

В. И. СОМОВ, В. Н. ТРОСТНИКОВ, В. А. СКРЫЛЬ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ МИКРОПОЛИГОНЕ АРОМАТ-ЧЕРНЫЕ ВОДЫ (ГОРНЫЙ КРЫМ)

Микрополигон охватывает центральную и бортовые зоны Демерджинского разлома глубокого заложения и включает невеликую и линейно-угловую сети (рис. 1). Этот разлом относится к основным продольным разломам Горного Крыма и характеризуется проявлением новейшей тектонической активизации и значительным количеством сейсмодислокаций [8]. Он параллелен прослеживаемой по геоморфологическим и геофизическим данным в пределах акватории Черного моря шовной зоне взаимодействия Евразийской и Черноморской плит [1, 3, 9]. В районе Геленджика—Туапсе она проходит в 50...60 км от берега, далее к западу трансформируется в 30...50 км от Южного берега Крыма и следует по направлению к дельте Дуная. В соответствии с распределением очагов землетрясений сейсмическая зона, совпадающая с указанным швом, падает под углом 60° на глубину 40 км на север под Евразийскую плиту (Восточный Кавказ и Крым) [11]. По данным [4], происходит подвиг Черноморской плиты под Евразийскую.

Геолого-структурные особенности района исследований. Участок Черные воды расположен непосредственно в зоне разломов северо-восточного и северо-западного простирания, представляющих приповерхностное выражение узла пересечения Демерджинского и Ялтинского разломов глубокого заложения. Из них наибольшей современной активностью обладают разломы демерджинской группы, к которым приурочены водопункты с аномально высоким содержанием газов (H_2S , Ar , He , Rn , углеводороды) и микрокомпонентов (Li , Rb , Sr , B и др.).

Самыми древними породами, вскрываемыми современным эрозионным врезом в пределах исследуемой территории, являются флишевые отложения таврической серии (верхний триас и нижняя юра). В геологическом строении участка принимают участие отложения средней и верхней юры, нижнего мела, верхнего плиоцена и четвертичные.

В структурном отношении микрополигон приурочен к западному периклинальному замыканию Качинского антиклинория.

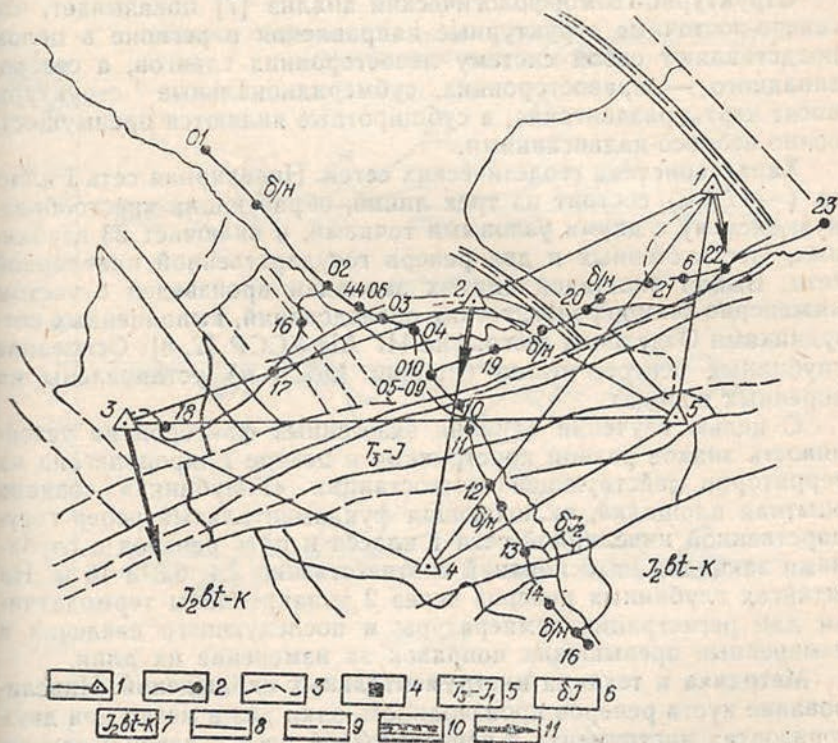


Рис. 1. Микрополигон Аромат-Черные воды.

