

# Деформационные режимы и кинематические обстановки нового тектонического разрывообразования в пределах Горного Крыма. 1

© Ю. М. Вольфман, 2014

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 24 июня 2014 г.

Представлено членом редколлегии О. Б. Гинтовым

Будучи полевым геологом, я привык доверять своим глазам больше, чем чужим мнениям.

Харольд Велман<sup>2</sup>

На статистично репрезентативному тектонофізичному матеріалі показано, що тектонічне розривоформування в межах Гірського Криму характеризується широким спектром деформаційних режимів і кінематичних обстановок. Методологічно обґрунтовано способи побудови стереографічних моделей деформаційних режимів осереднення параметрів структурно-кінематичних парагенезисів тектонічних розривів і зміщень, сформованих у подібних умовах. Ці моделі адекватно відображують регіональні обстановки тектонічного розривоформування. Кількісне співвідношення дзеркал ковзання у складі парагенезисів, що складають основу відповідних моделей, характеризує ступінь впливу тих чи інших деформаційних режимів на процеси тектогенезу в регіоні. Наведено моделі та приклади зсувних, підкидо- і скидо-зсувних деформаційних режимів і описано їх.

**Ключові слова:** тектонічне розривоутворення, поля напружень, деформаційні режими, кінематичні обстановки, стереографічні моделі, зсуви, підкиди, скиди.

**Введение.** Тектонофизическое изучение особенностей тектонического разрывообразования в Горном Крыму имеет более чем тридцатилетнюю историю. Исследования были направлены на решение как фундаментальных, так и прикладных задач и включали:

- реконструкцию кинематических обстановок возникновения и активизации тектонических разрывов разных порядков и рангов;
- параметризацию и структурно-кинematicкую идентификацию разрывных (в том числе сейсмогенерирующих) зон;
- оценку влияния структурообразующих полей напряжений и тектонических разрывов на катастрофическое развитие геосистем разных иерархических уровней;
- изучение латеральных и временных трансформаций структурообразующих полей напряжений и т. п.

За это время был накоплен значительный

фактический материал, позволяющий решать тектонофизические задачи как методом структурных парагенезисов, так и кинематическим методом [Гинтов, 2005 и др.]. В разные годы весомый вклад в решение указанных проблем внесли сотрудники Института геофизики им. С. И. Субботина: Л. С. Борисенко, О. Б. Гинтов, А. В. Муровская, Н. Н. Новик, В. В. Гончар, Е. И. Паталаха и др., что нашло отражение в многочисленных публикациях [Новик, Вольфман, 1997; Борисенко и др., 1998; Гинтов, Муровская, 2000; Гончар, 2003; Гончар и др., 2004; Гинтов, 2005; Муровская, 2011 и др.]. Автор настоящей статьи также принимал непосредственное участие в решении некоторых из перечисленных задач [Вольфман, 2007, 2008, 2013а; Вольфман и др., 2008, 2012 и др.].

Последние два десятилетия тектонофизические исследования проводятся на фоне неослабевающих дискуссий относительно роли

<sup>2</sup> Харольд Велман (Harold Wellman) — новозеландский исследователь, доказавший сдвиговую природу Альпийской разломной зоны и обосновавший сдвиговый характер молодых деформаций во многих регионах мира ([images.geo.web.ru/~tevelev/start.htm](http://images.geo.web.ru/~tevelev/start.htm)).

тектонических разрывов тех или иных структурно-кинематических типов в строении Крымского региона [Дискуссия ..., 1997 и др.]. Положительным следствием этих дискуссий стала необходимость проведения системного анализа фактических данных, которые являются индикаторами условий разрывообразования в горных массивах и, соответственно, определяют особенности структурного рисунка региона.

**Основные используемые понятия и термины.** К категории наиболее информативных индикаторов условий тектонического разрывообразования относятся:

– *зеркала скольжения* на стенках тектонических разрывов, которые являются прямыми признаками относительно недавних перемещений горных массивов с однозначно определяемыми направлениями этих перемещений;

– *структурно-кинематические парагенезисы тектонических разрывов и смещений* (СКП) — совокупности зеркал скольжения в пункте наблюдений, элементы залегания которых и направления смещений по которым соответствуют одному полю напряжений. Основные их параметры (ориентировки осей напряжений, элементы залегания тектонического разрыва и характер смещений вдоль его плоскости), представленные в виде *стереографических моделей* СКП [Вольфман, 2007], вполне определенно отражают деформационные режимы и кинематические обстановки, обусловившие возникновение этих парагенезисов.

В основу идентификации *деформационных режимов* положено соотношение углов наклона  $\gamma^1, \gamma^2$  и  $\gamma^3$  главных осей нормальных напряжений (соответственно  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$ )<sup>2</sup> к горизонту [Гущенко и др., 1991; Гинтов, 2005]. Эта классификация успешно апробирована как при тектонофизической реконструкции условий разрывообразования в пределах Горного Крыма [Вольфман и др., 2012 и др.], так и при структурно-кинематической идентификации сейсмогенных зон системы Загрос по данным решений механизмов очагов землетрясений [Вольфман, 2013б]. В первом случае дополнительно рассматривались два типа деформационных режимов — одноосного сжатия и одноосного растяжения. *Стереографические модели деформационных режимов* — это отражение на стереографических сетках типичных особенностей тектонического разрывообразования, полученное путем усреднения параметров

СКП, сформированных в одних и тех же условиях. Эти модели характеризуют обстановки разрывообразования на региональном уровне.

При сопоставлении моделей однотипных деформационных режимов установлено, что их параметры (элементы залегания разрывов со сходными направлениями подвижек, проекции векторов смещений, проекции осей сжатия и растяжения) образуют обособленные скопления в пределах весьма ограниченных сегментов стереограмм. Позиции этих совокупностей настолько различаются, что априори могут рассматриваться как проявления разных условий тектонического разрывообразования. Эти различия являются следствием разнообразия *кинематических обстановок разрывообразования*, которые отражают доминирующие условия сжатия или растяжения в регионе и особенности ориентировок главных осей структурообразующих полей напряжений относительно сторон света. Так, обстановки регионального сжатия обусловили проявление деформационных режимов главным образом взбросовых, взбросо-сдвиговых и одноосного сжатия. В условиях растяжения основную роль играли режимы сбросовые, сбросо-сдвиговые и одноосного растяжения. Сдвиговые, взбросо-сбросовые и октаэдрические режимы присущи обстановкам как регионального сжатия, так и растяжения, однако значительная часть сдвиговых тектонических смещений и их парагенезисов образовалась в условиях регионального сжатия. Обстановки, в которых проявились взбросо-сбросовые и октаэдрические деформационные режимы, в каждом конкретном случае устанавливаются по структурно-кинематическому типу идентифицированных тектонических разрывов. Употребление множественного числа по отношению к каждому из режимов вызвано разнообразием кинематических обстановок их проявления, обусловленным широким спектром ориентировок главных осей напряжений.

**Исходные материалы и методы исследований.** Основу исследований составили результаты полевых тектонофизических наблюдений, охвативших разновозрастные литолого-стратиграфические образования и вулканоматматические комплексы на значительной части территории Горного Крыма — от Севастополя на западе до Феодосии на востоке (рис. 1). Индексы пунктов наблюдений отражают названия близлежащих населенных пунктов или орографических элементов; формат индексов продиктован требованиями подготовки мате-

<sup>2</sup> Сжатие принято положительным при  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ .



Рис. 1. Карта фактического материала, геологическая основа по [Атлас..., 2003]. Основные пункты тектонофизических наблюдений и их номера: 1 — Kokasan, 2 — Baidar\_5, 3 — Foros\_2, 4 — Kadik\_2, 5 — Schast\_1, 6 — Karabi\_3, 7 — Karabi\_2, 8 — Karabi\_1, 9 — ForosV, 10 — Kkaya, 11 — KuchukG, 12 — Kuchuk, 13 — Baidar\_3, 14 — Baidar\_2, 15 — Baidar\_1, 16 — MellasV, 17 — OlivaV, 18 — Podkov, 19 — Meggor\_K, 20 — Kastel, 21 — StCrim, 22 — Ordg\_5, 23 — Morsk; 24 — Kopt\_1, 25 — Serpant, 26 — Iograf, 27 — Bal\_pl, 28 — Balakl\_2, 29 — Balakl\_1, 30 — Mram\_1, 31 — Kadik\_1, 32 — Gosfort\_1, 33 — Vis\_510, 34 — Rezerv\_1, 35 — Ordg\_2, 36 — Sokol\_1, 37 — Sokol\_2, 38 — Guva, 39 — Topchan, 40 — Alchak, 41 — Sharha, 42 — Ordg\_6.

риалов в машиночитаемом виде для программы «Stereo Nett», используемой для обработки данных на стереографических сетках.

Анализ результатов натурных измерений осуществлялся с применением кинематического метода тектонофизики, получившего обоснование в работах [McKenzie, 1969; Гуценко, 1979] и широко применяемого геологами Украины [Корчемагин, Емец, 1987; Гинтов, Исай, 1988; Гинтов, 2005; Алехин, 2006 и др.]. Реконструкция полей напряжений в пунктах наблюдений осуществлялась способом построения стереографических моделей СКП [Вольфман, 2007]. Алгоритм этого способа изложен в работе [Парфенов, 1984]: по измеренным элементам залегания разрыва, ориентировкам борозд скольжения и векторам смещения для каждого зеркала определялись «квазиглавные» оси нормальных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  как для скола, условно совпадающего с плоскостью действия максимальных касательных напряжений, т. е. отклоняющегося от осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  на  $45^\circ$ . Сходные принципы заложены в программы «FaultKinWin» [Allmendinger et al., 2012] и «WinTENSOR» [Delvaux, Sperner, 2003], применяемые для обработки тектонофизических данных. Нами использован этот же алгоритм, однако построения осуществлялись вручную на стереографических сетках. Это обусловле-

но необходимостью определения параметров и типов активизированных разрывов в каждом пункте, что не предусмотрено вышеуказанными программами, но очень важно для региональных геолого-структурных построений.

