

# Последовательность полей напряжений и возраст складчатости Восточного Горного Крыма (по данным кинематического анализа с учетом вращения слоев)

© *В. В. Гончар, 2013*

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 19 сентября 2012 г.

*Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым*

Виконано поділ полів напруження, реконструйованих у межах Східного Гірського Криму, за віком відносно процесів складкоутворення. Найранішими є поля скидів з північно-східними і північно-західними орієнтуваннями осей розтягу. Установлено, що доскладчастими є поля підкидо-зсувного типу з північно-східним і західно-північно-західним орієнтуванням осей стискання. Відповідальним за формування завершальної складчатості Судаксько-Карадазької зони і післяскладчастого колізійного стиснення Східного Гірського Криму визначено поле субмеридіонального північно-західного стискання, реалізоване у зв'язку з процесами аравійської колізії.

Discrimination of stress fields by age of folding processes is made for East Crimea Mountains. Stress fields of horizontal extension with north-east and north-west orientations of elongation axes are recognized as the most ancient. Stress fields of compression and strike-slip types with axes oriented in north-east and west-north-west are most possibly considered as pre-folded ones. The youngest and responsible for the final folding of the Sudak-Kara-Dag zone and post-folding collision compression of East Crimea Mountains is a field of sub-longitudinal north-west compression realized in relation to processes of Arabian collision.

В ходе предшествующих исследований было установлено и многократно подтверждено принципиальное различие доминирующих полей напряжений в восточной и западной частях Горного Крыма [Saintot et al., 1999; Гинтов, Муровская, 2000; Гончар, 2003; Паталаха и др., 2003; Гинтов, 2005]. Действие преобладающего в восточной половине субмеридионального сжатия ограничено примерно на меридиане Алушты областью Главной гряды, где преимущественным развитием пользуются обстановки растяжения и сдвига. Этот факт позволил связать новейший деформационный процесс Горного Крыма с локализованным инденторным воздействием Восточно-Черноморской микроплиты, движение которой к северу, в свою очередь, является производным аравийской коллизии [Saintot et al., 1999; Гончар, 2003; Паталаха и др., 2003]. Необходима дальнейшая корреляция этапов деформаций Горного Крыма с тектоническими процессами в Черноморском регионе, поэтому решения требует проблема выяснения возрастных взаимоотношений между реконструируемыми наложенными

полями. Ограниченный стратиграфический диапазон пород горнокрымской серии допускает в основном относительное возрастное датирование. В данном сообщении представлен опыт восстановления истории деформирования Восточного Горного Крыма (ВГК) на основании разделения хрупких деформаций на до- и послескладчатые. Этот прием используется как в отношении парагенезисов сколовых трещин [Гинтов, 2005], так и кинематических данных [Saintot et al., 1999, 2002; Navabrou et al., 2007].

Применяемая методика реконструкции наложенных полей напряжений развита в рамках кинематического подхода [Гущенко, 1979]. Основу в ней составляет анализ вероятностных стереограмм (ВС), отражающих историю деформирования посредством рассчитываемых максимумов вероятности осей главных нормальных напряжений [Гончар, 1997; Паталаха и др., 2003]. Совместное рассмотрение на ВС получаемых максимумов осей и элементов наклона слоев, а также предположение о горизонтальном положении одной или двух глав-

ных осей в период действия поля позволяют выстроить относительную временную последовательность полей напряжений и складчатости. Горизонтальные оси отражают более поздние деформации по отношению к складкообразу-

ющим движениям, а совпадение наклонных осей с плоскостью напластования — аргумент в пользу того, что соответствующая хрупкая деформация происходила при горизонтальном положении слоев в доскладчатом состоянии.