1 — пункты линейно-угловой сети; 2 — линии повторного нивелирования и знаки высотной сети; 3 — трассы привязки нивелированием II кл. пунктов плановой сети; 4 — метеоплощадка «Голубинка»; 5 — отложения таврической серии: аргилиты и песчаники [1]; 6 — интрузии диабазовых порфиритов; 7 — отложения средней юры; алевролиты и песчаники; 8 — разрывные нарушения (достоверные); 9 — то же, предполагаемые; 10 — зоны приразломного сжатия и дробления пород; 11 — векторы линейных смещений пунктов линейно-угловой сети.

На его крыльях с размывом и редким угловым несогласием залегают отложения терригенной формации (песчаники, алевролиты) бат-келловейского возраста, соответствующие началу орогенного этапа развития. Эти отложения отличаются слабым метаморфизмом и спокойной складчатостью.

В соответствии с геолого-геоморфологическими исследованиями [7] наиболее древними (доорогенного этапа) в преде-

лах Крымского полуострова являются северо-северо-восточное и запад-северо-западное структурные направления. Субширотные и субмеридиональные направления, которые определяют ориентировку геологических границ юрских, меловых, палеогеновых и неогеновых отложений, несколько моложе первых двух направлений. Главная роль в структуре Крыма принадлежит северо-восточным и северо-западным направлениям, являющимся наиболее молодыми.

Структурно-геоморфологический анализ [7] показывает, что северо-восточные структурные направления в регионе в целом представляют собой систему левосторонних сдвигов, а северо-западного — правосторонних, субмеридиональные структуры носят черты раздвигания, а субширотные являются преимущественно взбросо-надвиганиями.

Характеристика геодезических сетей. Нивелирная сеть I класса (~ 17 км) состоит из трех линий, образующих крестообразную систему с двумя узловыми точками, и включает 23 глубинных, шесть стенных и два репера государственной нивелирной сети. Выбор площадок для их закладки произведен с учетом инженерно-геоморфологических обследований, выполненных сотрудниками Отделения географии ИГ АН УССР [2, 8]. Основания глубинных реперов путем бурения (до 6 м) установлены на коренных породах.

С целью изучения влияния экзогенных факторов на устойчивость знаков разной конструкции в центре микрополигона на территории действующей метеостанции «Голубинка» создана опытная площадка, включающая фундаментальный репер государственной нивелирной сети I класса и пять реперов с глубинами закладки их оснований соответственно 2,4, 6,8 и 16 м. На штангах глубинных реперов через 2 м закреплены термодатчики для регистрации температуры и последующего введения в измеренные превышения поправок за изменение их длин.

Методика и техника инструментальных наблюдений. Нивелирование куста реперов производилось один раз в месяц при двух горизонтах инструмента с перестановкой реек и переключением компенсатора между отсчетами по основной и дополнительной шкалам с одновременным снятием показаний термодатчиков, укрепленных на штангах реперов. Штанги реперов, связывающих основание (якорь) с маркой, подвергаются деформациям, достигающим 0,41 мм для двухметровой и 0,61 ... 0,83 мм — для 4—16-метровых штанг.

Исходя из представлений о генетической связи очагов землетрясений с глубинными разломами, важной задачей инструментальных наблюдений следует считать детальное изучение современного развития Демерджинского разлома глубокого заложения. Здесь в первую очередь достигаются пределы прочности пород на разрыв и скалывание, которые находят свое отражение в современных подвижках, аномалиях физических полей и химическом составе подземных вод. Поэтому в 1988 г. в Горном Крыму произведен выбор дополнительно еще трех

площадок, на которых произведена закладка знаков вкрест простираения Демерджинского разлома глубокого заложения.