Применение данного способа в определенных условиях имеет некоторые ограничения [Парфенов, 1984; Гинтов, Исай, 1988], однако корректность подобного подхода при тектонофизических реконструкциях в регионе была обоснована на примере пункта наблюдений Ordg-2, расположенного к юго-востоку от Феодосии. Изученное обнажение представлено массивом верхнеюрских конгломератов с неясно выраженной слоистостью. Породы интенсивно дислоцированы, пронизаны многочисленными жилами кальцита, по которым развиты зеркала скольжения. Одна из кальцитовых жил с элементами залегания  $83/76^\circ$  (в числителе — азимут падения, в знаменателе — угол падения) пересекается трещиной ( $178/46^\circ$ ), в плоскости которой по кальциту развито зеркало скольжения, хотя в плоскости самой жилы зеркало скольжения отсутствует (рис. 2). Подобная ситуация предопределила алгоритм «тестовых» тектонофизических построений, имеющих целью проверить графическим путем соответствие ориентировок реальных векторов смещений, зафиксирован-

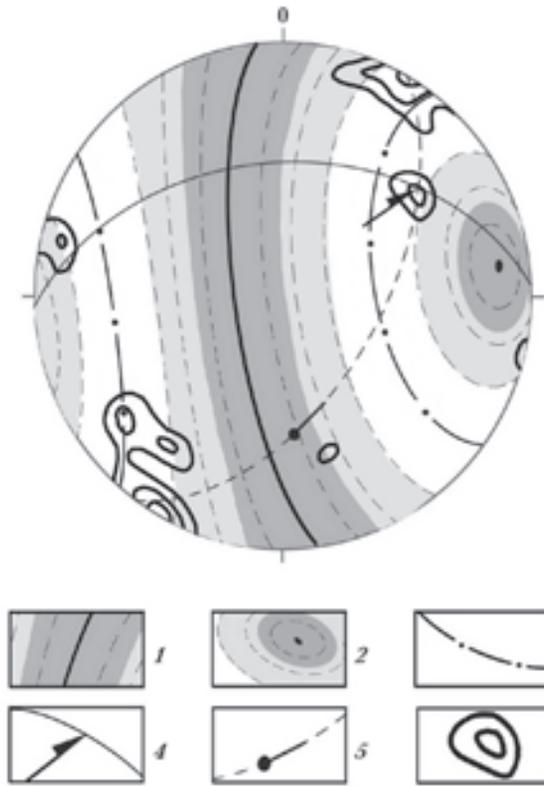


Рис. 2. Сегменты на стереограмме, в различной степени благоприятные для возникновения тектонических разрывов и вторичных смещений в пункте наблюдений Ordg\_2 (здесь и далее — все построения на верхней полусфере): 1, 2 — проекция плоскости (1) и полюс (2) кальцитовой жилы, 3 — сечение  $\tau_{\max}$ , 4 — проекции плоскости зеркала скольжения и вектора смещения всякого крыла, 5 — полюс зеркала и направление подвижки, 6 — изолинии плотности проекций векторов смещений (пояснения — в тексте).

ных в пункте наблюдений, предполагаемому положению плоскости максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$ . Условия и порядок построений определены следующим образом [Вольфман, 2007].

1. Отсутствие зеркала скольжения в плоскости кальцитовой жилы (при наличии в пункте наблюдений множества зеркал с разнонаправленными векторами смещений) дало основание полагать, что положение этой жилы в пространстве абсолютно не удовлетворяло возможностям смещений по ней в условиях любых систем напряжений, действовавших в данном пункте.

2. Исходя из этого, все пространство стереограммы было разграничено на сегменты, в различной степени благоприятные (или неблагоприятные) для возникновения разрывных смещений по величине параметра  $T$ , представляющего собой нормированное по максимуму

касательное напряжение на изучаемой площадке ( $T = \tau / \tau_{\max}$ ). В качестве неблагоприятных для возникновения смещений определены: положение самой плоскости жилы ( $\pm 15^\circ$ ) и области ( $\pm 15^\circ$ ) в непосредственном окружении ее полюса (на рис. 2 — темная заливка). Этим зонам соответствуют значения  $T < 0,4$ . К наиболее благоприятным для возникновения смещений ( $T > 0,8$ ) отнесены сечения, равноудаленные от плоскости жилы и ее полюса на  $45^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ), где предполагается, что значение  $T$  приближается к 1 (на рис. 2 — точечно-пунктирная линия и области без заливки в ее окрестностях  $\pm 20^\circ$ ). Сегменты, промежуточные между первыми и вторыми, характеризуются условиями, мало благоприятными для образования смещений (на рис. 2 — светлая заливка).

3. С целью определения соответствия выделенных благоприятных и неблагоприятных сегментов пространства реальным направлениям смещений, установленным по зеркалам скольжения, на эту же стереограмму вынесены проекции всех реальных векторов (58 замеров) в виде изолиний плотности.

4. Анализ элементов стереограммы показал, что проекции реальных векторов смещений локализованы главным образом в пределах сегментов, выделенных как благоприятные для возникновения подвижек ( $T = 0,8 \div 1$ ): основные максимумы проекций векторов удалены от плоскости кальцитовой жилы на  $45^\circ$  ( $\pm 12^\circ$ ). Асимметричное положение максимумов (некоторое отклонение в сторону кальцитовой жилы) удовлетворяет условиям формирования разрывов и смещений в интервале преимущественного развития L- и R-сколов одного СКП. Возможность такого отклонения отмечалась и в работах [Парфенов, 1984; Гинтов, Исай, 1988].

Таким образом, результаты проведенного «тестирования», в частности локализация проекций векторов смещений в окрестностях предполагаемой плоскости максимальных касательных напряжений  $\tau_{\max}$ , согласуются с вышеописанными приемами определения положений «квазиглавных» осей напряжений. Установленные впоследствии статистически обоснованные закономерности в распределении параметров СКП, моделей деформационных режимов и кинематических обстановок в регионе (см. далее) также подтвердили корректность данного методического подхода.

Выше отмечалось, что как измеренные параметры зеркал скольжения в пункте наблюдений (полюсы плоскостей со сходными направлениями подвижек и проекции векто-

ров смещений), так и графически определенные проекции «квазиглавных» осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  зачастую локализуются в виде обособленных скоплений в пределах весьма ограниченных сегментов стереограмм. Эти совокупности, выделяемые как СКП, являются следствием влияния разных фаз тектогенеза, обусловленных различными кинематическими обстановками. Прямым свидетельством разнофазовых деформаций служат зеркала скольжения двух и более генераций на одной поверхности разрыва.

Процедура построения стереографических моделей СКП включала:

- вынесение на стереограмму всех замеренных параметров зеркал и реконструированных «квазиглавных» осей напряжений для каждого пункта наблюдений; последующую их разбивку на отдельные парагенезисы по сходству ориентировок «квазиглавных» осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ ;
- разнесение параметров зеркал скольжения, включенных в разные СКП, на отдельные стереограммы и фиксацию элементов каждого парагенезиса по максимумам соответствующих параметров, определяемых по изолиниям их плотностей (с использованием программы

«Stereo Nett»), с соблюдением перпендикулярности осей полученного тензора напряжений.

В общем виде стереографическая модель каждого СКП содержит как реально замеренные, так и реконструированные элементы в виде изолиний их плотностей и соответствующих максимумов (рис. 3):

- полюсы и направления подвижек всех зеркал скольжения и их усредненные, соответствующие максимуму (или максимумам), значения;
- проекции усредненных плоскостей (или плоскости) разрыва и векторов смещений с указанием структурно-кинематического типа разрыва;
- изолинии плотностей «квазиглавных» осей напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  для всех зеркал скольжения, включенных в состав данного парагенезиса, положение реконструированных главных осей напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  и плоскостей их парного размещения.

Таким образом, стереографические модели СКП содержат максимально возможную тектонофизическую информацию, поскольку два первых параметра характеризуют условия залегания и структурно-кинематический тип

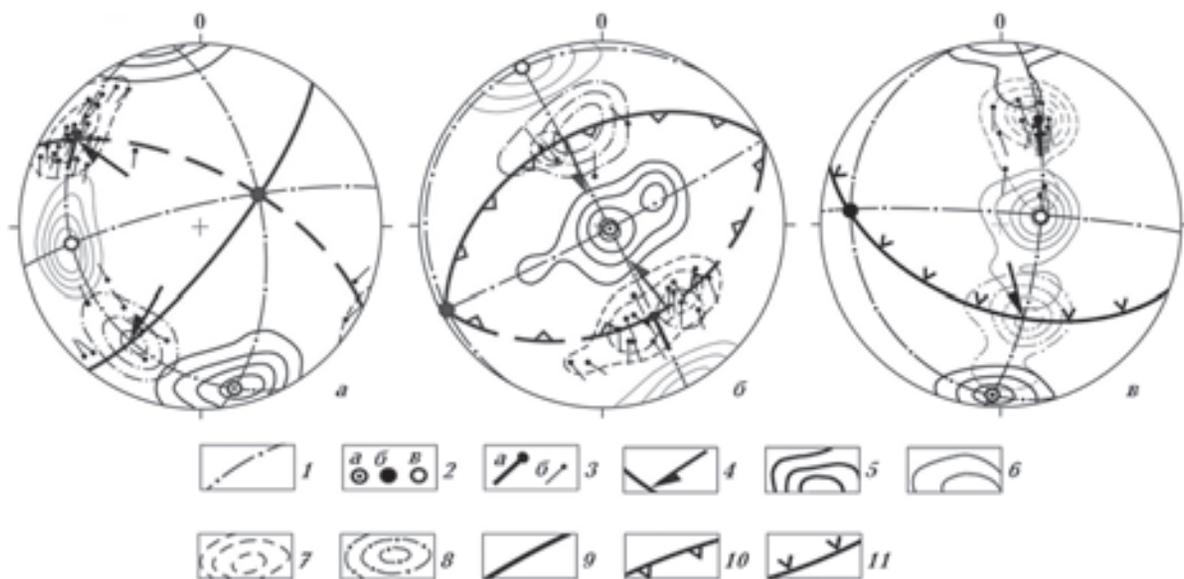


Рис. 3. Стереографическое отображение СКП тектонических разрывов и смещений, сформированных в условиях различных деформационных режимов — сдвигового (а), сбросового (б) и взбросового (в); пункты наблюдений и номера парагенезисов (указаны в скобках) соответственно Kastel (1), Iograf (1) и Balakl\_1(1): 1, 2 — проекции плоскостей (1) и главных осей (2) нормальных напряжений (а —  $\sigma_1$ , б —  $\sigma_2$ , в —  $\sigma_3$ ); 3 — полюсы разрывов и направления подвижек (а — по парагенезису в целом, усредненные значения, б — по отдельным зеркалам скольжения); 4 — проекция усредненно-го вектора смещения по парагенезису (определена по максимуму плотностей проекций единичных векторов каждой системы); 5—8 — изолинии плотностей по совокупности замеров «квазиглавных» осей нормальных напряжений  $\sigma_1$  (5),  $\sigma_3$  (6), полюсов (7) и проекций векторов смещений (8); 9—11 — проекции плоскостей и характеристика структурно-кинематических типов разрывов (9 — сдвиг, 10 — сбросов, 11 — взбросов, сплошные — основные, пунктирные — слабовыраженные).

тектонического нарушения, в зоне динамического влияния которого находится данный пункт наблюдений, а ориентировки осей напряжений отражают тип деформационного режима и обстановку формирования данного парагенезиса [Вольфман, 2007]. Применение описанного способа позволяет сопоставлять различные кинематические обстановки разрывообразования как в отдельных пунктах наблюдений, так и на больших территориях, оценивать роль тех или иных систем тектонических нарушений в структуре региона, осуществлять анализ трансформаций систем напряжений в процессе тектогенеза. К числу преимуществ данного способа можно отнести также следующие:

- стереографическое отображение СКП позволяет не только идентифицировать обстановки их формирования, но дает представление о параметрах активизированных разрывов, позволяя определять их элементы залегания и структурно-кинематический тип, что имеет большое значение для геолого-структурных и геодинамических построений;

- поскольку выделенные СКП характеризуются максимумами параметров по выборке данных, то ошибочное включение в состав того или иного парагенезиса отдельных «рассредоточенных» замеров не искажает окончательный результат, а только увеличивает дисперсию распределения отдельных параметров;

- так как (в силу объективных причин) в пунктах тектонофизических наблюдений не всегда удается обнаружить достаточно представительное количество зеркал того или иного парагенезиса, появляется возможность использовать малочисленные выборки данных, что существенно повышает информативность исследований;

- применение способа позволяет не озадачиваться проблемой установления границ структурно-однородного объема при производстве тектонофизических измерений, так как все различия в условиях разрывообразования в пределах изучаемого горного массива получают соответствующее отражение в выделенных СКП разных типов.

