

Напряженно-деформированное состояние Гераклейского вулcano-тектонического блока Горного Крыма

© А. В. Муровская, 2011

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 22 июня 2010 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Наведено результати реконструкції палеонапружень для Гераклейської антикліналі (Західний Крим). На основі польового тектонофізичного вивчення крихких розривів і дешифрування карти 3D рельєфу побудовано схему розривних порушень. Сполучені системи тріщин і дані щодо напрямків переміщень використано для реконструкції орієнтації головних осей нормальних напружень і деформаційних режимів. Показано, що від середньої юри донині Гераклейський півострів витримав 10 фаз деформацій стиснення і розтягнення. Дані реконструкції напружень зіставлено з гравітаційним полем. Для мантіїної частини літосфери характернішими є напруження стиснення, а для верхньої частини земної кори у неогені—голоцені також існують напруження розтягнення, пов'язані з підняттям Кримських гір.

This paper presents the paleostress results obtained for Heracleyskaya anticlinal (Western Crimea). On the basis of field tectonophysical study of brittle planes and 3D relief map deciphering the scheme of faults is made. Conjugate sets of fractures and fault-slip data are used to reconstruct orientation of the principal stress and deformation regimes. It is shown that the Heracleyskiy peninsula has been exposed to the 10 compression and tension deformation phases from the Middle Jurassic period. Stress reconstruction results are compared with gravitational field data. In the Neogen—Quaternary time for lower lithosphere the compression stress is characteristic while for upper crust the tension stress is typical as well. It seems to be connected with the recent raising of the Crimean mountains.

Актуальность приводимых в настоящей статье данных связана с существованием нескольких альтернативных моделей тектонического развития Горного Крыма, что во многом обусловлено недостаточной изученностью деформационных элементов всех его структурных этажей. В районе исследований, в отличие от большинства других участков, представлены верхний и нижний структурные этажи, слагающие Горно-Крымское сооружение, породы которых выходят на дневную поверхность и доступны для непосредственного изучения. Поэтому Гераклейский блок представляет собой важную и показательную структуру для понимания геодинамического развития Горного Крыма. Кроме того, район расположен в пределах наиболее интенсивного в Украине Крымского гравитационного максимума и изучение его напряженно-деформированного состояния может помочь уточнить природу этой аномалии.

Структурное положение. Географически изучаемая территория находится в пределах Гераклейского полуострова в крайней юго-

западной части Горного Крыма. В структурном плане он представляет собой обособленный так называемый вулcano-тектонический блок, ограниченный с юго-востока Георгиевской зоной разломов — фрагментом глубинной Крымско-Кавказской зоны. Георгиевская зона является активной в позднеальпийском тектоническом цикле и отчетливо прослеживается от Мраморной балки до пос. Инкерман. С разломной зоной связаны среднеюрский вулканизм и гидротермальные проявления. Она контролирует распространение структурно-вещественных комплексов Горно-Крымского сооружения на северо-западе, что проявляется, прежде всего, в полном выпадении из разреза верхнеюрских пород. А в юго-восточном крыле зоны отсутствуют палеоген-четвертичные отложения верхнеальпийского структурного яруса.

С северо-востока Гераклейский блок ограничен раннекиммерийской Чернореченской зоной разломов глубокого заложения, активизированной в новейшее время. На севере, северо- и юго-западе блок омывается водами Черного моря и Северной бухты, но и здесь

можно проследить его разломные ограничения. В целом весь блок находится в шовной зоне сочленения Скифской плиты и Горного Крыма.

На раннекиммерийском этапе здесь развивалась обособленная вулcano-тектоническая структура первого порядка в пределах киммерийского Горно-Крымского складчатого сооружения. Она представлена гераклейским субвулканическим комплексом среднеюрской спилит-кератофировой формации, сложенным потоками лав основного и среднего состава, прорванными штоками, дайками, экструзиями, силлами габбро-порфиринов, андезитобазальтов, андезитов, риолитов и риодацитов. Породы этого яруса образуют систему сжатых, осложненных надвигами складок.

Отложения верхнего структурного этажа имеют спокойное моноклинальное залегание и представлены нижнеальпийским и верхнеальпийским ярусами. В раннеальпийское время Гераклейский блок был западной частью Канаринской вулcano-тектонической зоны, выполненной вулcanoгенно-терригенной формацией нижнего мела. Породы этого яруса вскрыты серией скважин.

Отложения верхнеальпийского яруса представлены терригенно-карбонатным комплексом среднего и верхнего миоцена. На новейшем этапе блок развивался обособленно, образуя Гераклейский выступ в пределах Севастопольско-Симферопольской моноклинали. Поэтому отложения плиоцен-антропогена здесь полностью денудированы.

История геологического изучения Гераклейского полуострова, как и всего Горного Крыма, началась в конце XIX в. и прошла несколько этапов. За это время накоплен большой фактический материал. Тем не менее на данный момент существует несколько взаимоисключающих тектонических концепций.

Традиционная фиксистская концепция основана на представлении о разломно-блоковом строении региона и преобладании вертикальных перемещений по крутопадающим разломам. В частности, Георгиевская зона разломов, являющаяся фрагментом глубинной Крымско-Кавказской зоны, представителями традиционной фиксистской тектоники описывается как сброс [Борисенко, Плахотный, 1997; Борисенко и др., 1976; Геологическая ..., 1984].