За период с 10. 1983 по 06. 1989 гг. на микрополигоне Аромат-Черные воды выполнено 19 циклов измерений (рис. 2) по методике I класса нивелирами Ni-002 с использованием комплекта штриховых реек (наблюдатели В. Л. Ефимов и В. П. Малинин). Максимальная длина визирного луча не превышала 40 м. Температура воздуха измерялась аспирационным психрометром

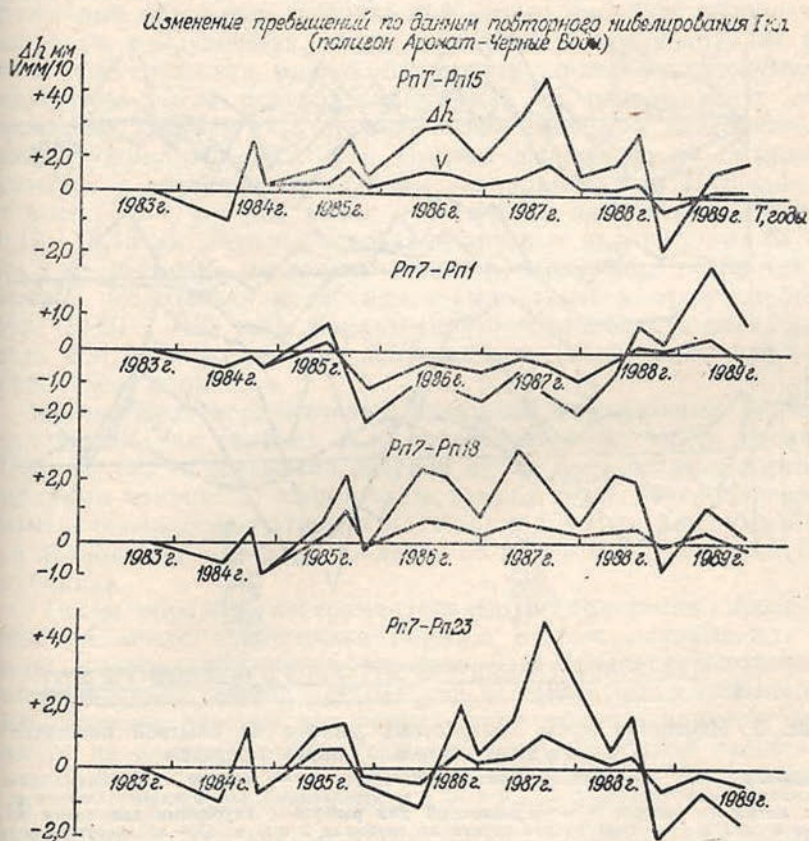


Рис. 2. Изменение превышений между реперами по данным повторного нивелирования I класса.

через станцию на уровне нивелира. Точность измерений определяется значениями средней квадратической случайной погрешности $\eta \pm 0,17 \dots 0,25$ мм/км.

Линейные измерения выполнялись светодальнометром СГ-3 с двумя отражателями, которые во всех циклах устанавливались однообразно и на одних и тех же пунктах. В каждом цикле измерялись все 10 линий плановой сети микрополигона. В 1983—

1986 г. все линейные и угловые измерения выполнялись три раза в год и, как правило, в одни и те же дни. Принудительное центрирование инструментов и визирных целей (в том числе отражателей) при измерениях исключало погрешности центрировки и редукиции.

Длина линии измерялась двумя программами, каждая из которых выполнялась в разные половины дня и состояла из трех приемов. В соответствии с «Руководством по эксплуатации светодальномера СГ-3», каждый прием включал 10 отсчетов в

