вне зоны дробления.

Таким образом, наклономерный пункт «Алушта» фиксирует не поведение оползня, а наклонение поверхности коренных пород в зоне дробления, разделяющей два блока. Следовательно, фиксируются не наклонения блоков, а их вертикальные относительные перемещения. При

мощности зоны дробления 80—100 м и наклоне ее поверхности 13"/год вертикальные перемещения смежных блоков относительно друг друга составляют до 5—7 мм/год.

Несмотря на то, что наклономерный пункт «Алушта» регистрирует наклонение не собственно блоков, а поверхности зоны дробления между ними, он может служить целям прогноза времени землетрясений, регистрируя вариации относительных перемещений блоков. Для этого на основе сделанных наблюдений следует определить «нормальный ход» наклона для оценки аномальных наклонов с учетом ошибок определений и периодичности обработки наблюдений (до сих пор временные интервалы между обработками были произвольными).

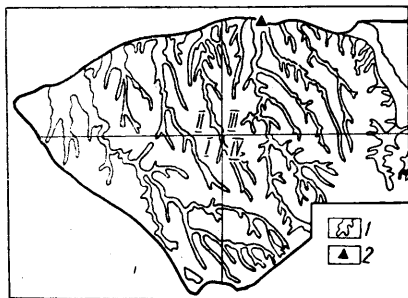


Рис. 3. Схема эрозийной сети Гераклейского п-ова:

1 — контуры балок; 2 — урвнеммерный пункт

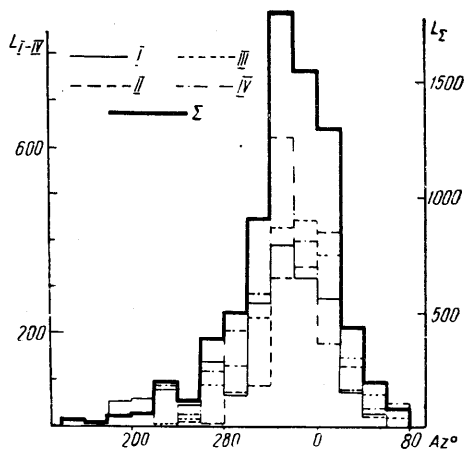


Рис. 4. Гистограммы распределений суммарной длины отрезков осей балок Гераклейского п-ова по секторам их азимутов для юго-западной (I), северо-западной (II), северо-восточной (III), юго-восточной (IV) частей, а также для территории полуострова в целом ( $\Sigma$ )

Гераклейский п-ов представляет собой предгорное плато, ограничивающее горное сооружение Крыма с запада. В его пределах у северной границы полуострова в Белокаменске, как отмечалось, инструментальными наклономерными наблюдениями выявлены наклонения земной поверхности со скоростью 3,8"/год с ошибкой  $\pm 0,5''$ .

Наклонение земной поверхности северной части Гераклейского п-ова сопровождается опусканием берега со скоростью 0,9 мм/год, зарегистрированным урвнеммерным пунктом в Севастополе [2], который расположен примерно в 5 км к западу от наклономерного пункта. Соответствие наклона к северу опускания берега показывает, что наклонения и опускания характерны не только для двух названных пунктов. Опускание берега в урвнеммерном пункте распространяется на весь северный берег Гераклейского п-ова, так как все устья рек превращены в заливы, стены припортовой части древнего Херсона частично затоплены.

Наклонение, сопровождаемое опусканием северной части полуострова, наблюдается на всей его территории, так как все без исключения балки начинаются у кромки южного берегового обрыва высотой 100—130 м и пересекают весь полуостров.

При рассмотрении схемы балок на территории Гераклейского п-ова (рис. 3) привлекает внимание преимущественность ориентировки «течения» балок в северном и северо-западном направлениях. В противоположном направлении не ориентирована ни одна из балок полуострова, в том числе и те, которые расположены вблизи от юго-западного побережья полуострова.

Для количественной оценки общей ориентировки системы балок на основе указанной схемы была построена векторная диаграмма, в которой оси балок аппроксимированы ломаными, состоящими из отрезков прямых. В качестве предельного принималось такое уклонение аппроксимирующей линии от оси, при котором ее отрезки не выходят за контуры балки. На полученной таким путем схеме осей для каждого отрезка измерены азимут направления и соответствующая его длина.

Территория полуострова разделена субмеридиональной и субширотной линиями на четыре части: юго-западную (I), северо-западную (II), северо-восточную (III) и юго-восточную (IV) (см. рис. 3), а все результаты измерений — на соответствующие четыре группы. Для каждой из этих групп и для территории полуострова в целом найдены распределения суммарных длин отрезков осей балок по азимутальным секторам (табл. 1). Чтобы к анализу полученных эмпирических распределений можно было привлечь

теоретические положения нормального распределения, к данным группам II и III применен метод Джеффриса равномерной редукции. В итоге эмпирические распределения для всех пяти комплектов данных могут быть представлены гистограммами (рис. 4). Для этих распределений найдены средние значения  $\bar{M} \pm \sigma_m$  со средними квадратичными погрешностями  $\sigma_m$ , асимметрия A и эксцесс E (табл. 2).