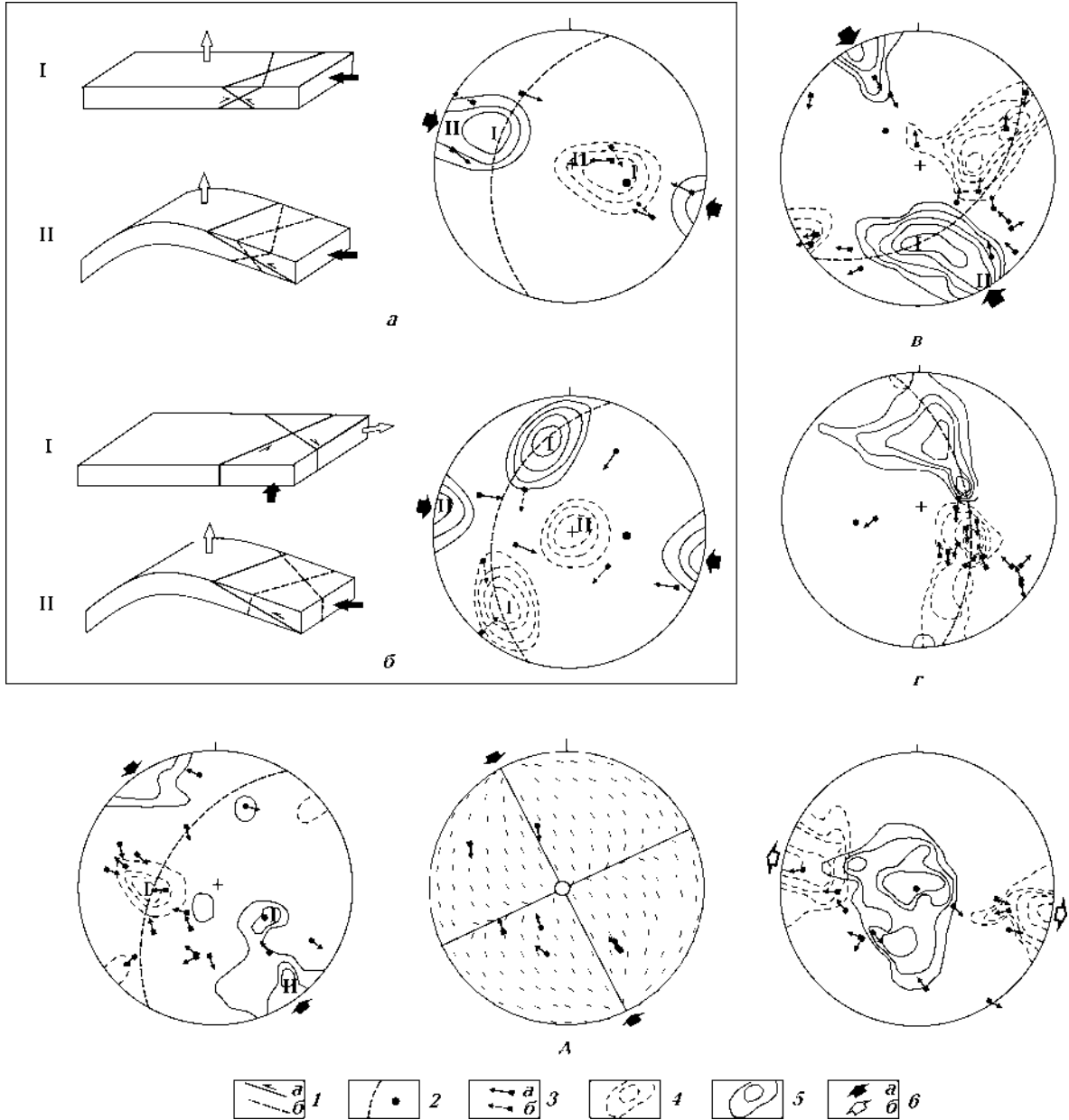


Рис. 1. Принципы разделения до- и послескладчатых хрупких деформаций на основе кинематических ВС: *a—б* — слева показаны схемы последовательного развития разломной деформации и складчатости: доскладчатое (I) и послескладчатое (II) хрупкое деформирование при унаследованном развитии взбросового поля (*a*) и смене сдвигового поля и взбросовым (*б*); справа — результирующие ВС; *в—д* — примеры натуральных ВС Восточного Горного Крыма с различным проявлением до- и послескладчатых полей напряжений (комментарии в тексте); 1 — разломы активные (*a*) и «запечатанные» (*б*) доскладчатого этапа; 2 — плоскость (дуга большого круга) и полюс напластования; 3 — кинематические векторы разломных смещений (послескладчатые (*a*) и доскладчатые (*б*), на рис. 1, *a* и *б*, на остальных ВС не различаются); 4—5 — изолинии относительного параметра вероятности положения оси растяжения (4) и сжатия (5); 6 — направления действия осей максимального сжатия (*a*) и растяжения (*б*).

Возвращение смещений в исходное состояние и расчет обратно повернутой ВС дает ориентировку осей доскладчатого поля напряжений.

Рассмотрим принципиальные черты кинематических ВС, отражающих до- и после-складчатые деформации с унаследованным и переменным характером полей напряжений. Пусть до складчатого изгиба слоев, во время и после него действовало устойчивое поле горизонтального сжатия (рис. 1, а). Тогда по мере вращения крыльев складки разрывы предыдущей фазы сжатия «запечатываются», сохраняя неизменными углы с поверхностью напластования. Существенно то, что в результате может происходить перемена типов подвижек части разломов: за счет пассивного вращения взбросы могут формально становиться «сбросами» (и наоборот). На ВС, дополненной элементами залегания слоев — траекторией плоскости слоистости и ее полюсом, можно ожидать растянутый в направлении вращения максимум оси сжатия, захватывающий как горизонт, так и траекторию большого круга (напластования). Максимум оси растяжения соответственно охватит местоположение полюса слоистости и центр стереограммы. ВС подобного типа как бы интегрируют процесс разломно-складчатого деформирования: часть смещений соответствует этапу доскладчатого горизонтального сокращения, часть — завершающему после-складчатому сжатию. Возможно также присутствие разрывов, формировавшихся в процессе вращения крыльев