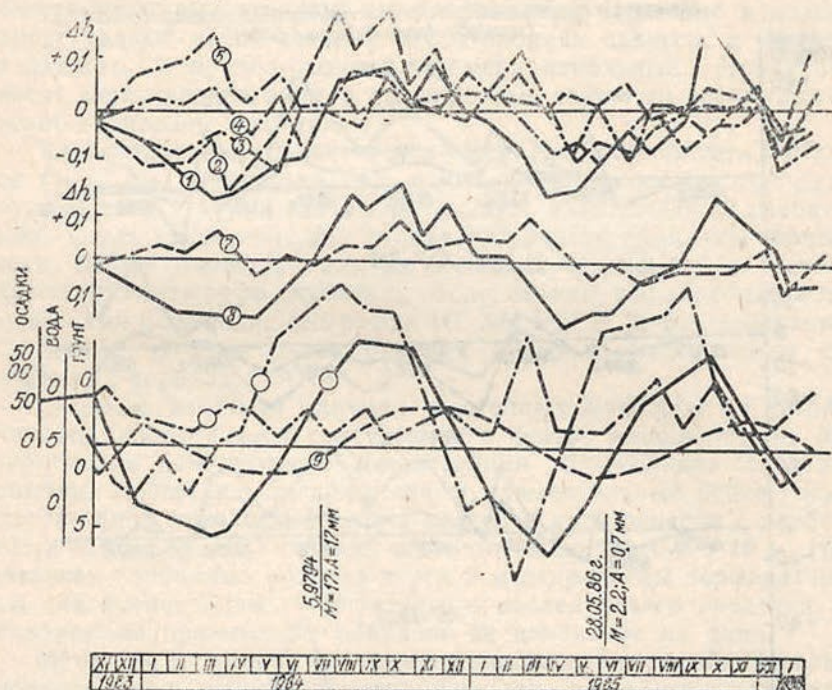


Рис. 3. Изменение высот контрольных реперов на опытной площадке «Голубинка» относительно опорного репера.

Временной ход: 1 — фундаментального репера; 2—5 — реперов с глубинами заложения соответственно 2, 4, 6 и 8 м; 6 — усредненный для фундаментального и 2-х метрового репера; 7 — усредненный для реперов с глубинами заложения 4, 6 и 8 м; 8 и 9 — температура грунта на глубинах 2 и 6 м; 10 — среднесуточная температура воздуха; 11 — количество атмосферных осадков по данным метеостанции «Голубинка».

режиме «Автомат—точно». Для учета влияния метеорологических факторов на конечных пунктах линий в начале и конце приема по радиосигналу оператора снимались показания метеоприборов (барометра и психрометра).

Угловые измерения производились на пяти пунктах линейно-угловой сети теодолитом ОТ-02. Они выполнялись способом круговых приемов с перестановкой лимба между приемами на $15^{\circ}04'$. Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, вычисленная по формуле Ферреро, не превышает $0,69''$, что

соответствует требованиям Инструкции по угловым измерениям I класса. Пункты плановой сети связаны также нивелированием II класса, которое выполнялось один раз в год с использованием нивелира Ni-007.

Интерпретация геодезических данных. На рис. 3 представлены изменения высот контрольных реперов на опытной площадке относительно опорного Рп 07 (геологический разрез: до 0,2 м — суглинок; 0,2...1,6 м — галечник средней и хорошей окатанности, кварцевый и известковый, сухой; 1,6...2,2 м — обводненный галечник; 2,2...4,5 м и глубже — грубослоистые, флишевые отложения таврической серии; до 4,5 м порода выветрелая, разрушенная, ниже — плотная). Анализируя их выявляемые смещения, можно обнаружить, во-первых, очень малое изменение высот реперов; во-вторых, все реперы ведут себя одинаково, подвергаясь периодическим сезонным колебаниям с амплитудой 0,10...0,22 мм. Причем амплитуда их смещения убывает с увеличением глубины закладки репера и для 4-, 6- и 8-метровых реперов имеет практически одинаковое значение 0,10...0,13 мм. Реперы, основания которых находятся на глубине 2 м (несмотря на различие конструкции), ведут себя одинаково и испытывают колебания с амплитудой в два раза больше (0,20...0,23 мм). Характерной особенностью в смещениях всех контрольных реперов является отсутствие практически необратимых процессов.

Полупериод вертикальных смещений контрольных реперов, заложенных на глубину 2 м, составляет всего шесть месяцев. Периодичность колебания реперов может быть связана с деформациями приповерхностной части земной коры, обусловленными изменениями температуры и влажности грунтов. Ход последних за период 1983—1985 гг. приведен по данным метеостанции «Голубинка».