Мобилистские концепции зачастую исходят из теоретических или гипотетических представлений, противоречат друг другу, а значит не вполне обоснованы фактами. Так, согласно представлениям В. В. Юдина и О. М. Герасимо-

ва [Герасимов та ін., 2006, Юдин, 2002], структура Крыма определяется сутурными зонами разного возраста, меланжами и олистоплаками, вызванными экзотектоникой и крупномасштабными горизонтальными перемещениями с юга. В частности, район исследований находится в зоне влияния Предгорной сутуры мезозойского возраста, которая прослеживается по геофизическим данным под мезозойско-кайнозойскими отложениями через весь Крым и далее на Кавказ. С.С. Крутлов [Тектонічна ..., 2007; Державна ..., 2005] рассматривает тектоническое развитие Горного Крыма как покровно-шарьяжной структуры по аналогии с формированием Карпатского сооружения. Покровно-шарьяжная концепция Ю. В. Казанцева [Казанцев, 1982] связывает тектоническое развитие Горного Крыма с крупномасштабными перемещением с севера на юг.

Методика исследований. Для выявления разрывных дислокаций на участке исследований выполнен анализ геологических и тектонических карт и схем Крымского полуострова, анализ и обработка космических снимков (КС) и карт 3D рельефа с использованием возможностей компьютерных программ пакета ГИС (Mapinfo, Stereo). По результатам анализа выбрана участка для полевых исследований.

При обработке КС и 3D рельефа проводилось выделение линеаментов — линейных элементов изображения, соответствующих разрывным структурам различных рангов — от разломов до отдельных сколов. Выделялся также класс структур (мегатрещин), имеющих небольшую протяженность, но отражающих внутреннюю структуру разломных зон [Сим, 2000]. При интерпретации данных дистанционных исследований использовались общепринятые приемы дешифрирования КС [Верховцев, 2007].

Основным путем повышения достоверности визуального дешифрирования и последующей геологической интерпретации КС было сопоставление полученных результатов дешифрирования с данными наземных наблюдений.

При исследовании разрывных структур в обнажениях горных пород использовались методы тектонофизики и структурной геологии. Определялось, чем выражены разрывные нарушения — зоной дробления, катаклаза, наличием милонитов. Делались замеры элементов залегания плоскостей сместителей, мощности зон дробления, амплитуд смещения, определялся морфолого-генетический тип разлома и знак движения крыльев.

При выполнении исследований разрывных дислокаций особое внимание уделялось

признакам смещения по разлому. При этом детально исследовалась поверхность зеркал скольжения с выделением ступеней и треугольников выкрашивания, борозд и штрихов скольжения. Определялись реперные структурные элементы, смещаемые швом — дайки, жилы, трещины, исследовались оперяющие структуры — мелкие разрывы и трещины, взаимоотношения между различными системами трещин (взаимные переходы, характер пересечения, слияния и т. д.) с предварительным установлением относительного возраста. Абсолютный возраст деформаций определялся с учетом геологических данных о геодинамике Крымско-Черноморского региона [Паталаха, 2003; Державна ..., 2005; Казьмин, Тихонова, 2006].

Для анализа деформаций и определения тензора напряжений использовались стандартные процедуры. Для интерпретации трещин без кинематических индикаторов применялся метод структурно-парагенетического анализа [Гинтов, 2005], для инверсии тектонических напряжений по хрупким трещинам со смещением использовалась программа TENSOR, разработанная Д. Делво и Б. Шпернер на основе метода правой дигитры и ротационной оптимизации [Delvaux, 1993; Delvaux, Sperner, 2003]. Комплексирование структурно-парагенетического и кинематического методов обосновано в работах [Беличенко, Муровская, 1990; Гинтов, 2005; Гинтов, Муровская, 2000].

Характеристика данных. Массовые замеры трещиноватости и структурных парагенезисов проводились в основном в неогеновых (пункты 1—8; 554 замера) и палеогеновых (пункты 9, 10; 232 замера) терригенно-карбонатных отложениях, так как здесь не были обнаружены сколы с бороздами или штрихами скольжения. Структурно-кинематические парагенезисы изучались в вулканогенных отложениях средней юры (пункты 11—14; 91 замер) и в мраморизованных известняках верхней юры (пункты 15—17; 60 замеров).

Были выделены два детализационных участка, где замеры проводились в разновозрастных горизонтах разреза — в районе железнодорожного туннеля пос. Инкерман в нижнепалеогеновых мергелях и залегающих над ними нижнеогеновых известняках (пункты 8 и 9) и в районе п-ова Фиолент (пункты 5 и 12) в вулканитах средней юры и залегающих над ними нижнеогеновых известняках.

Линеаменты выделялись по космоснимкам и картам 3D рельефа. Для сравнения использо-

валась и анализировалась карта линеаментов Верховцева [Верховцев, 2007], по которой была построена роза-диаграмма их простираний.

Анализ данных. По трещиноватости в неогеновых (преимущественно сарматские слоистые известняки) и палеогеновых отложениях (известняки, мергели инкерманского и качинского горизонтов) однозначно доминирует северо-западная система субвертикальных трещин с азимутами простирания 300—320° (рис. 1).

Линеаменты северо-западного простирания также преобладают в пределах среднеюрских отложений (вулканиты карадагской свиты). Для этой системы по парагенезисам R'-L и R-R' сколов восстановлены положения осей напряжения. Оси сжатия (σ_1) и растяжения (σ_3) ориентированы горизонтально, а плоскости трещин — субвертикально, что свидетельствует о сдвиговом режиме деформирования. Положение оси сжатия определено и как субмеридиональное, и как субширотное, что свидетельствует о реверсном характере процесса деформирования. При этом отмечается преобладание субширотного положения осей растяжения и субмеридионального — осей сжатия. В рисунке же линеаментов, выделенных по 3D рельефу, зона северо-западного простирания, проходящая вдоль береговой юго-западной линии полуострова, образует левый эшелон R-сколов и соответствует кинематике левого сдвига в поле горизонтального меридионального растяжения и горизонтального широтного сжатия.