Дальнейшая обработка и анализ данных осуществлялись в следующей последовательности:

- определение количественных соотношений разрывов различных структурно-кинематических типов в каждом пункте наблюдений и по региону в целом;

- сопоставительный анализ СКП, сформиро-

ванных в условиях однотипных деформационных режимов, и построение стереографических моделей деформационных режимов для разных кинематических обстановок путем усреднения параметров парагенезисов, образовавшихся в идентичных условиях;

- анализ кинематических обстановок тектонического разрывообразования в регионе по параметрам полученных моделей деформационных режимов разных типов.

Эта последовательность отражает возрастание роли интерполяционной составляющей в процессе исследований, поскольку в основу обобщений 1-го уровня положен исключительно фактический материал (замеры параметров зеркал скольжения), не зависящий от априорных геодинамических предпочтений автора. Завершающий уровень (построение стереографических моделей деформационных режимов и кинематических обстановок разрывообразования) характеризуется наиболее высокой степенью обобщения и интерполяции фактических данных. В настоящее время такой анализ вполне осуществим благодаря значительному количеству накопленных фактических данных, позволяющих обосновать полученные выводы статистически представительным материалом.

Поскольку тектонофизические наблюдения охватывают всю территорию Горного Крыма, можно уверенно полагать, что полученные результаты адекватно отражают наличие и роль разрывов тех или иных структурно-кинематических типов в строении региона, а также условия их формирования. Следует добавить, что на принципах, заложенных в основу кинематического метода изучения тектонических разрывов и смещений, основана и методика исследования напряжений и разрывов при решениях механизмов очагов землетрясений [Введенская, 1969]. Это позволило осуществить сопоставление особенностей тектонического (в пределах Горного Крыма) и сейсмического (в очагах землетрясений Крымско-Черноморского региона) разрывообразования [Реконструкция ..., 2011; Вольфман и др., 2012 и др.].

Может сложиться впечатление, что данная работа перегружена стереографическими построениями и количественными сопоставлениями. Подобный стиль изложения и аргументации обусловлен следующими причинами.

1. Стереографическое отображение (на сетках Вульфа или Шмидта) тектонических разрывов разных структурно-кинематических типов является относительно простым и наи-

более информативным, поскольку позволяет воспроизводить трехмерные объекты на плоскости, осуществлять статистическую обработку и сопоставительный анализ их параметров. Представляется, что системной ошибкой многих геолого-структурных и геодинамических построений последнего времени является «плоскостная» (по полевым зарисовкам и фотографическим снимкам) визуальная идентификация структурных элементов, не подкрепленная замераами элементов их залегания и векторов смещения, вследствие чего происходит подмена истинных параметров кажущимися. Примером является обоснование Мраморного ретронадвиг (к югу от м. Фиолент) по фотоснимкам определенной экспозиции [Юдин, 2011, рис. 5.1.8]. В то же время преимущественно сдвиговая природа этого нарушения (см. рис. 1, пункт наблюдений Mram\_1) доказана результатами *прямых* измерений векторов смещений в его плоскости и стереографическими моделями СКП разрывов и смещений, которые свидетельствуют об отсутствии признаков структур, соответствующих Мраморному ретронадвигу [Вольфман и др., 2008].

2. Статистическая аргументация также представляется вполне уместной, поскольку количественные соотношения зеркал скольжения различных структурно-кинематических типов и обусловивших их возникновение деформационных режимов вполне адекватно отражают как особенности структуры региона, так и условия тектонического разрывообразования в его пределах. При наличии статистически представительного материала эти соотношения весьма информативны и имеют концептуальный характер.

**Основные региональные особенности новейшего тектонического разрывообразования** наглядно отражаются в количественных соотношениях зафиксированных разрывов разных структурно-кинематических типов по пунктам наблюдений и по региону в целом. Из диаграммы (рис. 4, а) видно, что в большинстве пунктов доминируют сдвиги (с наклоном борозд  $\leq 15^\circ$  при углах падения плоскостей зеркал  $\geq 45^\circ$ ) и разрывы с наиболее значимой сдвиговой составляющей — сбросо- и взбросо-сдвиги (с отклонением борозд скольжения от горизонтального положения в интервале  $15\text{—}45^\circ$ ). В 66 % пунктов наблюдений они составляют более половины всех зеркал скольжения, а в некоторых случаях — и значительно больше. Подобным распределением характеризуется и

весь регион в целом (рис. 5, а): максимальное (59 % от общего количества) распространение имеют сдвиги, сбросо- и взбросо-сдвиги. Количество сбросовых подвижек (сбросов и сдвиго-сбросов с наклоном борозд скольжения более  $75^\circ$  и  $45\text{—}75^\circ$  соответственно) в среднем составляет около 24 %. Следует отметить, что сбросовые структуры могут иметь более широкое развитие, чем это показано на приведенных диаграммах, поскольку значительная часть сложенных известняками обрывов Главной гряды Крымских гор, вероятно, является сбросами, следы перемещений вдоль которых уничтожены процессами физико-химического выветривания. Кроме того, развитию сбросов способствовали отрывы блоков в обстановках растяжения, вследствие чего формирование зеркал просто не происходило [Гинтов, 2005]. Доля взбросов, сдвиго-взбросов и надвигов не превышает 17 % (см. рис. 5, а). При этом смещения надвигового (поддвигового) типа — с углами падения плоскости сместителя менее  $45^\circ$  — проявлены весьма слабо (около 4 %) за исключением отдельных пунктов, например пункт Balakl\_1, который представлен Балаклавским внутриформационным надвигом.

Более явственно доминирующая роль процессов сдвигообразования проявляется при анализе количественного соотношения зеркал скольжения, вошедших в состав СКП, сформированных в условиях разных деформационных режимов (рис. 4, б, 5, б). При этом в большинстве пунктов наблюдений распределение приобретает более контрастный (по сравнению с рис. 4, а) характер за счет включения в состав сдвиговых парагенезисов отдельных сбросо- и взбросо-сдвигов, удовлетворяющих условиям этих режимов. В целом по Горному Крыму получены следующие соотношения: в состав парагенезисов, обусловленных сдвиговыми деформационными режимами, входит более 50 % зеркал скольжения, а с учетом парагенезисов, сформированных в условиях сбросо- и взбросо-сдвиговых режимов — 61 %. Парагенезисы сбросового типа объединяют 16% структур, взбросового типа — 11 %, взбросо-сбросового — 4 %. Зеркала скольжения, сгруппированные в парагенезисы одноосного растяжения и сжатия, составляют соответственно 5 и 3 % (см. рис. 5, б).

Общее представление о кинематических условиях тектонического разрывообразования в пределах региона дает распределение ориентировок разрывов, проекций векторов смещений и положений осей напряжений  $\sigma_1$

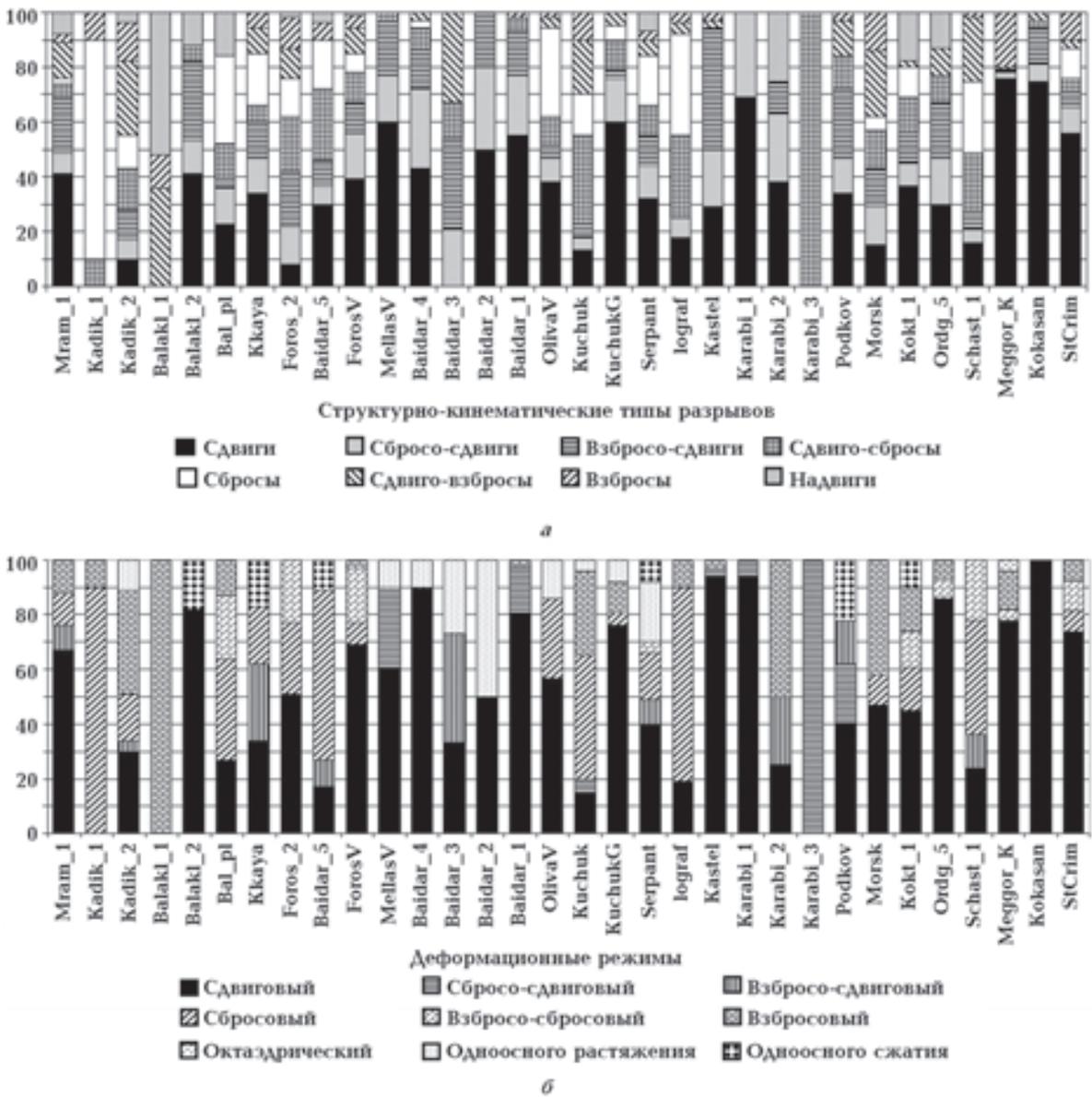


Рис. 4. Соотношение (по пунктам наблюдений, в %) тектонических разрывов различных структурно-кинематических типов (а) и количества зеркал скольжения в составе парагенезисов, сформированных в условиях разных деформационных режимов (б). По оси абсцисс — названия пунктов тектонофизических наблюдений.