складки. В случае доскладчатой обстановки сдвигового типа два разноименных максимума (осей сжатия и растяжения) окажутся в плоскости напластования на угловом расстоянии  $90^\circ$  (рис. 1, б). Стереограммы, отражающие непрерывность действия соскладчатого поля напряжений, на практике встречаются редко. Чаще соскладчатым (в широком смысле, генетически) может оказаться сжатие, зафиксированное формально как доскладчатое или после-складчатое. Такая неопределенность возникает в силу ограниченности данных, получаемых на обнажении, и неравномерности распределения хрупкой деформации. Вывод о соответствии того или иного поля напряжений и складчатости делается на основе совокупности признаков.

В связи с выделением вторичных наклонных положений осей, вызванных пассивным вращением разрывов в объеме вмещающих пород, необходимо отличать их от первоначально наклонных осей напряжений, достоверным признаком которых можно считать сочетание

с горизонтальным напластованием. Примером может служить поле напряжений Тиксинского антиклинория (Северное Верхоянье) [Гончар, 2004], где на больших пространствах фиксируется ось сжатия, наклоненная под углом  $40\text{--}50^\circ$  по отношению к субгоризонтальной слоистости. Как показал анализ фактических данных, признаки первоначально наклонных положений осей в пределах ВГК имеют ограниченное распространение, а совпадающие системы осей напряжений и напластования на ВС, напротив, являются скорее правилом, чем исключением. Примеры натуральных стереограмм ВГК, содержащих совпадающие системы осей и элементов залегания слоев, показаны на рис. 1, в—д. В первом случае демонстрируется унаследованное развитие поля северо-западного сжатия по отношению к складчатости (I — местоположение осей доскладчатого этапа, II — после-складчатого). Стереограмма на рис. 1, г содержит максимумы осей сжатия и растяжения, вытянутые вдоль дуги слоистости, что указывает на доскладчатое сдвиговое напряженное состояние. На рис. 1, д показано поэтапное выделение наложенных полей северо-западного сжатия и запад—северо-западного растяжения: первая стереограмма — наблюдаемая ВС — показывает положение максимумов двух полей; после выделения смещений, соответствующих позднему сжатию (вторая, модельная стереограмма), рассчитывается вторичная обратно повернутая ВС, характеризующая положение осей и векторов смещений в доскладчатом состоянии.