Можно полагать, что наличие субмеридиональных осей σ_3 при сдвиговом деформационном режиме по измерениям в нижнепалеогеновых и нижнеогеновых осадках отражает завершающие фазы растяжения при их отложении.

Вторая по распространенности система субвертикальных трещин имеет два преобладающих северо-восточных направления (20—30° и 40—50°). Она сопряжена с северо-западной системой и также сформирована в сдвиговых полях напряжений реверсного типа с субширотным и субмеридиональным положением осей максимального сжатия. Линеаменты направления 60° образуют правый эшелон в районе Крымско-Кавказской зоны разломов.

Особый рисунок трещиноватости наблюдается в вулканитах средней юры мыса Фиолент в зоне Георгиевского разлома северо-восточного простирания. Здесь доминируют северо-западные разрывы с простиранием 30—40° и 60—70°. При этом трещины 30—40°, преимущественно субвертикальные, сопряжены с субвертикальными же разрывами северо-

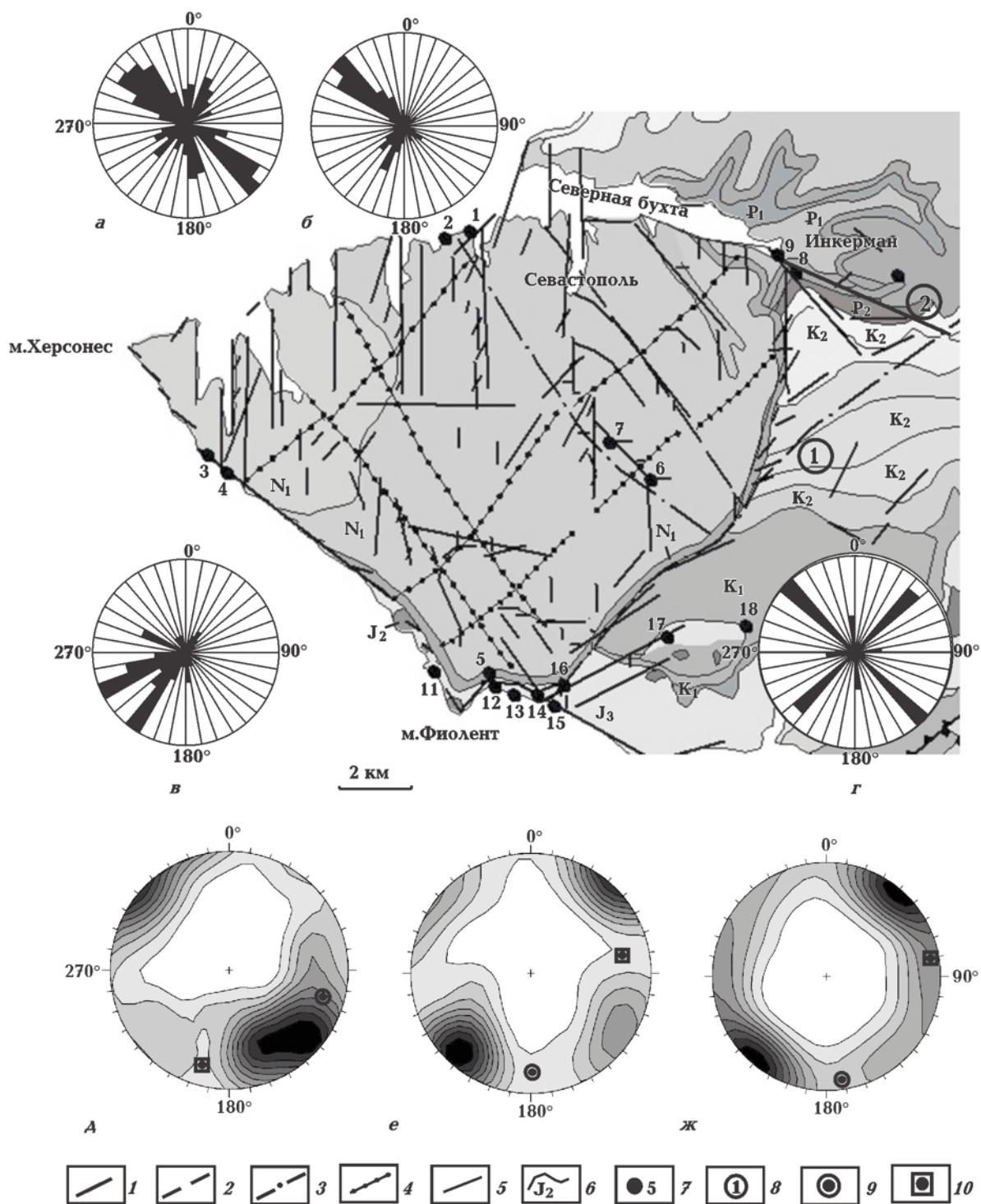


Рис. 1. Геологическая карта юго-западной части Горного Крыма, по [Державна ..., 2005] с результатами тектонофизи-ческих исследований. Разрывные нарушения: 1 — достоверные; 2 — предполагаемые; 3 — установленные непрямыми методами; 4 — скрытые осадочным чехлом; 5 — линеаменты, соответствующие разрывным нарушениям, выделенные автором по карте 3D рельефа; 6 — границы и наименования литолого-стратиграфических подразделений; 7 — пункты тектонофизиических наблюдений и их номера; 8 — номера зон разломов, ограничивающих Гераклеийский блок (1 — Георгиевская зона разломов; 2 — Чернореченская зона разломов); 9, 10 — положение осей главных нормальных напряжений (9 — сжатия, 10 — растяжения); а-в — розы-диаграммы азимутов простирания (а — трещиноватость в отложениях неогена; б — палеогена; в — средней юры); г — линеаменты, по [Верховцев, 2007]; д-е — суммарные стереограммы трещиноватости (верхняя полусфера, равноугольная проекция). Отложения: д — среднеюрские; е — палеогеновые; ж — неогеновые.

западной ориентировки, сформированными в сдвиговом поле меридионального растяжения и субширотного сжатия. В то же время нарушения 60—70° падают на юго-восток под углами 45—80° и образуют структурные парагенезисы, указывающие на взбросовый характер деформации с горизонтальным положением оси сжатия 160—170° и субвертикальным положением оси растяжения. Большинство разрывов в среднеюрских вулканитах мыса Фиолент содержит кинематические индикаторы, анализ которых приведен несколько ниже.