и  $\sigma_3$  (для всех зеркал скольжения во всех пунктах наблюдений). Последовательно анализируя приведенные стереограммы (рис. 6, а—г), можно констатировать следующее.

1. Большая часть тектонических смещений в пределах Горного Крыма происходила вдоль субвертикальных разрывов, о чем свидетельствуют концентрации их полюсов вдоль внешнего контура стереограммы (см. рис. 6, а). Эта особенность новейшей разрывной тектоники Крымского региона, неоднократно отмечаемая

в литературе [Новик, Вольфман, 1997; Гинтов, 2005; Вольфман и др., 2008 и др.], позволяет утверждать, что структурообразующие поля тектонических напряжений характеризуются преимущественно субгоризонтальным положением плоскости  $\sigma_1$ — $\sigma_3$ . В таких обстановках формируются (активизируются) главным образом сдвиги и разрывы с наиболее значимой сдвиговой составляющей (сбросо- и взбросо-сдвиги).

2. Основная роль принадлежит взаимно-



Рис. 5. Сводные (по всем пунктам) сравнительные диаграммы распространения тектонических разрывов различных структурно-кинематических типов (а) и количество зеркал скольжения в составе СКП, сформированных в условиях разных деформационных режимов (б).

перпендикулярным тектоническим разрывам (L-сколам) диагональных направлений: северо-восточного ( $35\text{--}40^\circ$ ) и северо-западного ( $305\text{--}310^\circ$ ), которым соответствуют максимумы полюсов разрывов 1 и 2 (см. рис. 6, а) и максимумы проекций векторов смещений 1 и 2 (рис. 6, б). Структурам субширотной ориентировки соответствует менее контрастно выраженный максимум 3 (см. рис. 6, а). Вытянутые вдоль внешнего контура стереограммы аномалии в окрестностях указанных максимумов отражают наличие активизированных R-сколов в системах соответствующих структурных парагенезисов или же являются выражением элементов, сформированных в иных кинематических условиях, о чем будет сказано ниже.

3. Некоторая асимметричность вытянутых аномалий полюсов разрывов, выражающаяся в слабом наклоне всей системы на северо-запад (см. рис. 6, а), согласуется с общим наклоном Крымского горного сооружения в этом же направлении. Вероятно, это обстоятельство можно объяснить возникновением (активизацией) значительной части вертикальных тектонических разрывов в период, соответствующий началу последнего этапа горообразования (поздний миоцен), когда залегание пород было близким к горизонтальному.

4. Особенности распределения ориентировок проекций векторов подвижек (см. рис. 6, б) вполне согласуются с вышесказанным и отражают преобладание главным образом сдвиговых перемещений по поверхностям диагональных разрывов: максимум 1 ( $220/3^\circ$ ) соответствует сдвигам северо-восточного простирания, максимум 2 ( $128/0^\circ$ ) — северо-западного. Максимум 3 ( $180/0^\circ$ ) характеризует движение

блоков вдоль субмеридионально ориентированных структур. В пределах центральной поля стереограммы сосредоточены проекции векторов относительно крутопадающих сбросовых и взбросовых разрывов.

5. Ориентировки максимальных сжимающих (минимальных растягивающих) и максимальных растягивающих (минимальных сжимающих) осей напряжений (соответственно  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ ) характеризуют обстановки субмеридионального сжатия (рис. 6, в, максимум 1 ( $173/12^\circ$ ); рис. 6, г, максимум 3 ( $65/0^\circ$ ), протягивающийся до  $90^\circ$ ) и субмеридионального растяжения или субширотного сжатия (рис. 6, г максимум 1 ( $354/3^\circ$ ), рис. 6, в максимум 2 ( $83/6^\circ$ )). При этом характер аномалии  $\sigma_1$ , вмещающей максимум 1 (ее вытянутость к востоку вдоль линии, характеризующей общий наклон Крымского горного сооружения, см. на рис. 6, в), позволяет обосновать влияние обстановок юго-восточного сжатия на деформационные процессы и соотнести время формирования значительной части зеркал скольжения с началом последнего этапа горообразования. В то же время, «рассредоточенный» максимум 2 ( $140/3^\circ$ ) осей  $\sigma_3$  на рис. 6, г свидетельствует и о наличии обстановок юго-восточного—северо-западного растяжения. Перечисленные парные максимумы осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  характеризуют одну из важнейших особенностей первичного поля тектонических напряжений — взаимную переориентировку осей главных максимальных и минимальных напряжений, которая может происходить как за сравнительно короткое время, так и в течение длительных периодов. Причины инверсии деформационных процессов в регионе, когда оси  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  меняются местами, освещены в ра-

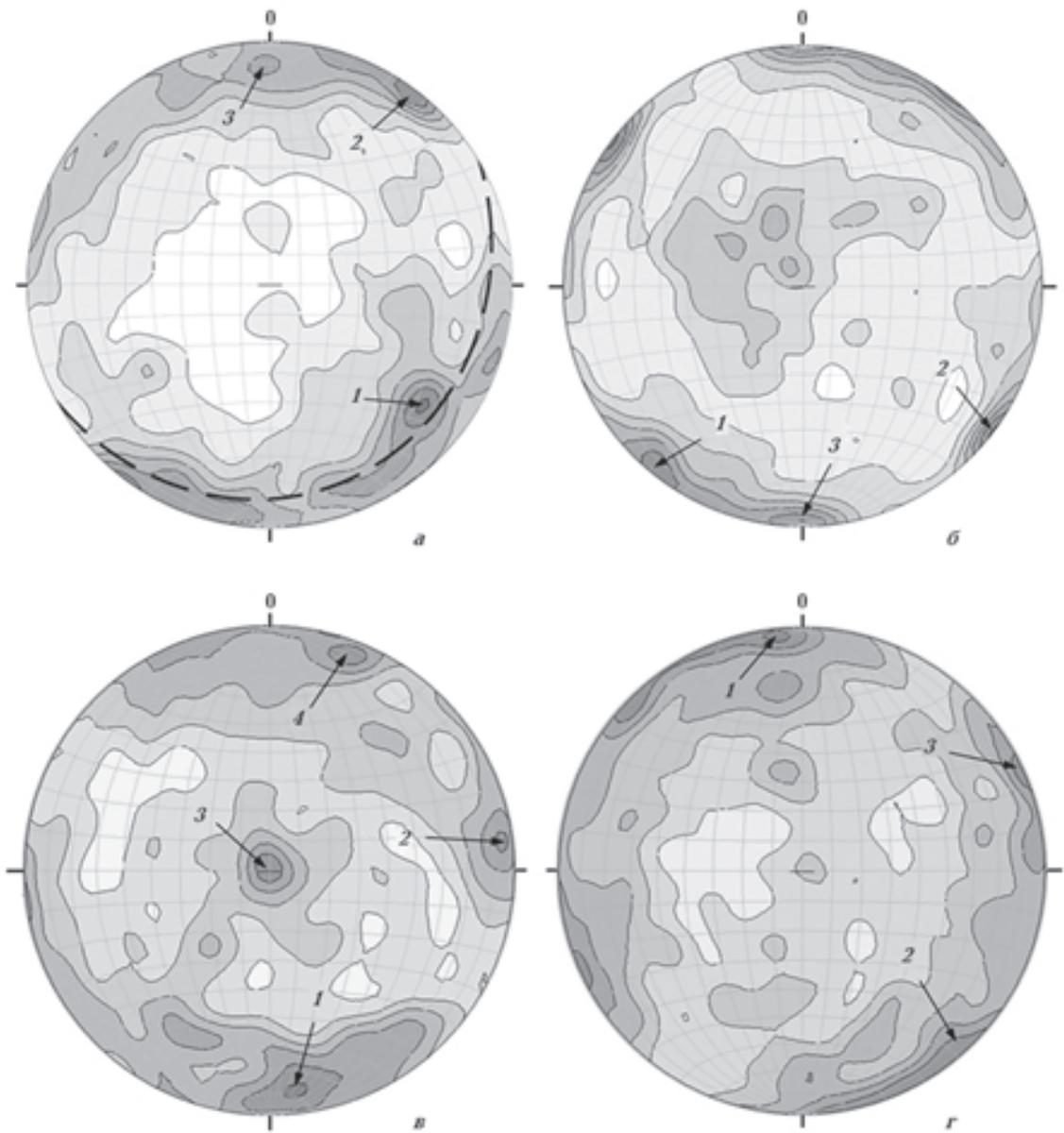


Рис. 6. Сводные стереограммы полюсов разрывов (а), проекций векторов смещений (б) и «квазиглавных» осей напряжений  $\sigma_1$  (в) и  $\sigma_3$  (г). Количество зеркал скольжения — 1863, изолинии — через 0,5%. Цифры — номера максимумов (пояснения см. в тексте); пунктир — дуга, аппроксимирующая общий наклон системы тектонических разрывов.

ботах [Новик, Вольфман, 1997; Гинтов, 2005]. Долговременные вариации первичного поля напряжений отражают циклические изменения геодинамических обстановок и инверсии режимов «продольного сжатия—растяжения» в регионе [Вольфман, 2008]. Вероятно, происходили и относительно короткопериодные инверсионные процессы, предопределявшие циклическую более высоких порядков, нашедшую отражение в кратковременных стратигра-

фических (внутриформационных) перерывах осадконакопления. Современные инверсии кинематических обстановок подтверждаются и решениями механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона, полученными Б. Г. Пустовитенко [Пустовитенко, 2002] и А. А. Пустовитенко [Пустовитенко, 2007 и др.].

6. Контрастный максимум  $\sigma_1$  в центре стереограммы, указывающий на вертикальное положение оси сжатия (см. рис. 6, в), отражает ши-

рокое распространение сбросовых подвижек различных направлений и разного генезиса — тектонических, гравигенно-тектонических и отчасти гравигенных.

**Сдвиговые деформационные режимы** ( $\gamma^1 \leq 30^\circ$ ,  $\gamma^2 \geq 45^\circ$ ,  $\gamma^3 \leq 30^\circ$ ), как отмечалось выше, доминировали в процессах новейшего тектонического разрывообразования в Горном Крыму (см. рис. 4, 5). Об этом же свидетельствуют и результаты тектонофизического изучения трещинных структур с применением метода

структурных парагенезисов [Гинтов, 2005 и др.]. Приведенные примеры отражают широкий спектр обстановок формирования сдвиговых парагенезисов: субмеридионального сжатия (рис. 7, а), субмеридионального растяжения—субширотного сжатия (рис. 7, б) и обоих диагональных сжатия—растяжения (рис. 7 в, г).