Данные по до- и после-складчатым деформациям обобщались с помощью диаграмм направлений главных осей (рис. 2). Группирование осей сжатия или растяжения по направлению можно рассматривать как указание на проявление некоторого регулярного поля напряжений. По этому признаку с учетом соотношения с поясом полюсов слоистости Судакско-Карадагской складчатой зоны определяется пять основных групп главных осей. Группы I и II характеризуют обстановки растяжения в северо-восточном и запад—северо-западном направлениях соответственно; III — V — обстановки сжатия и сдвига с направлениями осей сжатия в запад—северо-западном (III), северо-восточном (IV) и субмеридиональном северо-западном (V) направлениях.

Логично предположить, что с каждым этапом деформаций в пределах рассматриваемой территории будет происходить сокращение площадей с горизонтальным залеганием пород,

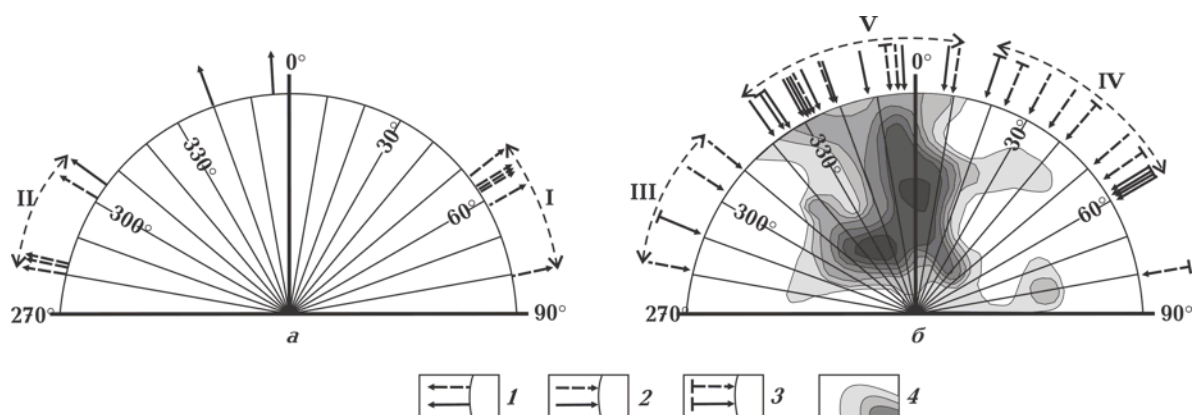


Рис. 2. Ориентировки осей растяжения и сжатия в сбросовых (а) и взбросовых, взбросо-сдвиговых и сдвиговых (б) полях напряжений ВГК; римскими цифрами обозначены выделяемые группы осей, соотносимые к региональным полям напряжений: 1—3 — оси сжатия тензоров сбросового и сбросо-сдвигового (1), взбросового, взбросо-сдвигового (2) и сдвигового (3) типов в доскладчатом (пунктир) и послескладчатом положении; 4 — изолинии плотности полюсов слоистости Судакско-Карадагской зоны линейной складчатости (в стереографической проекции на верхнюю полусферу).

что должно отразиться в последовательном уменьшении количества осей в доскладчатом выражении. С учетом этого для обоснованного установления относительной временной последовательности реконструированных полей напряжений для каждого поля рассчитывался индекс, определяемый соотношением осей в после- и доскладчатом выражении ( $N_{\text{post}}$  и  $N_{\text{pre}}$  соответственно):

$$i_{pp} = \frac{N_{\text{post}}}{N_{\text{pre}}}$$

Для более поздних полей будем иметь бóльшие значения  $i_{pp}$  и, наоборот, наименьшее, а в предельном случае — нулевое, значение индекса будет характеризовать наиболее древнее поле. Для выделенных групп индекс  $i_{pp}$  составляет: I — 0; II — 0,25; III — 0,33; IV — 0,83; V — 2,75.

