

УДК 551.24.03(477)

## Структурно-кинематические парагенезисы и деформационные режимы Гераклейского блока юго-западного Крыма

Муровская А. В.<sup>1\*</sup>, Щербаков Р. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина*

<sup>2</sup> *Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина*

Поступила в редакцию 07.07.10, принята к печати 15.10.10.

### Аннотация

Проведен анализ альтернативных моделей тектонического развития Горного Крыма. Исследована история и геологические условия формирования Гераклейского полуострова Горного Крыма. Изучены системы трещин, разрывных нарушений и линейментов, их структурно-кинематические парагенезисы в породах различного возраста. Выполнены реконструкции полей разновозрастных напряжений и деформаций, установлены их параметры. Изучены формы проявления разрывных дислокаций и их кинематические особенности. Исследована последовательность формирования деформаций в районе, механизм чередования циклов сжатия и растяжения.

Ключевые слова: гераклейский блок, Крым, трещины, линейменты, деформации, напряжения, реконструкция, возрастная шкала, тектоника.

Актуальность приводимых в настоящей статье данных связана с существованием нескольких альтернативных моделей тектонического развития Горного Крыма, что во многом обусловлено недостаточной изученностью деформационных элементов, и, прежде всего методами тектонофизики. В районе исследований 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 геодинамики Горного Крыма.

Географически изучаемая территория находится в пределах Гераклейского полуострова в крайней юго-западной части Горного Крыма и представляет собой обособленный, вулканотектонический блок. С юго-востока он ограничен Георгиевской зоной разломов, активной в позднеальпийский этап. К северо-западу от разлома из разреза полностью выпадают верхнеюрские породы. А в юго-восточном крыле зоны отсутствуют палеоген-четвертичные отложения. С северо-востока Гераклейский блок ограничен раннекиммерийской Чернореченской зоной разломов глубокого заложения. В целом весь блок находится в шовной зоне сочленения Скифской плиты и Горного Крыма.

На раннекиммерийском этапе здесь развивалась обособленная вулканотектоническая структура первого порядка в пределах киммерийского Горно-Крымского складчатого сооружения. Она представлена гераклейским субвулканическим комплексом среднеюрской спилит-кератофировой формации. Отложения верхнего этажа имеют моноклиальное залегание и представлены. В раннеальпийское время Гераклейский блок был западной частью Канаринской вулканотектонической зоны, выполненной вулканогенно-терригенной формацией нижнего мела. Отложения верхнеальпийского яруса представлены терригенно-карбонатным комплексом среднего и верхнего миоцена. На новейшем этапе блок развивался обособленно. Поэтому отложения плиоцен-антропогена здесь полностью денудированы.

\* Для переписки: [murovskaya@gmail.com](mailto:murovskaya@gmail.com)

Разломно-блоковое строение региона и преобладание вертикальных перемещений по крутопадающим разломам постулируется традиционной фиксистской концепцией. В частности, Георгиевскую зону разломов Л. С. Борисенко и Л. Г. Плахотный описывают как сброс [2]. Такого же мнения ранее придерживался С. В. Пивоваров (1984). Мобилистские концепции зачастую противоречат друг другу и не вполне обоснованы фактами. Так, согласно представлениям В. В. Юдина и О. М. Герасимова [12], структура Крыма определяется сутурными зонами разного возраста, и крупномасштабными горизонтальными перемещениями с юга. С. С. Круглов (2004) рассматривает тектоническое развитие Горного Крыма как покровно-шарьяжной структуры. Покровно-шарьяжная концепция Ю. В. Казанцева [9] связывает тектоническое развитие Горного Крыма с крупномасштабным перемещением с севера на юг.

Для выявления разрывных дислокаций на участке исследований выполнен анализ геологических и тектонических карт и схем, обработка космических снимков (КС) и карт 3-D рельефа с использованием возможностей компьютерных программ пакета ГИС (Mapinfo, Stereo). При обработке КС и 3-D рельефа выделялся также класс структур – мегатрещин, отражающих внутреннюю структуру разломных зон [11]. При интерпретации данных дистанционных исследований использовались общепринятые приемы дешифрирования КС [3]. При исследовании разрывных структур в обнажениях горных пород использовались методы тектонофизики и структурной геологии. При выполнении исследований разрывных дислокаций особое внимание уделялось признакам смещения по разлому предварительным установлением относительного возраста. Абсолютный возраст деформаций определялся с учетом геологических данных о геодинамике Крымско-Черноморского региона [5, 7, 8].