Таким образом, инструментальные исследования, проведенные на опытной площадке Горного Крыма, показывают, что максимальная амплитуда экзогенной составляющей современных движений земной поверхности не превышает $\pm 0,22$ мм/год. Конструкция реперов при одинаковой глубине заложения оснований не влияет на амплитуду; реперы с глубиной заложения 4 м и более ведут себя идентично и амплитуды их колебаний (0,10...0,13 мм) соизмеримы с погрешностями определения превышений. Эти данные согласуются с результатами исследований в Придунайской низменности в Чехо-Словакии [15] и на Южном берегу Крыма [13]; для уменьшения влияния экзогенных процессов на высотное положение реперов, искажающих картину современных движений земной коры, рекомендуемая глубина их заложения на вновь создаваемых геодезических полигонах должна быть не менее 4 м.

На участке Рп 07—Рп 13 с марта по ноябрь 1987 г. было проведено 18 циклов нивелирования I класса. Колебания превышений по секции РП II—Рп 12 отличаются повышенной амплитудой по сравнению с соседними секциями и достигают утроен-

ной величины их определения. Однако восьмимесячный период наблюдений мал для выявления современных подвижек и изучения закономерностей их проявления.

Все пункты плановой сети относительно измерений 1984 г. испытывают поднятие, которое в пять—семь раз превышает погрешности их определения. Интенсивность и направленность вертикальных смещений пунктов линейно-угловой сети приведены ниже:

Номер пункта	Высота относительно Рп 0,7, м	Поднятие, мм/год
1	192	3,1
2	72	1,8
3	82	2,0
4	140	3,5
5	177	3,1

Максимум поднятий приходится на 1987 г., а затем наблюдается его последовательное исчезновение в 1989—1990 гг.

Уравнивание результатов линейно-угловых измерений в построенной сети выполнялось на кафедре прикладной геодезии Львовского политехнического института. На первом этапе с целью определения средней квадратической погрешности единицы веса направления μ_n угловая сеть уравнивалась как свободная (20 измеренных направлений). На втором этапе уравнивались только линейные измерения (10 сторон). Веса сторон принимались обратно пропорциональными квадратам их длин. На втором этапе получены средние квадратические погрешности единицы веса μ_s на 1 км расстояния. И наконец, на заключительном третьем этапе уравнивалась линейно-угловая сеть с весами для измеренных направлений $P_n=1$, а для измеренных

$$\text{сторон } P_s = \frac{\mu_n^2}{\mu_s^2 s^2}.$$

Исходя из геолого-геофизических соображений, в качестве жестких приняты пункты 4 и 5. Уравненные значения направлений получены с точностью 0,10...0,35", а длины сторон — с точностью $\pm 0,003 \dots 0,006$ м. На рис. 4 показаны изменения длин сторон плановой сети ΔD относительно первого цикла, выполненного 16. 08. 1983 г.

Максимальные изменения длин линий линейно-угловой сети фиксируются в восьмом цикле наблюдений (04. 1986 г.) вдоль линий 1—3 ($\Delta D = -31 \pm 7,1$ мм) и 1—5 ($\Delta D = -27 \pm 7,2$ мм), т. е. почти в четыре раза превышают погрешность их определения m . Для трех сторон (1—2, 1—4 и 3—5) они колеблются от -17 до -21 мм с погрешностью их определения $\pm 6,1 \dots 6,8$ мм, т. е. превышают m почти в четыре раза.

Для всей плановой сети фиксируется уменьшение длин сторон, что позволяет определить тип деформаций на территории микрополигона Аромат-Черные воды. Исследуемый район за период 1983—1986 гг. подвергся значительному сжатию (главное значение деформации имеет знак плюс). Эти данные свиде-

тельствуют о том, что поле горизонтальных деформаций однородно по ориентировке главных осей.

В десятом цикле измерения длин сторон не превышают возможных погрешностей их определения. Исключение составляет сторона 3—4 ($\Delta D = -19 \pm 7,5$ мм).