Третья по проявленности — субмеридиональная система нарушений. В трещиноватости она проявлена довольно слабо при преобладающих направлениях 0—350° и 10—30°. Намного сильнее и отчетливее она выражена в рельефе и контролирует многочисленные узкие бухты, глубоко врезанные в северное побережье Гераклейского полуострова. Как правило, нарушения этой системы образуют правые эшелоны меридиональной ориентировки с R-сколами 15—25°. Это свидетельствует о формировании ее в поле северо-западного растяжения и северо-восточного сжатия.

Субширотная система практически не выражена в трещиноватости и слабее всего в рельефе. Наиболее яркое ее проявление — Северная бухта в Севастополе. Причем, при более детальном рассмотрении, она является не прямолинейной, а ломаной, состоящей из диагональных элементов. Поэтому ее можно интерпретировать как активизированную структуру отрыва в поле субмеридионального растяжения.

Необходимо отметить, что линеаменты ортогональной системы образуют, как правило, отрицательные формы рельефа и, будучи сформированы как сколы, могут работать как структуры растяжения в полях с горизонтальным субширотным и субмеридиональным положениями осей растяжения, которые доминируют на данном участке.

Результаты реконструкции напряжений по данным о смещениях по хрупким трещинам подтверждают и дополняют данные по трещиноватости и линеаментам прежде всего тем, что дают информацию о соотношениях величин главных нормальных напряжений и указывают на наиболее молодые деформации, происходящие по активизированным разрывам.

Обнажения с кинематическими индикаторами компактно расположены в трех местах. Первая группа включает четыре обнажения (пункты 11—14) в вулканитах средней юры вдоль

побережья на расстоянии 1,5 км западнее и восточнее мыса Фиолент (всего 91 вектор) в Георгиевской зоне разломов. На вулканитах со стратиграфическим и угловым несогласием залегают сарматские известняки. В вертикальном разрезе проведены наблюдения в неогеновых известняках (пункт 5) и залегающих ниже среднеюрских вулканитах (пункт 12). Для выяснения геологической природы линеаментов и относительного возраста разрывов здесь проведены структурные и тектонофизические исследования. В магматических образованиях часто встречаются сколы северо-западного простирания, которые прослеживаются и в неогеновых известняках (рис. 2, а). По сколам отмечаются жилки цеолитов, что указывает на их формирование в период вулканической деятельности, т. е. возраст их заложения среднеюрский. Деформации же неогеновых отложений связаны с активизацией разрывных дислокаций северо-западного простирания в постнеогеновый этап.

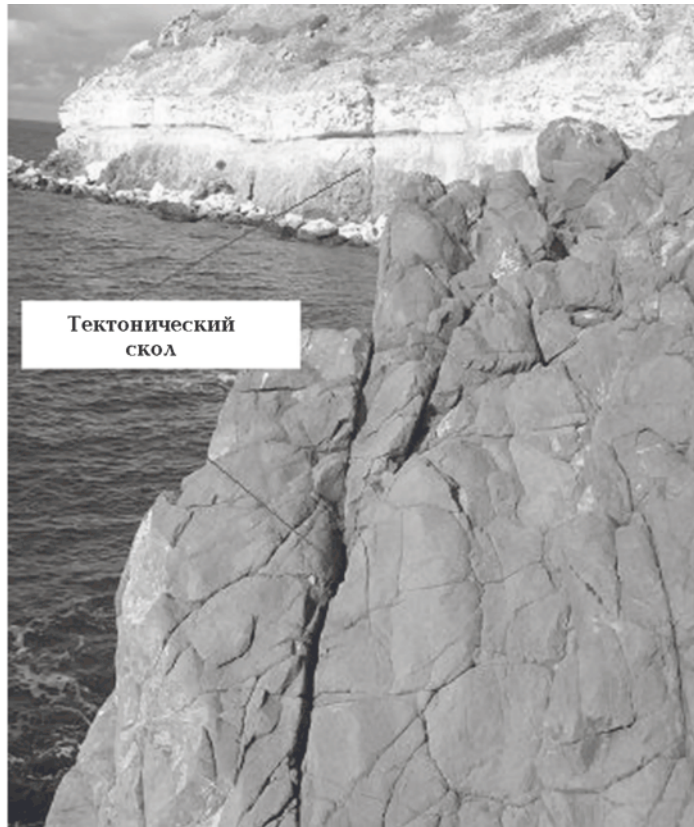
В магматических образованиях встречена зона брекчирования, насыщенная карбонатами и цеолитами (рис. 2, б). Мощность зоны от 20 до 80 см, простирание северо-восточное (45°) с крутым падением на северо-запад (70—80°). Смещает сколы северо-западного простирания по типу левого сдвига.