Для анализа деформаций и определения тензора напряжений использовались стандартные процедуры. Для интерпретации трещин без кинематических индикаторов применялся метод структурно-парагенетического анализа О. Б. Гинтова [6], для инверсии тектонических напряжений по хрупким трещинам со смещением использовалась программа TENSOR, разработанная Делво Д. и Шпернер Б. на основе метода правой дигетры и ротационной оптимизации [13]. Необходимость комплексирования структурно-парагенетического и кинематического методов обосновано в ранее опубликованных работах [1, 6].

В процессе исследований выполнялись массовые замеры трещиноватости. Массовые замеры трещиноватости и структурно-кинематических парагенезисов производились в основном в неогеновых (554 замера) и палеогеновых (232 замера) терригенно-карбонатных отложениях, т. к. здесь не были обнаружены сколы с бороздами или штрихами скольжения. Структурно-кинематические парагенезисы изучались также в вулканогенных отложениях средней юры (91 замер) и в мраморизованных известняках верхней юры (60 замеров). Линеаменты выделялись по космоснимкам и картам 3-D рельефа. Для сравнения использовалась и анализировалась карта линеаментов В. Г. Верховцева [3], по которой была построена роза-диаграмма их простираний.

В результате проведенных исследований установлено, что в неогене (преимущественно сарматские слоистые известняки) и палеогене (известняки, мергели инкерманского и качинского горизонтов) однозначно доминирует СЗ система субвертикальных трещин с азимутами простирания 300–320°. Анализ линеаментов показал, что СЗ простирание этих структур также преобладает в пределах неогеновых, палеогеновых и среднеюрских отложений (вулканиты карадагской свиты).

Тектонофизический анализ позволил выявить ряд интересных особенностей. Так по реконструкции поля напряжений установлено, что оси сжатия ( $\sigma_1$ ) и растяжения ( $\sigma_3$ ) ориентированы горизонтально, а плоскости трещин – субвертикально. Такое положение в пространстве осей указывает на сдвиговый режим деформирования. Установлено также, что ось сжатия занимает в пространстве как субмеридиональную, так и субширотную ориентировку. Эта особенность свидетельствует о реверсном характере процесса деформирования. При этом отмечается преобладание субмеридионального положения оси сжатия. В рисунке же линеаментов, выделенных по 3-D рельефу, зона СЗ простирания, проходящая вдоль береговой юго-западной линии полуострова, образует левый эшелон R-сколов и соответствует кинематике левого сдвига в поле горизонтального меридионального растяжения.

Вторая по распространенности система субвертикальных трещин имеет два преобладающих СВ направления – 20–30° и 40–50°. Она является сопряженной с СЗ системой и также сформирована в сдвиговых полях напряжений реверсного типа с субширотным и

субмеридиональным положением осей максимального сжатия. Линеаменты направления  $60^\circ$  образуют правый эшелон в районе Крымско-Кавказской зоны разломов.

Особый рисунок трещиноватости наблюдается в вулканитах средней юры мыса Фиолент в зоне Георгиевского разлома СВ простирания. Здесь доминирует СВ разрывы  $30-40^\circ$  и  $60-70^\circ$ . При этом трещины  $30-40^\circ$  преимущественно субвертикальные и являются сопряжёнными с субвертикальными же разрывами СЗ ориентировки, сформированными в сдвиговом поле меридионального растяжения и субширотного сжатия. В то же время нарушения простирания  $60-70^\circ$  падают на юго-восток под углами  $80-45^\circ$  и образуют структурные парагенезисы, указывающие на взбросовый характер деформации с горизонтальным положением оси сжатия (азимуту  $160-170^\circ$ ) и субвертикальным положением оси растяжения.

Третья по встречаемости – субмеридиональная система нарушений. В трещиноватости она проявлена довольно слабо при преобладающих направлениях  $350-0^\circ$  и  $10-30^\circ$ . Намного ярче и отчётливее она выражена в рельефе. Эта система контролирует многочисленные узкие бухты, глубоко врезанные в северное побережье Гераклеийского полуострова. Как правило, нарушения этой системы образуют правые эшелоны меридиональной ориентировки с R– сколами ориентировки  $15-25^\circ$ . Это свидетельствует о формировании её в поле СЗ растяжения и СВ сжатия.

Нужно 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. Последние доминируют на данном участке.