На территории микрополигона за исследуемый период землетрясения не зафиксированы [10]. Наиболее сильные землетрясения в ближайших сейсмоактивных зонах Крымско-Черно-

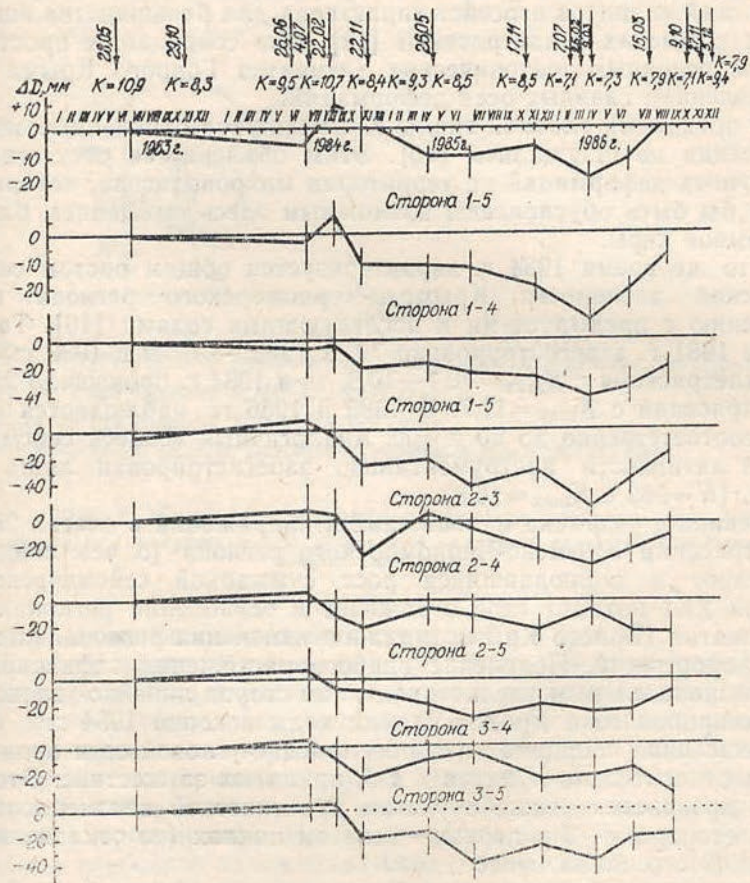


Рис. 4. Изменение длин сторон (ΔD) по данным уравнивания линейно-угловой сети микрополигона Аромат-Черные воды относительно начального цикла измерений.

Показаны: стрелками — наиболее сильные ощутимые землетрясения, происходившие в 1983—1986 гг. в Ялтинской сейсмоактивной зоне [5, 12, 13]; усиками — возможные ошибки определения изменения длин сторон линейно-угловой сети.

морского района (Алуштинской и Ялтинской) произошли 28.05.1983 и 05.06.1984 гг. Границы их ощущаемости невелики и охватывают незначительную область — узкую прибрежную поло-

су Южного берега Крыма: в первом случае от Ялты до с. Солнечногорское (протяженностью 18 км) с максимальной интенсивностью 4—5 баллов южнее Алушты и во втором — от Мисхора до Алушты с максимальной интенсивностью 3—4 балла в районе мыса Аю-Даг.

Изосейсты землетрясения 28.05.1983 г. ($K=10,9$) вытянуты вдоль побережья и большая ось эллипса изосейст имеет направление с юго-юго-запада на северо-северо-восток. Эта ориентация осей эллипсов изосейст характерна для большинства ощутимых крымских землетрясений [12]. Она совпадает с простиранием основных тектонических элементов Горного Крыма и направлением главных осей деформаций.

За пределами главной гряды Крымских гор отмеченные землетрясения не ощущались [10]. Этим объясняется отсутствие остаточных деформаций на территории микрополигона, которые могли бы быть обусловлены возможным здесь смещением блоков земной коры.