Как следует из рис. 2, спектр направлений субмеридионального северо-западного сжатия группы V в целом не выходит за рамки пояса полюсов слоистости Судакско-Карадагской зоны, совпадая, таким образом, с выделяемым для нее сектором сжатия. Очевидно, эти оси сжимающих напряжений являются сингенетичными основной складчатости ВГК субширотного северо-восточного простирания. Соответствующие им обстановки наиболее часто регистрируются в пределах Судакско-Карадагской зоны линейной складчатости (что естественно), но они также проявлены к югу и северу от нее в пределах «синклиналиев» (рис. 3, а). Выделяем эту группу осей сжатия в региональное и с учетом максимальной величины  $i_{pp}$  — наиболее молодое — поле напряже-

ний, связанное с формированием завершающей складчатости ВГК.

Полю основного этапа складчатости противостоят спектры северо-восточных и запад—северо-западных ориентировок осей сжатия (группы III и IV), действие которых не соотносится с основной складчатостью и, согласно пониженным индексам  $i_{pp}$ , предшествовало ей. Весьма вероятно, что с ними связано формирование ранних пологих складок. Более поздними, по-видимому, являются направления северо-восточного сжатия. Соответствующие указанным полям тензоры напряжений распространены во всех трех зонах ВГК, но концентрируются также в пределах Судакско-Карадагской зоны (рис. 3, б—в). Таким образом, следует говорить о доскладчатых (относительно завершающей складчатости) полях северо-восточного и запад—северо-западного сжатия, которым отвечают взбросовые, взбросо-сдвиговые и сдвиговые типы тензоров напряжений.

Реконструируемые обстановки растяжения (сбросовые и сбросо-сдвиговые типы тензоров) распределены более-менее равномерно по исследуемой территории (см. рис. 3, г). На диаграмме направлений (см. рис. 2) намечаются два регулярных поля напряжений с северо-восточным и северо-западным направлениями растяжения. Согласно минимальным значениям индекса  $i_{pp}$ , они должны быть наиболее ранними, предшествовавшими этапам сжатия, по крайней мере — северо-восточному сжатию и этапу основной складчатости. Обстановки формально послескладчатого растяжения в субмеридиональном направлении локально