Обнажения с кинематическими индикаторами движений компактно расположены в трёх местах. Первая группа включает четыре обнажения в вулканитах средней юры (91 замер) в Георгиевской зоне разломов. На вулканитах со стратиграфическим и угловым несогласием залегают сарматские известняки. В магматических образованиях часто встречаются сколы СЗ простирания, которые прослеживаются и в неогеновых известняках (рис. 1). По сколам отмечаются жилки цеолитов, что указывает на формировании этих сколов в период вулканической деятельности. Деформации же неогеновых отложений связаны с активизацией разрывных дислокаций СЗ простирания в постнеогеновый этап.

В магматических образованиях встречена зона брекчирования, насыщенная карбонатами и цеолитами (рис. 2). Мощность зоны от 20 до 80 см. Простирание зоны брекчирования северо-восточное ( $45^\circ$ ) с крутым падением на СЗ ( $70-80^\circ$ ). Эта зона брекчирования смещает сколы СЗ простирания по типу левого сдвига. На зеркалах скольжения, ограничивающих зону, наблюдаются плохо выраженные штрихи, указывающие на сброс. Вероятно, дислокация закладывалась как сброс в юрское время в период вулканической деятельности. На это указывает признак высокой проницаемости зоны – насыщенность цемента брекчии цеолитами.

Магматические образования с северо-востока срезаются разрывом СЗ 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.

На участке в районе мыса Фиолент установлено четыре разновозрастных поля напряжений. Около 50% векторов соответствует сдвиговому полю с субмеридиональным положением оси сжатия  $11^\circ/15^\circ$  (11 – азимут падения, 15 – угол падения) и субширотным положением оси растяжения  $275^\circ/20^\circ$  (рис. 3а). Вторым по представительности является поле субмеридионального растяжения  $10^\circ/9^\circ$  при горизонтальном положении оси сжатия  $280/3$ , где действующей осью является ось растяжения (рис. 3б). В среднеюрских вулканитах присутствуют взбросовые и надвиговые смещения, соответствующие полю ССЗ сжатия  $350^\circ/10^\circ$  при субвертикальном положении оси растяжения (рис. 3в). Действующей является ось сжатия. Деформации в этом поле реализованы по сколам СВ ориентировки с падением на юго-восток  $40-60^\circ$ . 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 пунктах наблюдения зафиксированы подвижки в сбросовом поле напряжений при горизонтальном положении оси растяжения и вертикальном – оси сжатия. Ориентировка действующей оси растяжения изменяется и связана с ориентировкой свободной поверхности берегового обрыва.

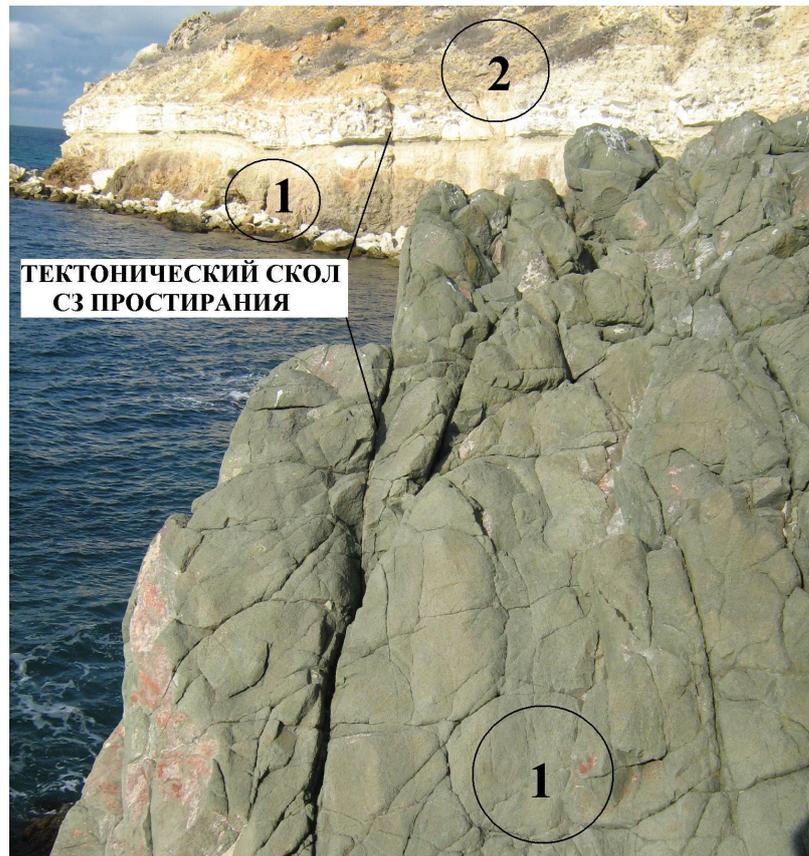


Рис. 1. Тектонический скол СЗ простирания, секущий вулканогенные образования средней юры (1) и осадочные неогеновые отложения (2)