Особенности распределения параметров зеркал скольжения в составе СКП, сформированных в условиях сдвиговых деформационных режимов, показаны на рис. 8. Все па-

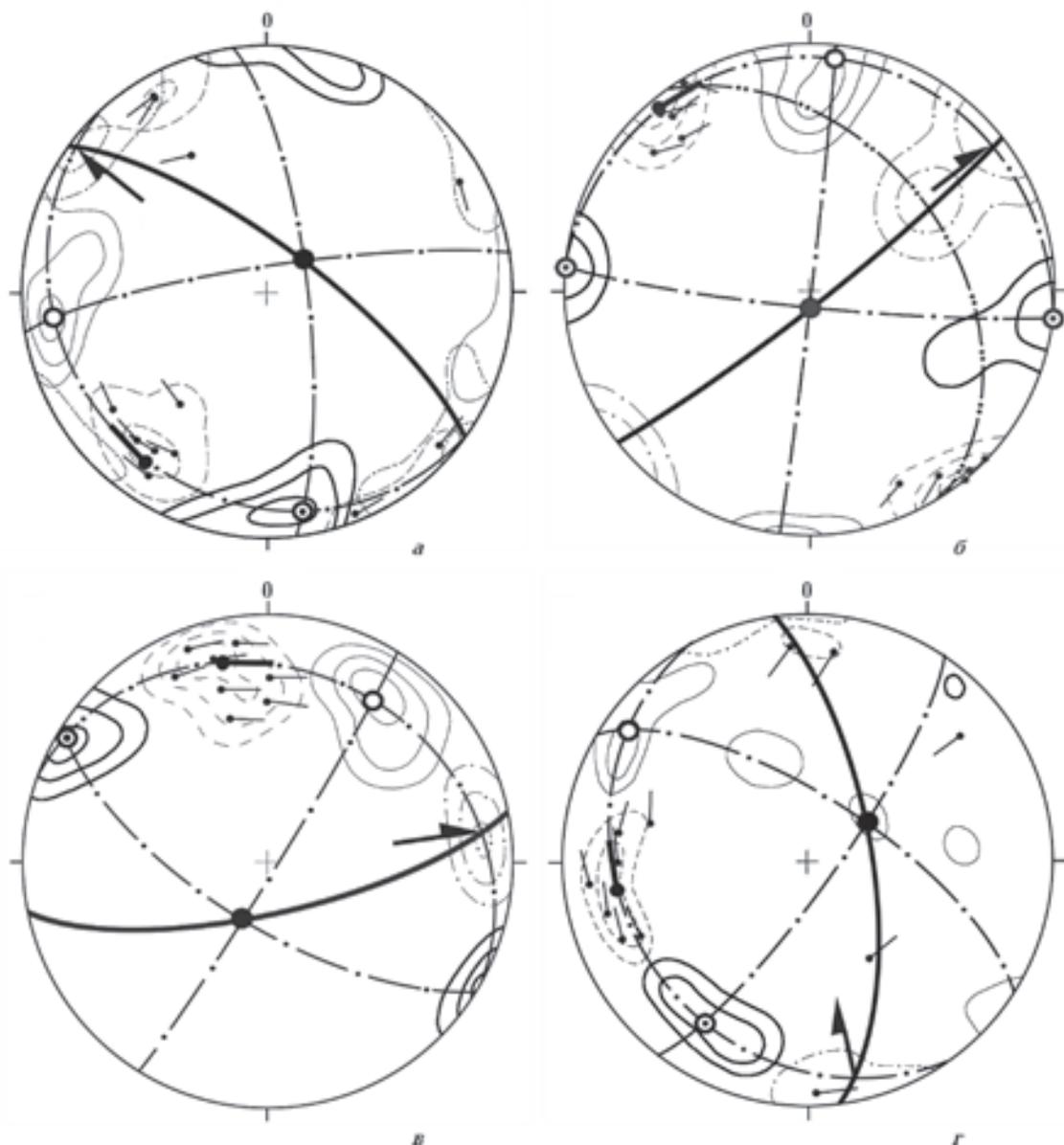


Рис. 7. Примеры СКП тектонических разрывов и смещений, сформированных в условиях сдвиговых деформационных режимов в обстановках субмеридионального сжатия (а), субмеридионального растяжения—субширотного сжатия (б), юго-восточного сжатия—северо-восточного растяжения (в), юго-западного сжатия—северо-западного растяжения (г). Условные обозначения см. на рис. 3.

раметры (ориентировки полюсов разрывов, векторов смещений, осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ ) образуют довольно контрастные максимумы, закономерно ориентированные по отношению к сторонам света. Из приведенных стереограмм видно, что наибольшее распространение в регионе имеют сдвиги диагональных (северо-восточной и северо-западной) ориентировок, которым соответствуют максимумы 1 ( $130/21^\circ$  и  $218/3^\circ$ ) и 2 ( $37/4^\circ$  и  $306/0^\circ$ ) полюсов разрывов и проекций векторов смещений (рис. 8 а, б). Их возникновение обусловлено ортогонально ориентированными системами напряжений, характеризуемыми субмеридиональным

или субширотным направлением осей сжатия—растяжения: максимумы 1 ( $\sigma_1=173/9^\circ$  и  $\sigma_3=354/1^\circ$ ) и 2 ( $\sigma_1=83/5^\circ$  и  $\sigma_3=84/3^\circ$ ) на рис. 8 в, г. Образование разрыва или смещение иногда происходит только по одному из возможных диагональных направлений, что обусловлено анизотропными свойствами геологической среды и избирательностью разрывообразования в направлении, более предпочтительном для развития деформаций. Однако нередко случаи активизации разрывов обоих диагональных направлений (см. рис. 3, а). Диагональные системы сдвиговых разрывов (смещений) во многих пунктах наблюдений являются до-

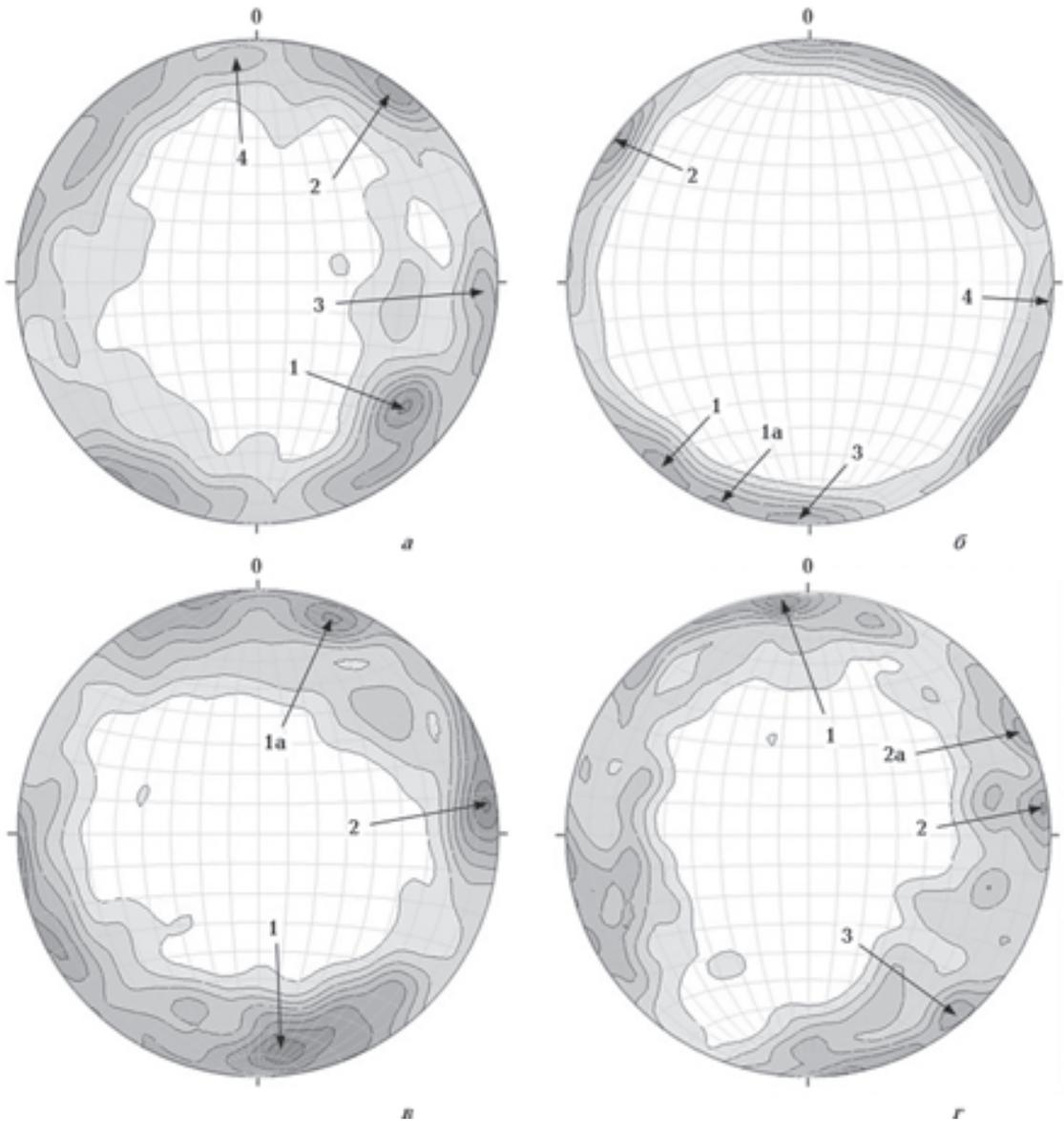


Рис. 8. Сводные стереограммы полюсов разрывов (а), проекций векторов смещений (б) и главных осей напряжений  $\sigma_1$  (в) и  $\sigma_3$  (г) для зеркал скольжения СКП, сформированных в условиях сдвиговых деформационных режимов.

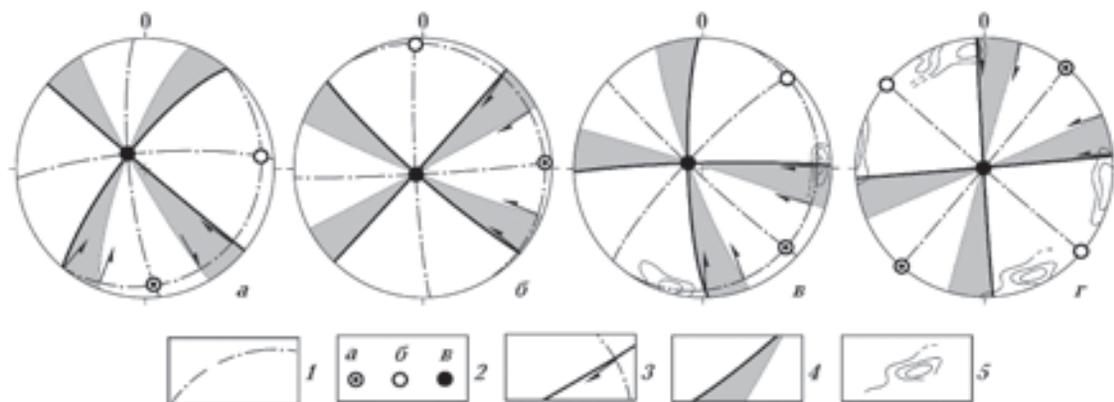


Рис. 9. Стереографические модели сдвиговых деформационных режимов, обусловивших процессы новейшего тектонического разрывообразования в пределах Горного Крыма: а — субмеридионального сжатия—субширотного растяжения; б — субмеридионального растяжения—субширотного сжатия; в — юго-восточного сжатия—северо-восточного растяжения; г — юго-западного сжатия—юго-восточного растяжения: 1—2 — проекции плоскостей (1) и главных осей (2) нормальных напряжений (а —  $\sigma_1$ , б —  $\sigma_2$ , в —  $\sigma_3$ ); 3 — проекции векторов смещений; 4 — секторы наиболее вероятного разрывообразования; 5 — некоторые соответствующие им максимумы в изолиниях плотностей полюсов разрывов (остальные пояснения см. в тексте).