Однако на зеркалах, ограничивающих зону брекчирования, остались плохо выраженные штрихи, указывающие на сброс. Вероятно, дислокация закладывалась как сброс в юрское время в период вулканической деятельности, о чем свидетельствует высокая проницаемость зоны — насыщенность цемента брекчии цеолитами.

Магматические образования с северо-востока срезаются разрывом северо-западного простирания, выраженным серией сколов с зеркалами скольжения. За сколами обнажается сильно дислоцированная толща туфогенных отложений, пронизанная многочисленными жилами цеолитов и карбоната и разбитая зеркалами скольжения разнообразной ориентировки. Среди дробленных и перетертых пород наблюдаются обломки размером более 1 м. В обнажениях этой дислоцированной толщи проведен комплекс тектонофизических исследований и выполнена реконструкция поля напряжений.

На участке в районе мыса Фиолент установлено четыре разновозрастных поля напряжений (пункты 11—14).

Около 50% векторов соответствует сдвиговому полю с субмеридиональным положением оси сжатия 11/15 (здесь и далее в числителе азимут падения оси, в знаменателе угол ее наклона)



а



б

Рис. 2. Мыс Фиолент, пункт наблюдения 11: *а* — тектонический скол северо-западного простирания 218/85, секущий вулканогенные образования средней юры (темные) и неогеновые отложения (светлые); *б* — левый сдвиг по разрывному нарушению северо-восточного направления 315/75, выраженного тектонической брекчией с карбонатными минералами и цеолитами в цементе.

и субширотным положением оси растяжения 275/20 (рис. 3, а).

Вторым по представительности является поле субмеридионального растяжения 10/9 при горизонтальном положении оси сжатия 280/3, где действующей является ось растяжения (рис. 3, б).

Как было показано выше, аналогичные поля проявлены в неогеновых отложениях и элементах рельефа, что указывает на их существование на современном тектоническом (постнеогеновом) этапе: их возраст моложе современного рельефа, т. е. 20 млн лет.

В среднеюрских вулканитах присутствуют взбросовые и надвиговые смещения, соответствующие полю северо-северо-западного сжатия 170/10 при субвертикальном положении оси растяжения (рис. 3, в). Действующей является ось сжатия. Деформации в этом поле реализованы по сколам северо-восточной ориентировки с падением на юго-восток 40—60°. Висячие крылья разрывов надвигались и взбрасывались с юго-востока на северо-запад. Такое поле не выявлено в отложениях верхнего структурного этажа. На этом основании его можно считать более древним, связанным с процессом деформирования нижнего структурного этажа.

На всех четырех пунктах наблюдения зафиксированы подвижки в сбросовом поле напряжений при горизонтальном положении оси растяжения и вертикальном — оси сжатия. Ориентировка действующей оси растяжения изменяется от северо-запада до северо-востока и связана с ориентировкой свободной поверхности берегового обрыва. Это поле напряжения представляется наиболее молодым и, очевидно, отражает современные эрозионные процессы, широко развитые вдоль южного берега Крыма.

Вторая группа обнажений расположена на крайнем востоке изучаемого блока, в районе Мраморной балки, в восточном крыле Георгиевского разлома, где обнажаются титон-нижнеберриасские мраморизованные известняки, налегающие с угловым и стратиграфическим несогласием на конгломераты оксфорда (пункты 15—16).

Тектоническая ситуация на этом участке подробно описана в работе [Вольфман и др., 2008]. Большинство (59 %) перемещений представляет собой правые сдвиги субмеридионального простирания, сформированные в поле сдвигового типа при северо-западной ориентировке оси сжатия 218/25 (рис. 3, д). Это соответствует полю напряжений, определенному для субмеридиональной системы по эшелонированному рисунку линеаментов.

Третья группа обнажений расположена в верхнеюрских мраморовидных известняках Кадыковского карьера в зоне влияния Крымско-Кавказского разлома, где выделены крупные линеаменты северо-восточной ориентировки. Большинство перемещений здесь происходило в поле субмеридионального субгоризонтального растяжения по крутопадающим разрывам северо-восточной ориентировки. Кинематический тип перемещения — правый сдвиг (рис. 3, г).

Таким образом, полученные результаты позволяют составить возрастную шкалу деформаций Гераклеийского полуострова (таблица). Древнейшие отложения, в которых производились измерения, — вулканогенные породы средней юры, поэтому восстановленный в исследуемом районе наиболее ранний возраст деформаций относится к концу этого периода. Верхний возрастной уровень деформаций — настоящее время. Учитывая относительно небольшие размеры Гераклеийского полуострова, установленные поля напряжений могут быть отнесены ко всему блоку. Исключение, возможно, составляет лишь фаза 10, полученная при изучении береговых обрывов мыса Фиолент, которая отражает процессы гравитационной тектоники в прибрежной зоне.