Рис.2. Разрывное нарушение (1) в вулканитах средней юры (2), выраженное тектонической брекчией с карбонатными минералами и цеолитами в цементе брекчии

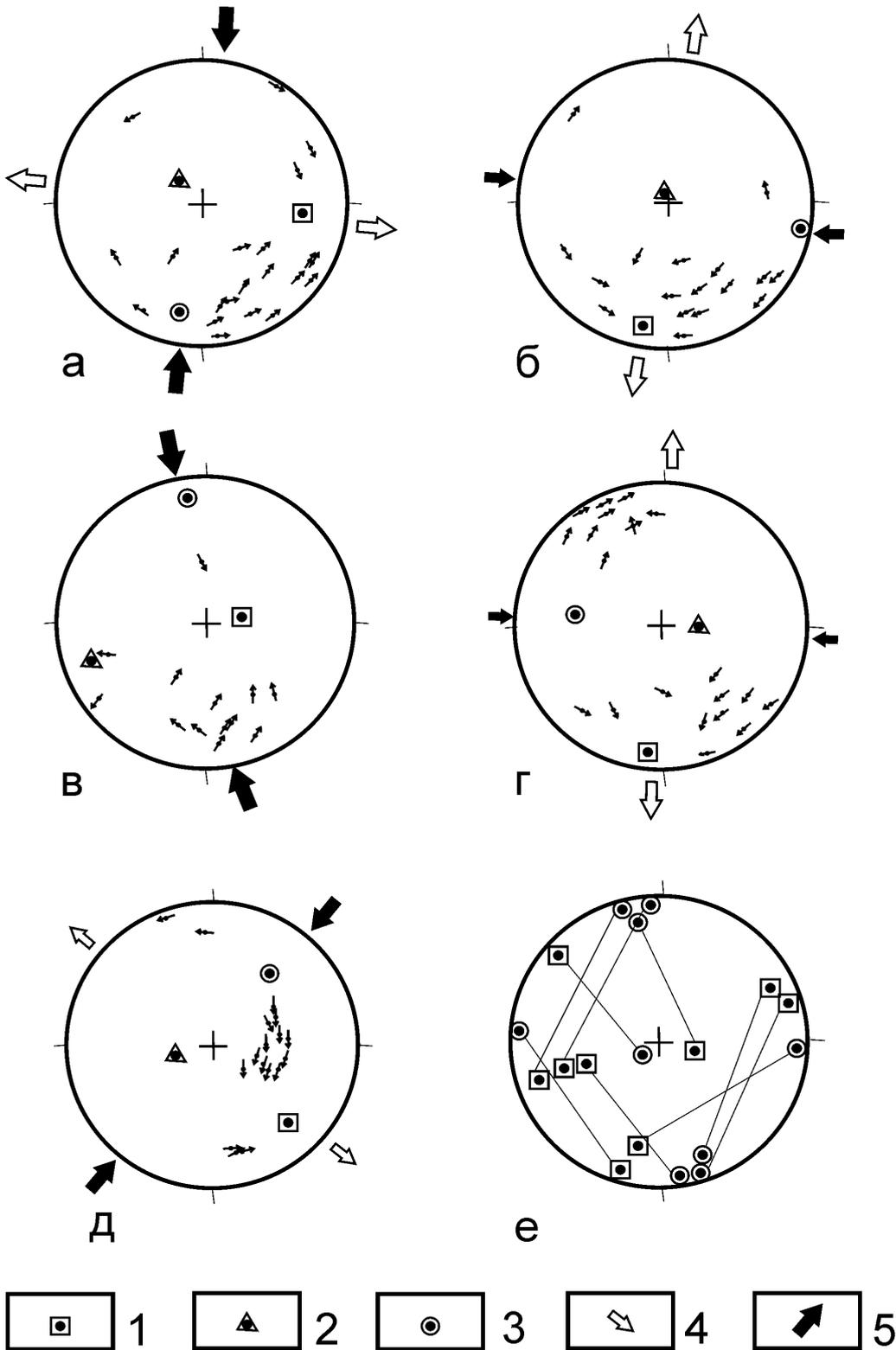


Рис. 3. Стереодиаграммы векторов и осей главных нормальных напряжений для зеркал скольжения по отдельным группам обнажений горных пород (а – д) и структурных парагенезисов (е) в породах Гераклейского полуострова