минирующими и относительно легко идентифицируются. Важная особенность сдвиговых парагенезисов — примерно одинаковая интенсивность максимумов 1 и 2 в распределении осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ , которая отражает проявление в регионе двух почти равнозначных инверсионных кинематических обстановок: субмеридионального сжатия—субширотного растяжения и субмеридионального растяжения—субширотного сжатия (см. рис. 8 в, г), хотя первая из этих обстановок все же несколько превалирует над второй.

Максимумы на стереограммах, обозначенные индексом «а», обусловлены наличием разрывов и смещений, сформированных по типу R-сколов. Так, максимум проекций векторов смещений 1а (см. рис. 8, б) характеризует присутствие наряду с L-сколами (максимум 1) значительного количества левосдвиговых R-сколов северо-восточного простирания, сформированных в обстановках субмеридионального сжатия. Максимумы осей напряжений 1а (см. рис. 8, в) и 2а (см. рис. 8, г) можно полагать условными, обусловленными вышеупомянутыми методическими ограничениями [Парфенов, 1984; Гинтов, Исай, 1988], поскольку положение «квазиглавных» осей рассчитывалось для всех разрывов, как для L-сколов. В то же время существенная роль R-сколов в разрывообразовании подтверждается несколько «размытыми» аномалиями полюсов разрывов (см. рис. 8, а) и проекций векторов смещений (см. рис. 8, б). Таким образом, максимумы с индексом «а» на рис. 8, в, г вполне уверенно

можно соотнести с основными одноименными максимумами.

Вторая по значимости система сдвиговых нарушений (смещений) имеет субмеридиональную или субширотную ориентировку. Это отражают максимумы 3 ( $92/7^\circ$  и  $182/1^\circ$ ) и 4 ( $355/9^\circ$  и  $95/1^\circ$ ) на стереограммах полюсов разрывов и проекций векторов (см. рис. 8, а, б). Положение этих разрывов совпадает с направлениями осей сжатия—растяжения полей напряжений первой (диагональной) системы. Структурно-кинематические парагенезисы ортогональных сдвиговых разрывов (смещений) также относительно легко идентифицируются, зачастую не уступая в количественном отношении диагональным. Следует отметить, что и эти системы также характеризуются взаимной переориентировкой осей  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$ , отражающей инверсию кинематических обстановок в регионе.

Закономерные ориентировки и выраженные максимумы параметров сдвиговых СКП позволили обосновать четыре основных вида проявлений сдвигового деформационного режима: два ортогонального (субмеридионального и субширотного) и два диагонального (юго-восточного и юго-западного) сжатия—растяжения. Стереографические модели этих режимов (рис. 9) отражают основные особенности разрывной тектоники в пределах Горного Крыма, поскольку данные режимы были доминирующими, а сдвиговые перемещения, как отмечалось ранее, в количественном отношении преобладают на изучаемой территории.

Многие сдвиговые зеркала скольжения имеют весьма свежий облик и четко выраженные «порожки» отрыва, что позволяет уверенно отнести их возникновение (активизацию) к новейшему (позднемиоцен-плиоценовому) времени.

**Взбросо-сдвиговые деформационные режимы** ( $\gamma^1 \leq 30^\circ$ ,  $\gamma^2 > 30^\circ$ ,  $\gamma^3 > 30^\circ$ ) проявлены в регионе значительно слабее, чем сдвиговые (см. рис. 4, 5). Более того, сумма зеркал скольжения в составе взбросо-сдвиговых СКП значительно уступает общему количеству подвижек данного структурно-кинематического типа, поскольку многие взбросо-сдвиги были иден-

тифицированы как элементы сдвиговых парагенезисов и включены в состав последних (это же относится и к разрывам сбросо-сдвигового типа).

При построении моделей взбросо-сдвиговых режимов определяющим фактором стало распределение осей  $\sigma_1$ , отражающее разнообразные условия регионального сжатия. Несмотря на некоторую «размытость» аномалий  $\sigma_3$ , взаимно перпендикулярные пары осей максимального и минимального сжатия идентифицируются вполне уверенно (рис. 10, а, б), что подтверждают и примеры СКП этого

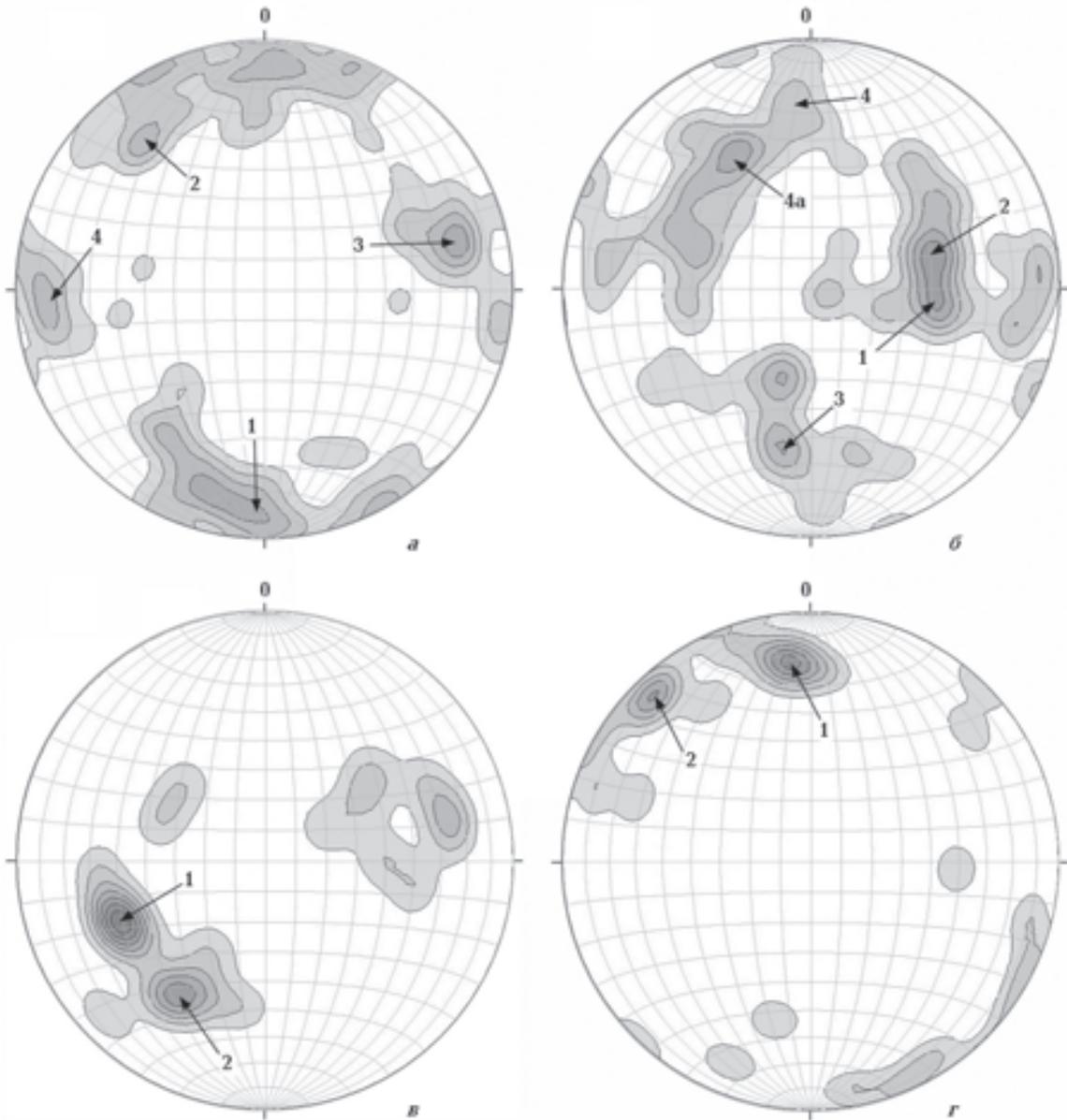


Рис. 10. Стереогаммы проекций осей напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  для зеркал скольжения СКП, сформированных в условиях взбросо-сдвиговых (а, б) и сбросо-сдвиговых (в, г) деформационных режимов.

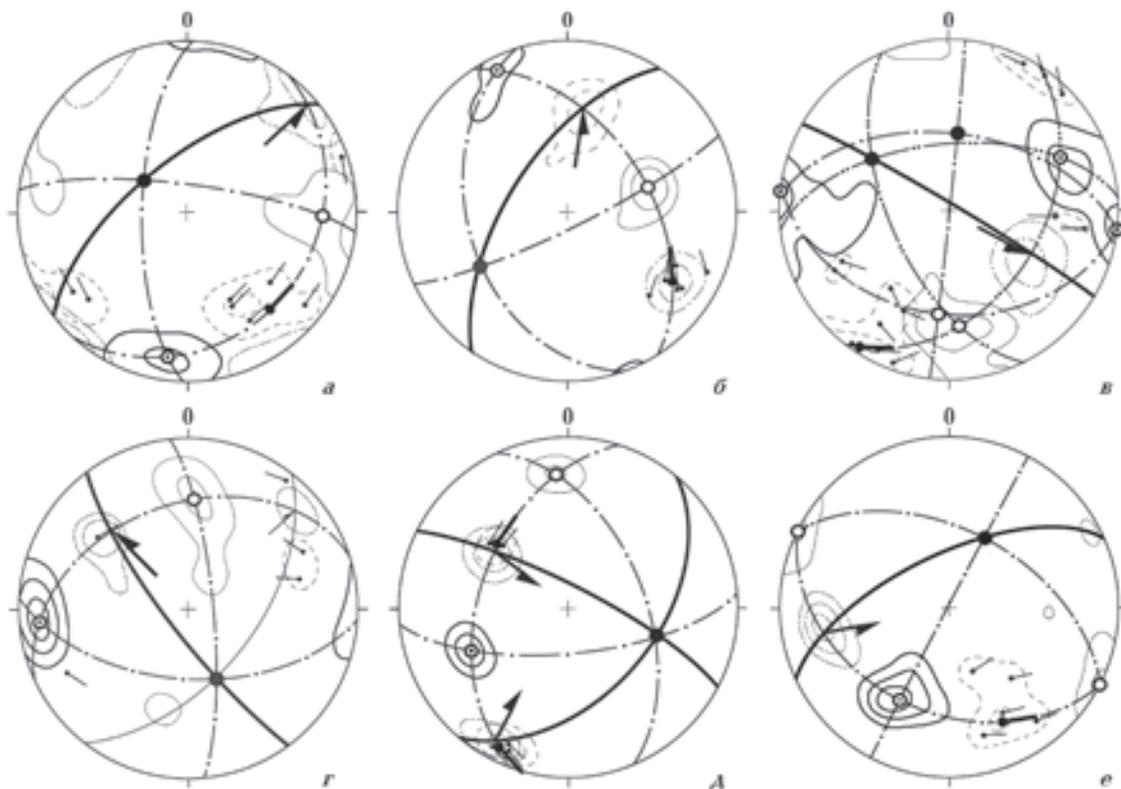


Рис. 11. Примеры СКП тектонических разрывов и смещений, сформированных в условиях *взбросо-сдвиговых* (а—г) и *сбросо-сдвиговых* (д, е) деформационных режимов. Условные обозначения см. на рис. 3.