Представляет интерес сопоставление полученных данных с результатами изучения поля аномалий силы тяжести Горного Крыма по материалам детальной гравиметрической съемки [Ентин и др., 2010].

Гераклеийскому блоку соответствует крайняя (на суше) западная часть Крымского гравитационного максимума первого порядка, на фоне которой выделяются две аномалии второго порядка — локальный максимум +10 мГал в южной части Гераклеийского полуострова и локальный минимум – 8 мГал в северной (рис. 4). Природа локального минимума, центральная часть которого располагается в пределах Чернореченской зоны разломов на северной границе Гераклеийского блока, объясняется наличием здесь грабеноподобной структуры, заполненной верхнемеловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными осадками. Подстилающие образования карадагской свиты и таврической серии опущены на 1—1,5 км. Это согласуется с фазами растяжения 8 и 9, установленными по наблюдениям трещиноватости в породах палеогена и неогена.

Локальный максимум интенсивностью +10 мГал не может быть объяснен выходящими на поверхность и скрытыми под неогеновыми осадками породами карадагской свиты,

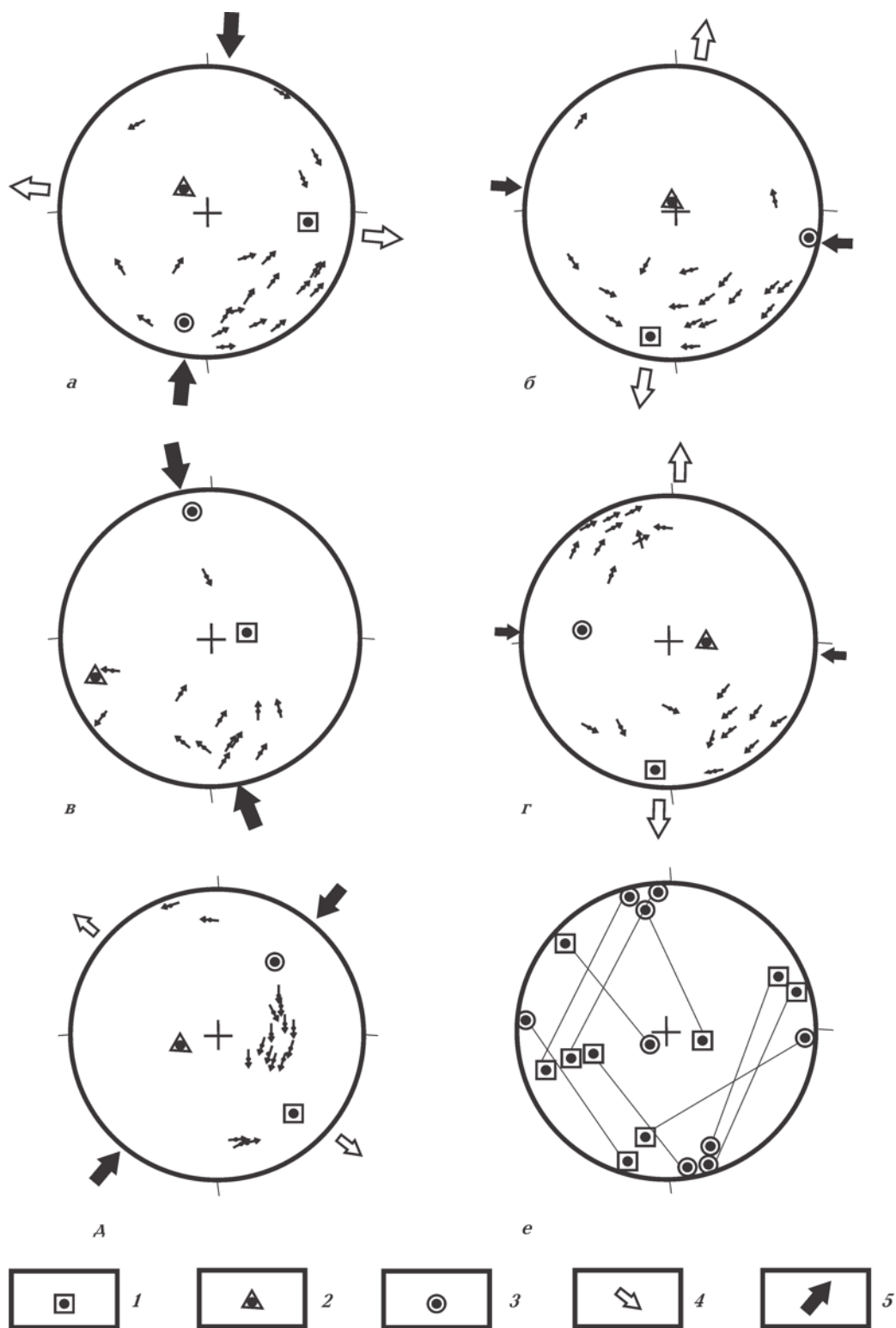


Рис. 3. Стереограмма векторов и осей главных нормальных напряжений (верхняя полусфера, равноугольная проекция) для зеркал скольжения (а—д) и структурных парагенезисов (е) в породах Гераклеийского полуострова: 1 — ось растяжения; 2 — промежуточная ось; 3 — ось сжатия; 4, 5 — проекции осей на горизонтальную плоскость (4 — ось растяжения; 5 — ось сжатия). Пункты наблюдения: а, б — 14; в — 11—14; г — 17; д — 15, 16.