1 – ось растяжения; 2 – промежуточная ось; 3 – ось сжатия; 4 – 5 проекции осей на горизонтальную плоскость: 4 – ось растяжения 5 – ось сжатия

Вторая группа обнажений расположена на крайнем востоке изучаемого блока, в районе Мраморной балки, в восточном крыле Георгиевского разлома. Здесь обнажаются титон-нижеберриасские мраморизованные известняки, налегающие с угловым и стратиграфическим

несогласием на конгломераты оксфорда. Тектоническая ситуация на этом участке подробно описана Ю. М. Вольфманом [4]. Большинство (59%) перемещений представляет собой правые сдвиги субмеридионального простирания, сформированные в поле сдвигового типа при СВ ориентировке оси сжатия  $218^{\circ}/25^{\circ}$  (рис. 3д). Это соответствует полю напряжений, определённому 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 СВ ориентировки. Большинство перемещений здесь происходило в поле субгоризонтального растяжения по крутопадающим разрывам СВ ориентировки. Кинематический тип перемещения – правый сдвиг (рис. 3г).

Таким образом, полученные результаты позволяют составить возрастную шкалу деформаций Гераклейского полуострова (табл. 1).

Табл. 1. Основные этапы и фазы деформаций во время становления и развития Гераклейского полуострова юго-западного Крыма.

№ п. п.	Этап	Фаза	Ориентировка в пространстве осей напряжений		Характер сил	Деформационный режим	Возраст
			$\sigma_1$	$\sigma_3$			
1	I	1	вертикальная	$315^{\circ}/0^{\circ}$	растяжение	сброс	J <sub>2</sub>
2	I	2	$280^{\circ}/80^{\circ}$	$350^{\circ}/10^{\circ}$	растяжение	транстенсия (правый сдвиг)	J <sub>2</sub>
3	I	3	$350^{\circ}/10^{\circ}$	$280^{\circ}/80^{\circ}$	сжатие	транспрессия (левый сдвиг)	J <sub>2</sub>
4	II	4	$160^{\circ}$ – $170^{\circ}/0^{\circ}$	вертикальная	сжатие	взброс	K <sub>1</sub>
5	III	5	$218^{\circ}/25^{\circ}$	$315^{\circ}/1^{\circ}$	растяжение	транстенсия (правый сдвиг)	K <sub>2</sub> -P
6	III	6	$11^{\circ}/15^{\circ}$	$275^{\circ}/20^{\circ}$	сжатие	транспрессия (левый сдвиг)	N <sub>1</sub> -Q
7	IV	7	$280^{\circ}/3^{\circ}$	$10^{\circ}/9^{\circ}$	растяжение	транстенсия (правый сдвиг)	N <sub>1</sub> -Q
8	III	8	субширотная	субмеридиональная	растяжение	транстенсия (правый сдвиг)	N <sub>1</sub> -Q
9	V	9	$300^{\circ}$ – $320^{\circ}/0^{\circ}$	$20^{\circ}$ – $30^{\circ}/0^{\circ}$	растяжение	транстенсия (правый сдвиг)	Q
10	VI	10	вертикальная	от СЗ до СВ	растяжение	сброс	Современный

Примечания: 1) направление сдвига во всех фазах (кроме фазы 5) указано по отношению к Георгиевской зоне разломов СВ простирания; 2) для фазы 5 направление сдвига рассматривается по отношению к субмеридиональным разрывам; 3)  $280^{\circ}/3^{\circ}$  – элементы залегания:  $280^{\circ}$  – азимут падения,  $3^{\circ}$  – угол падения.

В соответствии с современными представлениями о тектонике Черноморского региона и палинспастическими реконструкциями [8], Крымский полуостров в позднеальпийский этап находится в поле напряжений сжатия под влиянием надвигающихся с юга Западно-Черноморской и Восточно-Черноморских плит. Тектонофизические же исследования указывают, что от неогена до современности на Гераклейском полуострове кроме напряжений субмеридионального сжатия широко распространены напряжения субмеридионального растяжения. Разрешение этого вопроса видится таким образом, что на глубине в зоне конвергенции плит существуют силы сжатия, которые, вероятно, действуют импульсивно. По результатам наших исследований следует, что на поверхности, доступной изучению, возникают силы растяжения, вызванные подъемом и

«расползанием» Крымского поднятия. Такие циклы сжатия – растяжения постоянно чередуются во времени и пространстве.