Таблица 1

Распределение суммарных длин балок Гераклейского п-ова по азимутальным секторам их направлений

Сектор значений азимутов (град)	Суммарная длина балок по территориям полуострова (отн. ед.)			
	I	II	III	IV
140—160	—	8	11	—
160—180	—	9	0	—
180—200	54	0	0	—
200—220	56	0	0	—
220—240	78	5	15	91
240—260	46	18	25	22
246—280	134	15	102	141
280—300	73	81	138	211
300—320	269	99	249	288
320—340	393	333	446	627
340—360	326	360	457	405
0—20	277	456	383	181
20—40	73	138	158	73
40—60	23	56	82	37
60—80	—	—	29	51

Таблица 2

Параметры эмпирических распределений суммарных длин балок Гераклейского п-ова

Территория	M	$\sigma_m$	A	E
I	320	50	-0,894	0,275
II	351	29	+0,647	0,440
III	342	35	-0,196	-0,021
IV	327	40	-0,143	0,584
Полуостров в целом	333	43	-0,863	1,529

Полученные результаты свидетельствуют о следующем:

1. Средние значения азимутов осей балок южной части Гераклейского п-ова (320—330°) ниже, чем для северной части (340—350°).

2. Значения погрешностей (30—50°) указанных азимутов превосходят отмеченное их различие. Относительно высокие значения погрешностей объясняются прежде всего тем, что для построения распределений использованы необходимые количественные оценки всех балок и их притоков как равновесные, независимо от их возраста и порядка заложения. Для учета весов осредняемых величин требуются дополнительные специальные исследования.

3. Отличие средних значений азимутов в данных группах от аналогичного значения для полуострова в целом на 13—15° свидетельствует не столько о различиях, сколько о явно преобладающей общности причин согласованного «течения» балок. Представляется, что в качестве основной среди этих возможных причин следует рассматривать общий наклон территории полуострова на север и северо-запад.

Как показывает изложенная выше геологическая интерпретация наклономерных наблюдений на пунктах «Алушта» и «Инкерман», выполненные в течение 24 лет наблюдения действительно не лишены заложенной в них ценной информации о динамике блоков земной коры и связи ее с разрывными тектоническими нарушениями. Но ценность этой информации проявляется только в результате учета конкретной геолого-тектонической обстановки пунктов и их окрестностей. Кроме того, установка отдельных пунктов наклономерных наблюдений без предварительного выяснения их геолого-тектонической позиции и сопряженных физико-геологических явлений, очевидно, нецелесообразна. Тем более это относится к сети пунктов наклономерных наблюдений для прогноза землетрясений. Действительно, разрывное нарушение, в котором случайно установлен пункт «Алушта», не является единичным или исключительным на Южном берегу Крыма. Здесь имеется густая сеть разрывных нарушений разных порядков, строения, возраста, глубинности, обнаженности. Учитывая к тому же сложную физико-геологическую обстановку, выбор мест установки наклономерных пунктов, как и пунктов других прогностических наблюдений, представляет собой не менее важную задачу, чем сами наблюдения. Изложенные данные о блоковом строении территории Южного берега Крыма, об унаследованности разрывных нарушений и примеры зафиксированных движений позволяют сделать вывод о повсеместных здесь современных движениях блоков. Пункты прогностических наблюдений должны размещаться с учетом этого обстоятельства (наряду с прочими условиями).

#### SUMMARY

A detailed retrospective analysis of disjunctive dislocations is carried out in the territory of the Southern coast of the Crimea belonging to the Crimean seismogenic zone, and the results of tiltmeter observations in the Crimea are interpreted. A sharp prevalence of fractured tectonics over plicative structures is registered which represents the near fractured folds of fold-block formations of graben-syncline and horst-anticline types. The analysis of the information on the structure and history of blocks and fractures separating them formation together with the data of tiltmeter observations evidences for the network of disjunctive dislocations being inherited and for a wide manifestation of the present movements along them. Points of forecasting observations must be placed with a due regard for this circumstance.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдулов М. В. Строение земной коры Крымского полуострова по результатам геофизических исследований.— В кн.: Комплексные исследования Черноморской впадины. М., 1970, с. 30—35.
2. Благоволин Н. С. Морфоструктуры и современные движения земной коры.— В кн.: Земная кора и история развития Черноморской впадины. М., 1975, с. 7—45.
3. Борисенко Л. С. Схема развития Южного берега Крыма в антропогене.— Геол. журн., 1973, т. 33, вып. 5, с. 123—124.
4. Булацен В. Г. Приливные и медленные деформации земной коры по данным экстензометрических наблюдений в Инкермане (Крым).— В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев, 1975, вып. 7, с. 9—15.
5. Горячук Ю. Г., Латынина Л. А. Наблюдения над наклонами земной поверхности на ст. «Алушта».— В кн.: Современные движения земной коры на геодинамических полигонах. Алма-Ата, 1973, с. 87—89.
6. Дычко И. А., Токарь В. И. Наклоны земной поверхности в Инкермане.— В кн.: Вращение и приливные деформации Земли. Киев, 1975, вып. 7, с. 30—31.
7. Ковалевский С. А. Срединный глубинный разлом Крымского полуострова.— ДАН СССР, 1965, № 4, с. 887—890.
8. Попов И. И., Пустовитенко Б. Г. Наклономерные исследования на Крымском геодинамическом полигоне.— Геофиз. сб., 1978, № 67, с. 16—24.