типа (рис. 11, а—г). Построенные стереографические модели взбросо-сдвиговых режимов отражают обстановки субмеридионального (рис. 12, а), северо-северо-западного, близкого к меридиональному (рис. 12, б) и субширотного (рис. 12, в, г) сжатия в регионе. При этом преобладают разрывы северо-восточного простирания, сформированные в условиях субмеридионального сжатия.

Следует добавить, что как в данном случае, так и при построении моделей других режимов не усреднялись модели с одноименными осями напряжений, расположенными на одной линии в противоположных секторах стереограмм (например, пары моделей а и б, в и г на рис. 12). Это усреднение неизбежно привело бы к искусственной трансформации тензоров напряжений до параметров сдвиговых деформационных режимов, поскольку углы наклона осей  $\sigma_1$  или  $\sigma_3$  приближались бы к нулю.

**Сбросо-сдвиговые деформационные режимы** ( $\gamma^1 > 30^\circ$ ,  $\gamma^2 > 30^\circ$ ,  $\gamma^3 \leq 30^\circ$ ) по количеству зеркал скольжения уступают всем типам режимов за исключением октаэдрического и одноосных сжатия и растяжения (см. рис. 4, 5). Формирование сбросо-сдвиговых парагенезисов (см.

рис. 11, д, е) происходило преимущественно в условиях регионального растяжения, поэтому основой построения моделей режимов этого типа послужили особенности распределения осей  $\sigma_3$ . При этом парное соответствие отчетливо выраженных максимумов  $\sigma_3$  и  $\sigma_1$  устанавливается вполне определенно (рис. 10, в, г), что позволяет уверенно реконструировать обстановки субмеридионального и северо-западного—юго-восточного растяжения (см. рис. 12, д, е). Среди зафиксированных разрывных структур данного типа наибольшее распространение имеют сбросо-сдвиги северо-восточной ориентировки.

Общая особенность проявления взбросо- и сбросо-сдвиговых деформационных режимов — соответствие ориентировок осей напряжений (особенно «активных»:  $\sigma_1$  — в обстановках сжатия,  $\sigma_3$  — в обстановках растяжения) направлениям этих же осей в сдвиговых моделях. Это наводит на мысль, что взбросо- и сбросо-сдвиговые режимы были обусловлены локальными трансформациями сдвиговых (первичных) полей напряжений. В дальнейшем будет показано, что эта же закономерность проявляется и в моделях деформационных режимов других типов (см. статью 2).

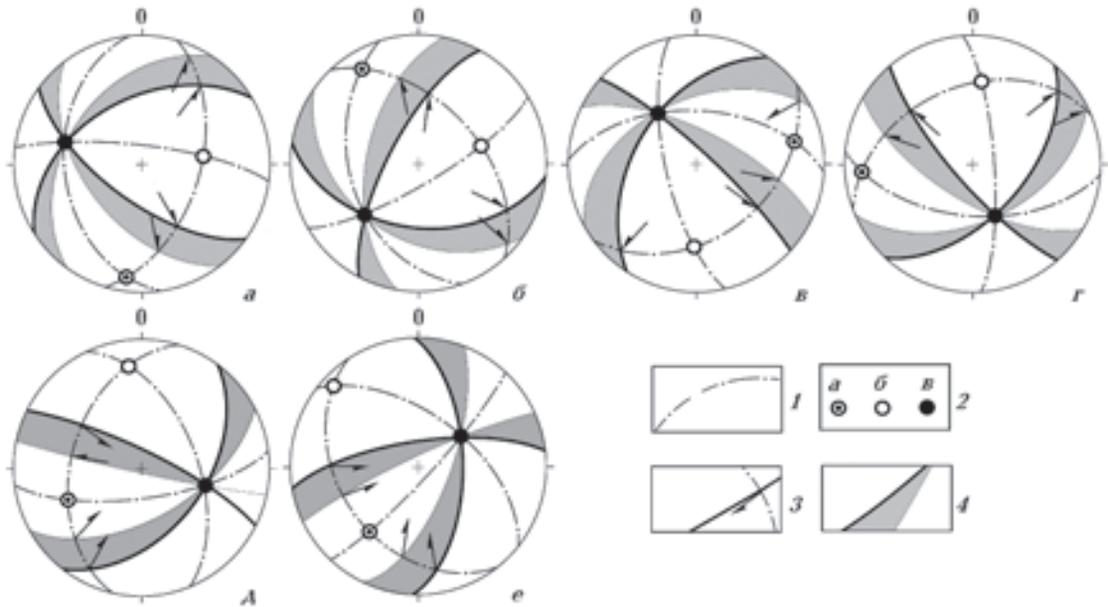


Рис. 12. Стереографические модели *взбросо-сдвиговых* (а—г) и *сбросо-сдвиговых* (д, е) деформационных режимов, обусловивших процессы новейшего тектонического разрывообразования в пределах Горного Крыма: а, б — субмеридионального сжатия; в, г — субширотного сжатия; д — субмеридионального растяжения; е — северо-западного-юго-восточного растяжения; 1, 2 — проекции плоскостей (1) и главных осей (2) нормальных напряжений (а —  $\sigma_1$ , б —  $\sigma_2$ , в —  $\sigma_3$ ); 3 — проекции векторов смещений; 4 — секторы наиболее вероятного разрывообразования.

Таким образом, зоны разломов разных рангов, формирующиеся (или активизирующиеся) в условиях преимущественно сдвиговых деформационных режимов (Салгино-Октябрьская, Демерджинская, Бельбекская, Качинская и др., а в пределах акваторий: Южнобережная, Одесско-Синопская и др. [Борисенко и др., 1995; Борисенко, Плахотный, 1997; Новик, Вольфман, 1997; Чекунов и др., 1998; Гинтов, 2005; Вольфман и др., 2012 и др.]) играют определяющую роль в строении Кры-

ма и его структурного обрамления. В пределах зон динамического влияния некоторых из них вследствие локальных трансформаций основных систем напряжений имели место проявления взбросо- и сбросо-сдвиговых режимов и соответствующих им СКП тектонических разрывов и смещений. Поэтому сдвиговые и близкие к ним по кинематическому типу системы дизъюнктивных нарушений следует считать неотъемлемой структурной составляющей Крымского региона.

### Список литературы

- Алехин В. И. Поля суммарных деформаций и напряжений в разновозрастных породных комплексах Приазовского блока УЩ. *Наук. праці ДонНТУ. Сер. гірничо-геологічна*. 2006. Вип. 111. Т. 2. С. 144—152.
- Атлас «Автономная республика Крым». Под ред. М. В. Багрова, Л. Г. Руденко. Киев-Симферополь: Таврический нац. ун-т им. В. И. Вернадского, Крым. науч. центр НАН Украины и Министерства образования и науки Украины, Ин-т географии НАН Украины, Ин-т передовых технологий, 2003. 32 с.
- Борисенко Л. С., Гинтов О. Б., Китин М. А., Муровская А. В. Тектонофизические данные о верхне-
- мезозойской динамике Горного Крыма в связи с проблемой палеогеодинамических реконструкций в этом регионе. 1-2. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 4. С. 32—39; Т. 20. № 5. С. 71—77.
- Борисенко Л. С., Плахотный Л. Г. Геодинамика Крымско-Черноморского региона как следствие многоуровневого тектогенеза. В кн.: *Геодинамика Крымско-Черноморского региона*. Симферополь: Ин-т геофизики НАНУ, Крым. эксперт. совет, 1997. С. 54—64.
- Борисенко Л. С., Пустовитенко Б. Г., Новик Н. Н., Вольфман Ю. М., Дублянский В. Н. Некоторые методические аспекты сейсмического районирования областей новейшего горообразования и

- сопредельных территорий (на примере Крыма). В кн.: *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*. Москва: ОИФЗ РАН, 1995. С. 27—45.
- Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. Москва: Наука, 1969. 136 с.
- Вольфман Ю. М. О влиянии кинематических обстановок на цикличность геологических процессов в пределах Крыма и Северного Причерноморья в течение альпийского этапа. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 5. С. 101—114.
- Вольфман Ю. М. Отражение разноранговых систем напряжений и их трансформаций в процессах сейсмотектогенеза. *Геодинамика*. 2013а. № 2. С. 31—33.
- Вольфман Ю. М. Способ построения стереографических моделей структурно-кинематических парагенезисов вторичных смещений вдоль тектонических разрывов. *Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2007. С. 179—184.
- Вольфман Ю. М. Структурно-кинематическая идентификация сейсмогенных зон системы Загроса (по данным решений механизмов очагов землетрясений). *Геофиз. журн.* 2013б. Т. 35. № 2. С. 38—64.
- 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. Т. 30. № 1. С. 49—61.
- Вольфман Ю. М., Колесникова Е. Я., Останин А. М. Результаты тектонофизического изучения новейшего тектонического разрывообразования в пределах Крымско-Черноморского региона и их значение для геодинамических реконструкций. *Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Сб. докл. X Междунар. конф. «Крым-2012»*. Симферополь, 2012. С. 101—116.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б., Исая В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
- Гинтов О. Б., Муровская А. В. Проблемы динамики земной коры Крымского полуострова в мезокайнозой (тектонофизический аспект). 1-2. *Геодинамика Крымско-Черноморского региона*. Симферополь: Ин-т геофизики НАНУ, Крым. эксперт. совет, 1997. С. 81—90.
- Гончар В. В. Поле напряжений Горного Крыма и его геодинамическая интерпретация. *Доп. НАН України*. 2003. № 3. С. 97—104.
- Гончар В. В., Паталаха Е. И., Гинтов О. Б. Модели растяжения и приразломного включения в палеотектонической реконструкции Горного Крыма. *Доп. НАН України*. 2004. № 6. С. 112—118.
- Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. В кн.: *Поля напряжений и деформаций в литосфере*. Москва: Наука, 1979. С. 7—25.
- Гущенко О. И., Мострюков А. О., Петров В. А. Структура поля современного регионального напряжения сейсмоактивных зон земной коры восточной части Средиземноморского активного пояса. *Докл. АН СССР*. 1991. Т. 312. № 4. С. 830—835.
- Дискуссия по концептуальным вопросам геодинамики Крымско-Черноморского района. В кн.: *Геодинамика Крымско-Черноморского региона*. Симферополь: Ин-т геофизики НАНУ, Крым. эксперт. совет, 1997. С. 135—148.
- Корчмагин В. А., Емец В. С. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья. *Геотектоника*. 1987. № 3. С. 49—55.
- Муровская А. В. Напряженно-деформированное состояние Гераклейского вулкано-тектонического блока Горного Крыма. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 6. С. 46—56.
- Новик Н. Н., Вольфман Ю. М. Эволюция планетарных полей напряжений в пределах сейсмоактивных регионов Украины, новейшие разрывы и разрывные смещения. В кн.: *Геодинамика Крымско-Черноморского региона*. Симферополь: Ин-т геофизики НАНУ, Крым. эксперт. совет, 1997. С. 81—90.
- Парфенов В. Д. К методике тектонофизического анализа геологических структур. *Геотектоника*. 1984. № 1. С. 60—72.
- Пустовитенко А. А. Крым (каталог механизмов очагов). Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. Москва: ГС РАН, 2007. (на CD).
- Пустовитенко Б. Г. Механизм очагов ощутимых землетрясений Крымско-Черноморского региона последних 20 лет. В кн.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2000 год*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2002. С. 59—64.
- Реконструкция кинематических обстановок новейшего разрывообразования и сейсмичности