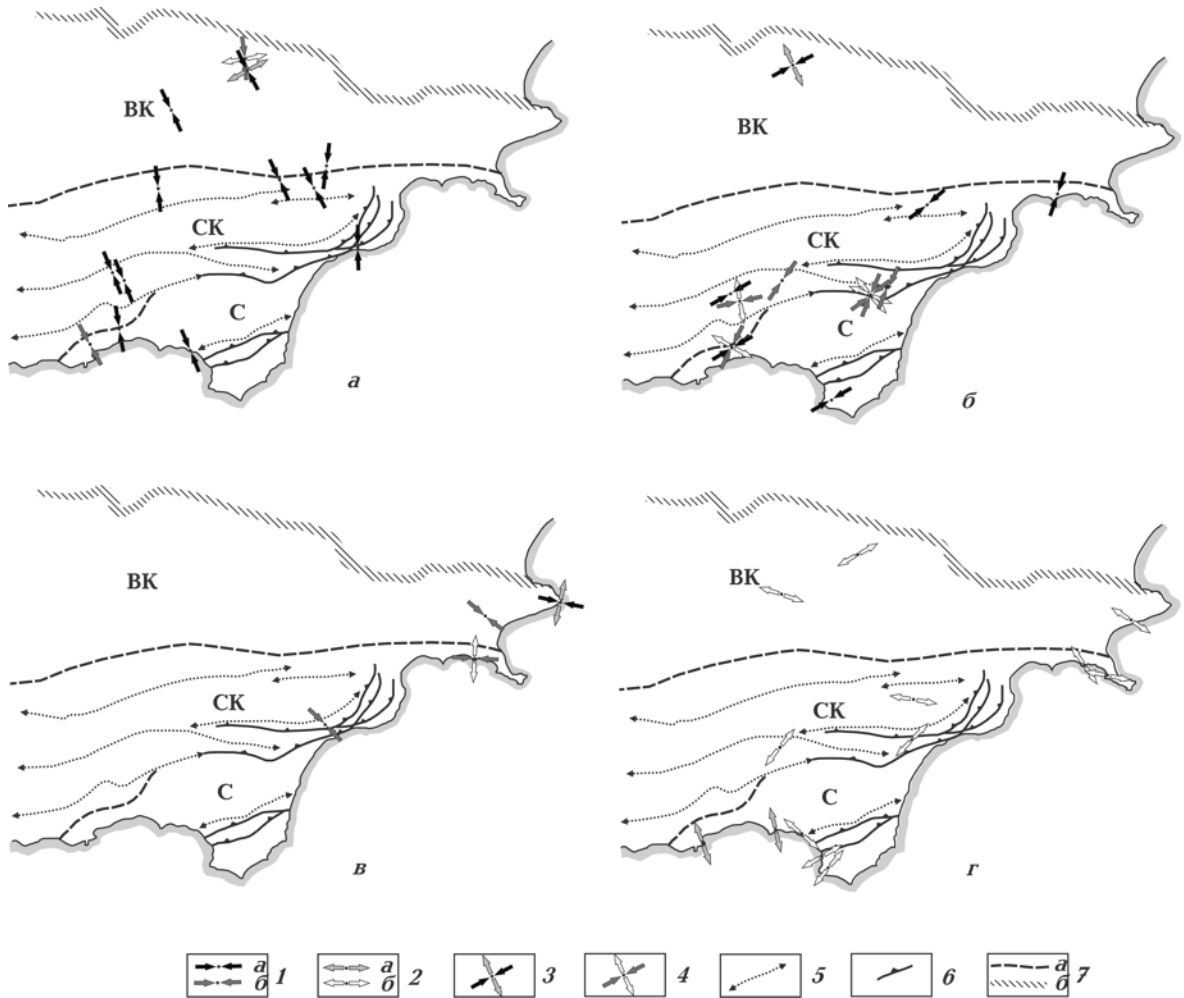


Рис. 3. Реконструированные поля напряжений Восточного Горного Крыма: *а* — поле субмеридионального — северо-западного сжатия, ответственное за формирование завершающей складчатости; *б–в* — доскладчатые поля северо-восточного (*б*) и запад—северо-западного (*в*) сжатия; *г* — поля растяжения. Тектоническая основа [Кизевальтер, Муратов, 1959]: ВК — Восточно-Крымский синклиорий, СК — Судакско-Карадагская складчато-надвиговая зона, С — Судакский синклиорий; 1–2 — ориентировки главных осей в обстановках взбросового, взбросо-сдвигового (1) и сбросового, сбросо-сдвигового (2) типов в послескладчатом (*а*) и доскладчатом (*б*) положениях; 3–4 — то же, в обстановках сдвигового типа в послескладчатом (3) и доскладчатом (4) положениях; 5 — простираение осей складок Судакско-Карадагской зоны; 6 — надвиги; 7 — границы (*а* — тектонических зон внутри ВГК, *б* — ВГК и Степного Крыма).

проявлены на побережье вблизи Судака и их отношение к основному складчатому событию остается неопределенным.