В то же время 1984 г. характеризуется общим ростом сейсмической активности Крымско-Черноморского региона по сравнению с предыдущими и последующими годами [10]. Так, если в 1981 г. зарегистрировано 79, в 1982 — 67 и в 1983 г. — 53 землетрясения с $K_{\max}=10,7-10,9$, то в 1984 г. произошло 255 землетрясений с $K_{\max}=11,7$. В 1985 и 1986 гг. наблюдается их спад соответственно до 50 и 100. Аналогичный всплеск сейсмической активности инструментально зарегистрирован лишь в 1927 г. ($N=389$ с $K_{\max}=16,8$).

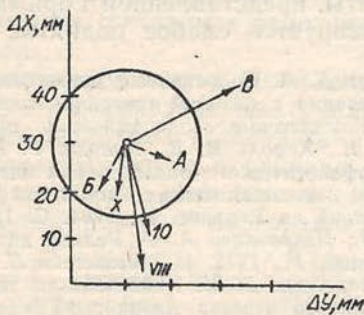
Очевидно, разрядка накопившихся напряжений в очагах 255 землетрясений Крымско-Черноморского региона (о чем свидетельствует и наблюдавшийся рост суммарной сейсмической энергии ΣE) находит свое отражение в ослаблении регионального сжатия Горного Крыма и даже в изменении регионального типа деформаций. Появление слабого растяжения зафиксировано незначительным увеличением длин сторон линейно-угловой сети микрополигона Аромат-Черные воды в конце 1984 г.

Вычисление координат пунктов линейно-угловой сети произведено относительно пунктов 4 и 5, принятых за жесткие. Этот выбор произведен также с учетом практической неизменности длины стороны 4—5 в первом—девятом циклах (ее отклонения от начального цикла менее ± 5 мм).

Векторы линейных смещений пунктов триангуляции 1—3 в седьмом цикле наблюдений в 1,5—2,5 раза выше их погрешностей определения. Так, для пункта 1 они соответственно равны $28,4 \pm 13,5$ мм, а для пункта 3 — $25,6 \pm 14,1$ мм. К десятому циклу (10.1986 г.) размеры векторов почти равны погрешностям их определения и лишь для пункта 3 (23,4 мм) он в 1,5 раза выше m ($\pm 15,4$ мм). Все они ориентированы на юг и юго-восток, что указывает на медленные смещения (не превышающие 0,3... 0,8 см/год, а в среднем 0,5 см/год за весь период наблюдений с 08.1983 по 10.1986 гг.) вдоль разломов северо-западного (поперечного) простирания. Таким образом, инструментальными

данными зафиксирован надвиг мегантиклинория Горного Крыма (главной горной гряды) на Черноморскую впадину.

Аномальные деформации, рост которых отчетливо наблюдается в пятом цикле измерений (07. 1985 г.), на протяжении почти двух лет (по 04. 1986 г., восьмой цикл) характеризуются постоянной направленностью для каждого пункта триангуляции. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что направленность «приобретена» с пятого цикла наблюдений. Наглядный пример



- ← 1 см Направленность смещений пункта N1 в VIII и X циклах, $M = \pm(13,5 - 14,9)$ мм.
- ← — То же пункта 2, $M = \pm(10,4 - 11,1)$ мм.
- ← — То же пункта 3, $M = \pm(14,3 - 15,4)$ мм.
- Средний радиус ошибок положения пунктов (213,2) мм.

Рис. 5. Направленность смещений пунктов плановой сети:

1 — пункта 1; 2 — пункта 2; 3 — пункта 3; 4 — средний радиус ошибок положения пунктов ($m = \pm 13,2$ мм).

этого — изменения положения пунктов 2 и 3 (рис. 5).

Если на пункте 1 направленность аномальных смещений согласуется с направленностью медленных горизонтальных движений земной коры, то на пунктах 2 и 3 этого не наблюдается. На этих пунктах векторы аномальных смещений указывают на возможные накопления упругих напряжений, обусловленных сдвигами вдоль продольных нарушений крымского (северо-восточного) простирания. Им может быть зона Демерджинского разлома глубокого заложения. Аномальные смещения (28,4 мм) на пункте 1 в 2,5 раза превышают медленные движения земной коры (12,2 мм), на пунктах 2 и 3 они почти равны им (соответственно 13,6 и 10,0; 25,6 и 23,4 мм). В девятом цикле измерений уже наблюдается падение интенсивности аномальных деформаций, которые почти исчезают к десятому циклу (10. 1986 г.).