Крымско-Черноморского региона с целью оценки параметров местной сейсмичности и уточнения сейсмической опасности: Отчет (Ю. М. Вольфман, Б. Г. Пустовитенко, А. А. Пустовитенко, Е. Я. Колесникова, А. М. Останин). Симферополь-Киев: Ин-т геофизики НАНУ, 2011. 95 с.

Чекунов А. В., Харитонов О. М., Борисенко Л. С., Вольфман Ю. М., Кензера А. В., Пустовитенко Б. Г., Скляр А. М. Детальное сейсмическое районирование сейсмоактивных регионов Украины. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 1. С. 3—13.

Югин В. В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. 336 с.

Allmendinger R. W., Cardozo N. C., Fisher D., 2012. *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 289 p.

McKenzie D. P., 1969. The relation between fault plane solutions for earthquakes and the directions of the principal stresses. *Bull. Seism. Soc. Am.* 59(2), 591—602.

Delvaux D., Sperner B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. New insights into structural interpretation and modelling. *Geol. Soc. London, Spec. Pub.* 212, 75—100.

## Deformational regimes and kinematic environments of formation of up-to-date tectonic disruptions within the limits of the Mountain Crimea. 1

© Yu. M. Volfman, 2014

It has been shown on the base of considerable tectonophysical material that producing of up-to-date tectonic disruptions within the limits of the Mountain Crimea is specified by broad spectrum of deformational regimes and kinematic environments. The technique of plotting is methodologically substantiated for stereographical models of deformational regimes by averaging the parameters of structural-kinematic parageneses of tectonic disruptions and displacements produced in similar conditions. These models reflect adequately regional environments of producing tectonic disruptions. Quantitative ratio of slickensides in parageneses, which make up the basis of corresponding models specify the measure of effects of these or other deformational regimes on the processes of tectogenesis in the region. The models and examples of shearing, upthrust- and upthrust-displacement deformational regimes are presented and their description is given.

**Key words:** tectonic faulting, the stress fields, deformation modes, kinematic conditions, stereographic models, shifts, upthrusts, faults.

### References

Alekhin V. I., 2006. Fields of total strain and stress in uneven rock complexes Azov block of the Ukrainian shield. *NaukovI pratsI DonNTU. SerIya glrnicHo-geo-logIchna 2*(is.111), 144—152 (in Russian).

Atlas «Autonomous Republic of Crimea», 2003. Eds M. V. Bagrova, L. G. Rudenko. Kiev-Simferopol: Tauride National Univ. Vernadsky, Crimean Sci. Center of NAS of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine, Institute of Geography of NAS of Ukraine, Institute of Advanced Technology, 32 p. (in Russian).

Borisenko L. S., Gintov O. B., Kitin M. A., Murovska-ya A. V., 1998. Tectonophysical data verhnemezozojksih dynamics of the Crimean Mountains in connection with the problem paleogeodynamic reconstructions in this region. 1-2. *Geofizicheskiy zhurnal* 20(4), 32—39; 20(5), 71—77 (in Russian).

Borisenko L. S., Plakhotnyy L. G., 1997. Geodynamics Crimean Black Sea region as a consequence of the multilevel orogeny. In: *Geodynamics Crimean Black Sea region*. Simferopol: Institute of Geophysics NASU, Crimean advisory council, P. 54—64 (in Russian).

Borisenko L. S., Pustovitenko B. G., Novik N. N., Volfman Yu. M., Dublyanskiy V. N., 1995. Some methodological aspects of seismic zoning of areas of modern mountain building and adjacent areas (for example, the Crimea). In: *Seismicity and Seismic Zoning of Northern Eurasia*. Moscow: UIPE RAS, P. 27—45 (in Russian).

Vvedenskaya A. V., 1969. Investigation of stresses and fractures in earthquake by means of dislocation theory. Moscow: Nauka, 136 p. (in Russian).

Volfman Yu. M., 2008. On the influence of kinematic

- environments on cyclicity of geological processes within the Crimea and Northern Black Sea during the Alpine stage. *Geofizicheskiy zhurnal* 30(5), 101—114 (in Russian).
- Volfman Yu. M., 2013a. Reflection different ranks voltage systems and their transformations in the processes seismotectogenesis. *Geodinamika* (2), 31—33 (in Russian).
- Volfman Yu. M., 2007. Stereographic method of constructing models of structural and kinematic parageneses of secondary displacements along the tectonic discontinuities. *Seismological Bulletin of Ukraine for 2005*. Sevastopol: NPC «EKOSI-Gidrofizika», P. 179—184 (in Russian).
- Volfman Yu. M., 2013b. Structural and kinematic identification of seismogenic zones of the Zagros (according to the decisions of earthquake focal mechanisms). *Geofizicheskiy zhurnal* 35(2), 38—64 (in Russian).
- Volfman Yu. M., Gintov O. B., Ostanin A. M., Kolesnikova E. Ya., Murovskaya A. V., 2008. On the role of structural and kinematic identification of tectonic faults in the formation of the structure and geodynamics of the Crimean region. *Geofizicheskiy zhurnal* 30(1), 49—61 (in Russian).
- Volfman Yu. M., Kolesnikova E. Ya., Ostanin A. M., 2012. Results of the study tectonophysical recent tectonic faulting within the Crimean Black Sea region and their implications for geodynamic reconstructions. *Azov-Black Sea polygon studying geodynamics and fluid dynamics of formation of oil and gas fields. Coll. reports X Int. Conf. «Crimea-2012»*. Simferopol, P. 101—116 (in Russian).
- Gintov O. B., 2005. Field tectonophysics and its application in the study of crustal deformation in Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O. B., Isay V. M., 1988. Tectonophysical study faults crust. Kiev: Naukova Dumka, 228 p. (in Russian).
- Gintov O. B., Murovskaya A. V., 2000. Problems of crustal dynamics of the Crimean Peninsula in the Meso-Cenozoic (tectonophysical aspect). 1-2. *Geofizicheskiy zhurnal* 22(2), 39—60; 22(3), 36—49 (in Russian).
- Gonchar V. V., 2003. Stress field of the Crimean Mountains and its geodynamic interpretation. *Dopovidi NAN Ukrainy* (3), 97—104 (in Russian).
- Gonchar V. V., Patalakha E. I., Gintov O. B., 2004. Models stretching and Prirazlomnoe inclusion in paleotectonic reconstruction of the Crimean Mountains. *Dopovidi NAN Ukrainy* (6), 112—118 (in Russian).
- Gushchenko O. I., 1979. Method of kinematic analysis of the structures of destruction in the reconstruction of tectonic stress fields. In: *Stress and strain fields in the lithosphere*. Moscow: Nauka, P. 7—25 (in Russian).
- Gushchenko O. I., Mostryukov A. O., Petrov V. A., 1991. Structure of the field of contemporary regional stress seismically active zones of crustal eastern Mediterranean active zone. *Doklady AN SSSR* 312(4), 830—835 (in Russian).
- The conceptual debate Geodynamics Crimean Black Sea region, 1997*. In: *Geodynamics Crimean Black Sea region*. Simferopol: Institute of Geophysics NASU, Crimean advisory council, P. 135—148 (in Russian).
- Korchmagin V. A., Yemets V. S., 1987. Features of tectonic structure and stress field of Donbass and Eastern Azov. *Geotektonika* (3), 49—55 (in Russian).
- Murovskaya A. V., 2011. Stress-strain state Heracleian volcano-tectonic unit of the Crimean Mountains. *Geofizicheskiy zhurnal* 33(6), 46—56 (in Russian).
- Novik N. N., Volfman Yu. M., 1997. Evolution of planetary stress fields within seismically active regions of Ukraine, the latest breaks and discontinuous displacement. In: *Geodynamics Crimean Black Sea region*. Simferopol: Institute of Geophysics NASU, Crimean advisory council, P. 81—90 (in Russian).
- Parfenov V. D., 1984. A Method tectonophysical analysis of geological structures. *Geotektonika* (1), 60—72 (in Russian).
- Pustovitenko A. A., 2007. Crimea (catalog focal mechanisms). Earthquakes in Northern Eurasia in 2001. Moscow: GS RAS, (on CD) (in Russian).
- Pustovitenko B. G., 2002. Focal mechanisms of earthquakes tangible Crimean Black Sea last 20 years. Proc.: *Seismological Bulletin of Ukraine for 2000*. Sevastopol: NPC «EKOSI-Gidrofizika», P. 59—64 (in Russian).
- Reconstruction of kinematic environments latest faulting and seismicity Crimean Black Sea region in order to estimate the parameters of the local seismicity and seismic hazard specification: Report* (Yu. M. Volfman, B. G. Pustovitenko, A. A. Pustovitenko, E. Ya. Kolesnikova, A. M. Ostanin), 2011. Simferopol-Kiev: Institute of Geophysics NASU, 95 p. (in Russian).
- Chekunov A. V., Kharitonov O. M., Borisenko L. S., Volfman Yu. M., Kendzera A. V., Pustovitenko B. G., Sklar A. M., 1998. Detailed seismic zoning seismically active regions of Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 20(1), 3—13 (in Russian).

- Yudin V. V.*, 2011. Geodynamics Crimea. Simferopol: DIAYPI, 336 p. (in Russian).
- Allmendinger R. W., Cardozo N. C., Fisher D.*, 2012. Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 289 p.
- McKenzie D. P.*, 1969. The relation between fault plane solutions for earthquakes and the directions of the principal stresses. *Bull. Seism. Soc. Am.* 59(2), 591—602.
- Delvaux D., Sperner B.*, 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. New insights into structural interpretation and modelling. *Geol. Soc. London, Spec. Pub.* 212, 75—100.