Поля напряжений ВГК и намеченная их временная последовательность во многом совпадают с этапностью деформаций северо-западной части Кавказа, описанной в работе [Saintot, Angelier, 2002]. Полученными данными подтверждаются также выводы [Бызова, 1980; Юдин, Клочко, 2001; Никишин и др., 2012] о позднем формировании основной, субширотной складчато-надвиговой структуры Восточного Горного Крыма. Время проявления доскладчатых полей напряжений

должно укладываться в интервал от раннего мела до позднего олигоцена, т. е. от конца периода накопления горнокрымского комплекса до начала аравийской коллизии, приведшей сначала к аккреции осадочного чехла (завершающей складчатости), а затем — к коллизии Восточно-Черноморской микроплиты с окраиной Восточно-Европейской платформы в условиях субмеридионального — северо-западного сжатия [Паталаха и др., 2003; Муровская, 2012]. Сбросовые поля с большой долей вероятности могут быть соотнесены к процессам задугового рифтогенеза, проявившимся в регионе на протяжении среднего мела — эоцена. После-

довавший за ними этап взбросо-сдвиговых деформаций в обстановке северо-восточного сжатия может быть связан с событиями, обу-

словившими региональное сжатие и закрытие Большекавказского бассейна в позднем эоцене—олигоцене [Никишин и др., 2012].

### Список литературы

- Бызова С. А. Некоторые вопросы тектоники Горного Крыма // Вест. Моск. ун-та. Сер. Геология. — 1980. — № 6. — С. 15—25.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. — Киев: Феникс, 2005. — 568 с.
- Гончар В. В. О природе «зон пологих дислокаций» Верхоянской складчатой области // Отечественная геология. — 2004. — № 2. — С. 63—69.
- Гинтов О. Б., Муровская А. В. Проблемы динамики земной коры Крымского полуострова в мезокайнозой (тектонофизический аспект) // Геофиз. журн. — 2000. — 27, № 2. — С. 39—60.
- Гончар В. В. Поле напряжений Горного Крыма и его геодинамическая интерпретация // Доп. НАН. — 2003. — № 3. — С. 97—104.
- Гончар В. В. Реконструкция напряженного состояния пород на базе количественной оценки кинематических данных // Изв. вузов. Геология и разведка. — 1997. — № 6. — С. 11—17.
- Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений // Поля напряжений и деформаций в литосфере. — Москва: Наука, 1979. — С. 7—25.
- Кизевальтер Д. С., Муратов М. В. Длительное развитие геосинклинальных складчатых структур восточной части Горного Крыма // Изв. АН СССР. Сер. Геология. — 1959. — № 5. — С. 16—34.
- Муровская А. В. Напряженно-деформированное состояние Западного Горного Крыма в олигоцен-четвертичное время по тектонофизическим данным // Геофиз. журн. — 2012. — 34, № 2. — С. 109—119.
- Никишин А. М., Ваньер М., Ершов А. В., Лаврищев В. А., Митюков А. В. Келловейско-современная история Крымско-Западнокавказско-Восточночерноморского региона // Осадочные бассейны и геологические предпосылки прогноза новых объектов, перспективных на нефть и газ. Матер. совещ. — Москва: Геос, 2012. — С. 314—319.
- Паталаха Е. И., Гончар В. В., Сенченков И. К., Червинко О. П. Инденторный механизм в геодинамике Крымско-Черноморского региона. — Киев, 2003. — 226 с.
- Югин В. В., Клочко А. А. Тектоника Восточного Крыма (Карадаг) // Сырьевые ресурсы Крыма и прилегающих акваторий (нефть и газ). — Симферополь, 2001. — С. 169—178.
- Navabrou P., Angelier J., Barrier E. Cenozoic post-collisional brittle tectonic history and stress reorientation in the High Zagros Belt (Iran, Fars Province) // Tectonophysics. — 2007. — 432. — P. 101—131.
- Saintot A., Angelier J. Tectonic paleostress fields and structural evolution of the NW-Caucasus fold-and-thrust belt from Late Cretaceous to Quaternary // Tectonophysics. — 2002. — 357. — P. 1—31.
- Saintot A., Angelier J., Chorowicz J. Mechanical significance of structural patterns identified by remote sensing studies: a multiscale analysis of tectonic structures in Crimea // Tectonophysics. — 1999. — 313. — P. 187—218.