Таблица. Основные этапы и фазы деформаций во время становления и развития Гераклейского полуострова

Номер пункта	Этап	Фаза	Оси напряжений		Характер сил	Деформационный режим	Возраст
			σ_1	σ_3			
1	I	1	Вертикальная	315/0	Растяжение	Сброс	J ₂
2	I	2	80/0—280/0*	350/0—10 0	Растяжение	Транстенсия (правый сдвиг)**	J ₂
3	I	3	350/0—10/0	80/0—280/0	Сжатие	Транспрессия (левый сдвиг)	J ₂
4	II	4	160/0—170/0	Вертикальная	Сжатие	Взброс	K ₁
5	III	5	218/25	315/01	Растяжение	Транстенсия (правый сдвиг)	K ₂ —P
6	IV	6	11/15	275/20	Сжатие	Транспрессия (левый сдвиг)	N ₁ —Q
7	IV	7	280/03	10/09	Растяжение	Транстенсия (правый сдвиг)	N ₁ —Q
8	IV	8	Субширотная	Субмеридиональная	Растяжение	Транстенсия (правый сдвиг)	N ₁ —Q
9	V	9	300/0—320/0	20/0—30/0	Растяжение	Транстенсия (правый сдвиг)	Q
10	VI	10	Вертикальная	70/0—280/0	Растяжение	Сброс	Современный

Примечания. *В числителе — азимут восстания, град; в знаменателе — угол восстания, град. **Направление сдвига во всех фазах указано по отношению к северо-восточной Георгиевской зоне разломов, кроме фазы 5, в которой направление сдвига рассматривается по отношению к субмеридиональным разрывам.

плотность которых составляет 2,40—2,64 г/см³ [Державна ..., 2005]. Поэтому в южной прибрежной части Гераклейского полуострова необходимо предполагать наличие на глубине апикального выступа пород таврической серии и интрузивных пород основного состава, как и показывает гравитационное моделирование, выполненное в работе [Ентин и др., 2010]. Учитывая, что подъем Крымских гор продолжается весь неоген-четвертичный период, можно предположить, что образование апикального выступа продолжается и в настоящее время.

Однако экструзия пород основного состава с глубин базальтового слоя, скорее всего, может быть связана с выжиманием их под воздействием на Крымский полуостров движущейся с юга Западно-Черноморской плиты [Казьмин, Тихонова, 2006], т. е. с напряжениями сжатия. Тектонофизические же исследования указывают, что от неогена до современности на Гераклейском полуострове, кроме напряжений субмеридионального сжатия, широко распространены напряжения субмеридионального растяжения (фазы 8—10). Разрешение этого вопроса видится таким образом, что на глубине, в зоне конвергенции плит, существуют силы сжатия, которые, вероятно, действуют импульсивно. Затем на поверхности, доступной

изучению, возникают силы растяжения, вызванные подъемом и «расползанием» Крымского поднятия. И такие циклы сжатия — растяжения постоянно чередуются.

Выводы. На основании проведенных исследований — анализа космоснимков, 3D рельефа, полевых тектонофизических наблюдений, реконструкции полей напряжений на ЭВМ — можно отметить следующее.

1. Результаты, полученные разными методами, хорошо согласуются и дополняют друг друга. Выделенные системы линейных элементов имеют тектоническую природу, что подтвердилось изучением обнажений горных пород.

2. Подавляющее большинство тектонических разрывов слабодислоцированных пород верхнего структурного яруса характеризуется весьма крутыми, близкими к вертикальным, углами наклона. В пределах участка преобладают крутопадающие нарушения северо-западной ориентировки. Присутствуют также северо-западной и субмеридиональные нарушения. Субширотные структуры развиты в меньшей мере. Большая часть трещинных структур, изученных в пределах дислоцированных образований средней и верхней юры, также являются крутопадающими или перпендикулярными по отношению к напластованию. При этом име-

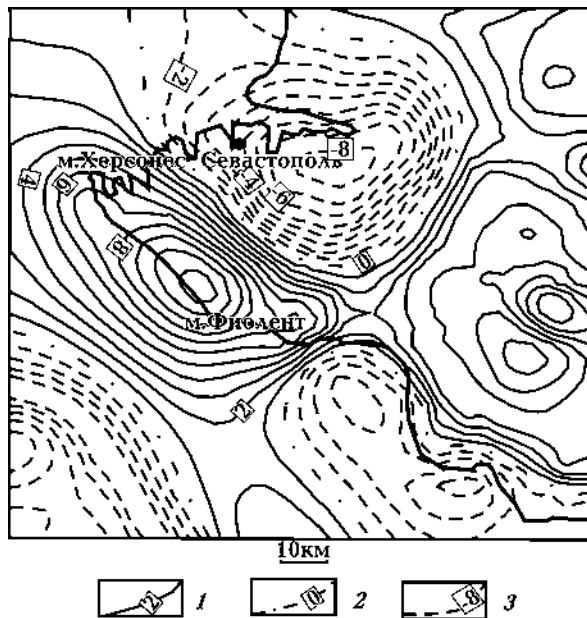


Рис. 4. Карта локальных аномалий δg_a юго-западной части Горного Крыма, по [Ентин и др., 2010]. Изолинии δg_a в мГал: 1 — положительные, 2 — нулевые, 3 — отрицательные.

ется некоторое количество наклонных северо-восточных разрывов с падением 40—60°.

3. Гераклеийский тектономагматический блок, находящийся в зоне сочленения Скифской плиты и Горно-Крымского сооружения, испытывал на протяжении от среднеюрского времени до современности несколько этапов и режимов тектонических деформаций. Это режим растяжения в период вулканической деятельности (средняя юра), горизонтального сжатия перед отложением меловых пород, сдвиговые режи-

мы в условиях действующего как сжатия, так и растяжения, сбросовый режим.