### Библиографический список

1. Беличенко, П. В. Соотношение процессов разрушения и подвижек по ранее сформированным разрывам и обратная задача тектонофизики / П. В. Беличенко, А. В. Муровская // ДАН УССР. Сер. Б. – 1990. – № 9. – С. 3–5.
2. Борисенко, Л. С. Геодинамика Крымско-Черноморского региона как следствие многоуровневого тектогенеза / Л. С. Борисенко, Л. Г. Плахотный // Геодинамика Крымско-Черноморского региона: Сб. материалов конф. – Симферополь, 1997. – С. 54–64.
3. Верховцев, В. Г. Новейшие платформенные геоструктуры Украины и динамика их развития: дис. на соискание учёной степени доктора геологических наук: 04.00.0: защищена 18.04.08 / Верховцев Валентин Геннадиевич. – Киев, 2008. – 373 с.
4. Вольфман, Ю. М. О роли структурно-кинематической идентификации тектонических разрывных нарушений в формировании представлений о структуре и геодинамике Крымского региона / Ю. М. Вольфман, О. Б. Гинтов, А. М. Останин и др. // Геофиз. журнал. – 2008. – Т. 30, №1 – С. 49–61.
5. Геологическая карта Горного Крыма масштаба 1:200 000 А. М. / С. В. Пивоваров; под редакцией Деренюка Н. Е. – Симферополь. – 1984.
6. Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О. Б. Гинтов. – К.: Феникс, 2005. – 572 с.
7. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Кримська серія. Група аркушів L-36-XXVIII (Свпаторія), L-36-XXXIV (Севастополь). – Киев.– 2005.
8. Казьмин, В. Г. Позднемезозойские – эоценовые окраинные моря в Черноморско-Каспийском регионе: палеотектонические реконструкции / В. Г. Казьмин, И. Ф. Тихонова // Геотектоника. – 2006. – № 3. – С. 9–22.
9. Казанцев, Ю. В. Тектоника Крыма / Ю. В. Казанцев. – М.: Наука, 1982. – 112 с.
10. Попадюк, И. В. Крымский ороген: покровная интерпретация / И. В. Попадюк, С. Е. Смирнов // Геодинамика Крымско-Черноморского региона: Сб. материалов конф. – Симферополь, 1997. – С. 27–30.
11. Сим, Л. А. Влияние новейшего тектогенеза на новейшее напряжённое состояние платформ Восточной Европы / Л. А. Сим // М. В. Гзовский и развитие тектонофизики. – М.: Наука, 2000. – С. 326–348.
12. Юдин, В. В. Гераклеяская антиклиналь юго-западного Крыма / В. В. Юдин // Геодинамика и нефтегазоносные структуры Черноморско-Каспийского региона. – Симферополь, 2002. – С. 212–213.
13. Delvaux, D. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TeNSOR program / D. Delvaux, B. Sperner // Geological Society, London, Special Publications. – 2003. – 212. – P. 75–100.

© Муровская А. В., Щербаков Р. Н., 2011.

### Анотація

Проведений аналіз альтернативних моделей тектонічного розвитку Горного Криму. Досліджена історія і геологічні умови формування Гераклеяського півострову Горного Криму. Вивчені системи тріщин, розривних порушень і лінементів, їх структурно-кінематичні парагенезиси в породах різного віку. Виконані реконструкції полів різновікових напружень і деформацій, встановлені їх параметри. Вивчені форми прояву розривних дислокацій та їх кінематичні особливості. Досліджена послідовність формування деформацій в районі, механізм зміни циклів стиснення та розтягання.

Ключові слова: гераклеяський блок, Крим, тріщини, лінементи, деформації, напруження, реконструкція, вікова шкала, тектоніка.

### Abstract

The analysis of alternative models of tectonic development of Mountain Crimea is conducted. History and geological conditions of forming of Gerakleyskogo of peninsula of Mountain Crimea is investigational. The systems of cracks, break violations and lineaments and their structural paragenesises in the rocks of different age are studied. The reconstructions of the fields of tensions and deformations of different age are executed, their parameters are set. The forms of display of rupture dislocations and their kinematics features are studied. The sequence of forming of deformations is investigational in a district, mechanism of alternation of cycles of compression and tension are set.

Keywords: gerakleyskiy block, Crimea, cracks, lineaments, deformations, tensions, reconstruction, age-dependent scale, tectonics.