Научная значимость современных движений земной коры определяется тем, что их инструментальное изучение открывает новый этап развития геотектоники, поскольку стали возможными проверка ряда теоретических положений и реальная оценка современных тектонических процессов.

Направленность векторов линейных смещений пунктов триангуляции на микрополигоне Аромат-Черные воды и в целом Горного Крыма [14] указывает на современные перемещения мегантиклинория на юг и юго-восток, что согласуется с распределением главных нормальных напряжений в регионе [6, 9]. Максимальная составляющая напряжений ориентирована вкрест простирания границы Евразийской и Черноморской литосферных плит. Вследствие современного подвигания последней в южной окраине Евразийской плиты, представленной Горным Крымом, в настоящее время фиксируется слабое поднятие [5].

1. *Благоволин Н. С., Лилиенберг Д. А.* Современные движения земной коры Причерноморья и их интерпретация с позиций тектоники плит // Современные движения земной коры. Комплексные геодинамические полигоны. М., 1987. С. 11—16. 2. *Волков Н. Н., Король В. В., Купраш Р. П.* и др. Основные результаты геолого-геоморфологического обследования нивелирной сети на Карпатском и Крымском геодинамических полигонах // Развитие сейсмопрогностических исследований на Украине. К., 1984. С. 127—134. 3. *Гончаров В. П., Непрочнов Ю. П., Непрочнова А. Ф.* Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. М., 1972. 4. *Зоненштайн Л. П., Савостин Л. А., Вардапетян А. Н., Володина В. И.* Кайнозойская тектоника плит и геологическая история срединного отрезка Альпийско-Гималайского пояса // Строение литосферных плит. М., 1979. С. 54—67. 5. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы / Под ред. Ю. А. Мещерякова. М., 1973. 6. *Кропоткин П. Н., Ларионов Л. В.* Глубинные разломы Крымско-Кавказской области и движение литосферных плит // Докл. АН СССР. 1976. Т. 230. № 2. С. 311—313. 7. *Лукина Н. В., Макаров В. И., Трифонов В. Г., Волкова Г. Н.* Корреляция тектонических событий новейшего этапа развития Земли. М. 1985. 8. *Новик Н. Н., Борисенко Л. С., Швырло Н. И., Купраш Р. П.* Геолого-структурные и гидрогеологические особенности микрополигона «Черные воды» // Современная геодинамика и прогноз землетрясений на Украине. К., 1985. С. 30—35. 9. *Пустовитенко Б. Г., Борисенко Л. С., Тихоненков Э. П., Новик Н. Н.* Некоторые особенности структуры и геодинамики Крыма в связи с прогнозом землетрясений // Современная геодинамика и прогноз землетрясений на Украине. К., 1985. С. 6—13. 10. *Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Горячун А. В.* Землетрясения Крымско-Черноморского района. К., 1989. 11. Сейсмическое районирование территории СССР. М., 1980. 12. Сейсмологический бюллетень западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым—Карпаты, 1984). К., 1987. 13. *Селюков Г. Н.* Об особенностях вертикальных движений грунтовых реперов в пределах зон разрывных нарушений и вне их на примере Южного берега Крыма // Тез. докл. X Межведомственного совещ. по изучению современных движений земной коры на геодинамических полигонах СССР. М., 1985. С. 19—21. 14. *Сомов В. И., Рахимова И. Ш.* Современные движения земной коры Карпато-Балканского региона и сопредельных стран. К., 1983. 15. *Marčák P.* Exogene pohyby na experimentálnych lokalitách v Malých Karpatach a Podunajskej nížine // Geografický časopis. 1984. R. 36. С. 1. S. 70—87.

Статья поступила в редколлегию 25. 10. 90