4. Большинство восстановленных полей напряжений являются сдвиговыми при субгоризонтальном положении осей главных нормальных напряжений, но в период деформирования нижнего структурного яруса по северо-восточным разрывам, падающим на юго-восток, происходили взбросовые и надвиговые подвижки с перемещением материала с юго-юго-востока на северо-северо-запад.

5. В постнеогеновом периоде доминирует сдвиговое поле реверсного характера при чередовании субгоризонтального субмеридионального сжатия и субмеридионального растяжения.

6. Широко развиты сбросовые подвижки по разноориентированным разрывам. Часть из них сформирована в поле субмеридионального субгоризонтального растяжения при субширотном положении оси сжатия, а часть связана с современными оползневыми процессами и их ориентировка связана с ориентировкой берегового обрыва.

7. Поля напряжений и деформационные режимы, определенные по структурам, развитым в приповерхностных горизонтах, отражают тектонические процессы, происходившие и происходящие в верхней части земной коры региона. Для более глубоких частей литосферы характерно преобладание сил субмеридионального сжатия (при реверсном типе движений), что доказывается данными гравиметрии и неотектоники. Вместе с тем вывод о приповерхностном характере определенных полей напряжений относится только к напряжениям растяжения, зафиксированным для кайнозоя.

Список литературы

- Беличенко П. В., Муровская А. В. Соотношение процессов разрушения и подвижек по ранее сформированным разрывам и обратная задача тектонофизики // Докл. АН УССР. Сер. Б. — 1990. — № 9. — С. 3—5.
- Борисенко А. С., Плахотный Л. Г. Геодинамика Крымско-Черноморского региона как следствие многоуровневого тектогенеза // Геодинамика Крымско-Черноморского региона: Сб. матер. конф. — Симферополь. — 1997. — С. 54—64.
- Борисенко А. С., Шкурко В. П., Сторчак Н. П. Отчет о комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:25000 юго-западной части горного Крыма и прилегающих акваторий для целей сейсмического микрорайонирования листов L-36-127-Б-в, ..., L-36-117-Г-г (Крымская область): В 4 т. — Симферополь, 1976.
- Верховцев В. Г. Новейшие платформенные геоструктуры Украины и динамика их развития: Дис. ... д-ра геол. наук. — Киев, 2007. — 373 с.
- Вольфман Ю. М., Гинтов О. Б., Останин А. М., Колесникова Е. Я., Муровская А. В. О роли структурно-кинематической идентификации тектонических разрывных нарушений в формировании представлений о структуре и геодинамике Крымского региона // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 1. — С. 49—61.

- Геологическая карта* / Гл. ред. Н. Е. Дернюк, сост. Пивоваров С. В. — 1:200000. — Киев: Изд. МинГео УССР, 1984. 1 л.
- Герасимов М. С., Бондарчук Г. К., Скорик А. А., Кольцов С. В.* Тектонічна карта півдня України з позицій актуалістичної геодинаміки // Геодинамика, сейсмичность и нефтегазоносность Черноморско-Каспийского региона: Сб. докл. на VI Междунар. конф. «Крым-2005». — Симферополь: Доля, 2006. — С. 11—40.
- Гинтов О. Б.* Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 572 с.
- Гинтов О. Б., Муровская А. В.* Проблемы динамики земной коры Крымского полуострова в мезокайнозойе (тектонофизический аспект). 1-2 // Геофиз. журн. — 2000. — 22, № 2. — С. 39—60; № 3. — С. 36—49.
- Державна геологічна карта України. Кримська серія. Група аркушів L-36-XXVIII (Євпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь).* — 1:200 000. — Київ: Изд. УкрДГРІ, 2005.
- Ентин В. А., Гинтов О. Б., Гуськов С. И.* Еще раз о природе Крымской гравитационной аномалии // Геофиз. журн. — 2010. — 32, № 6. — С. 119—134.
- Казанцев Ю. В.* Тектоника Крыма. — Москва: Наука, 1982. — 112 с.
- Казьмин В. Г., Тихонова И. Ф.* Позднемезозойские — эоценовые окраинные моря в Черноморско-Каспийском регионе: палеотектонические реконструкции // Геотектоника. — 2006. — № 3. — С. 9—22.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П.* Инденторный механизм в геодинамике Крымско-Черноморского региона. — Киев: Изд-во ПП «ЕМКО», 2003. — 226 с.
- Сим Л. А.* Влияние новейшего тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Восточной Европы // М. В. Гзовский и развитие тектонофизики. — Москва: Наука, 2000. — С. 326—350.
- Тектонічна карта України та пояснювальна записка до неї / Ред. Д. С. Гурський, С. С. Круглов.* — 1:1 000 000. — Київ: Изд. УкрДГРІ, 2007.
- Югин В. В.* Гераклеяская антиклиналь юго-западного Крыма // Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона: Тез. докл. междунар. конф. «Крым-2002». — Симферополь: Доля, 2002. — С. 212—213.
- Delvaux D.* The TENSOR program for paleostress reconstruction: examples from the east African and the Baikal rift zones // Abstract suppl. № 1 to Terra Nova. — 1993. — 5. — P. 216.
- Delvaux D., Sperner B.* New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TeNSOR program // Geol. Soc., London, Spec. Publ. — 2003. — 212. — P. 75—100.