

## ОТРАЖЕНИЕ РАЗНОРАНГОВЫХ СИСТЕМ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ТРАНСФОРМАЦИЙ В ПРОЦЕССАХ СЕЙСМОТЕКТОГЕНЕЗА

Рассмотрены особенности проявления короткопериодных вариаций сейсмогенерирующих полей напряжений. Показана возможность реконструкции трансформаций систем напряжений в разных кинематических обстановках.

**Ключевые слова:** разрывообразование, сейсмостектогенез, поля напряжений, очаг землетрясения, кинематические обстановки, деформационные режимы.

### Введение

Геодинамические модели горно-складчатых регионов, в том числе, Средиземноморско-Гималайского пояса, предполагают наличие в моделируемых геосистемах тектонических напряжений постоянной направленности в течение длительных периодов, сопоставимых с таксонами геохронологической шкалы. Эти напряжения, обусловленные латеральным перемещением и взаимодействием литосферных плит, характеризуют геодинамические обстановки, доминирующие в определенные эпохи. Соответственно, в этих моделях сохраняет свое постоянство и структурно-кинематическая характеристика основных, в том числе, сейсмогенерирующих зон разломов.

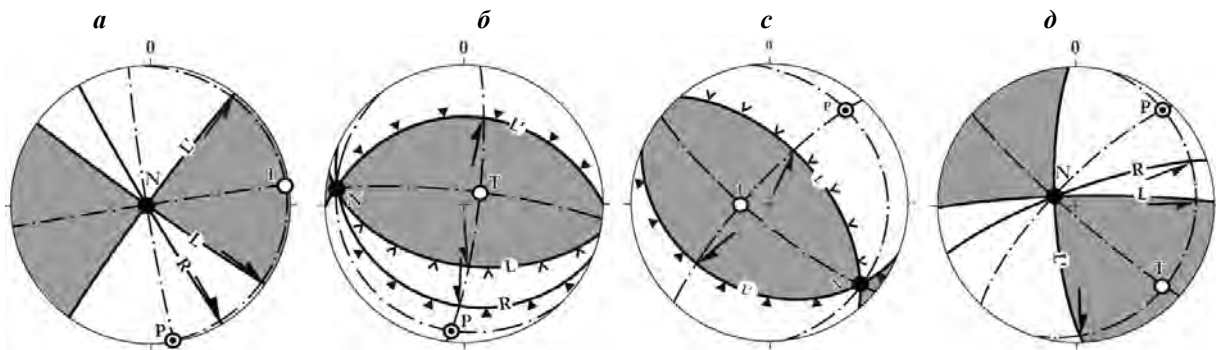
В то же время, тектонофизические и сейсмологические данные свидетельствуют о наличии короткопериодных вариаций и локальных трансформаций поля напряжений, предопределивших многообразие кинематических обстановок и деформационных режимов тектонического разрывообразования. В пунктах тектонофизических наблюдений эти вариации устанавливаются по совместному проявлению структурно-кинематических парагенезисов новейших тектонических разрывов и смещений, сформированных в разных геодинамических обстановках. В сейсмологии они проявляются в решениях механизмов очагов землетрясений с различными ориентировками тензора напряжений, локализованных в пределах одной и той же сейсмогенной зоны, но возникших в разных условиях. Известны случаи, когда характер и направленность напряжений и деформаций существенно менялись в пределах одной очаговой зоны в процессе ее афтершоковой активизации [Газлийские, 1986 и др.].

В основном короткопериодные вариации обусловлены: 1) инверсиями геодинамических обстановок, когда оси сжатия и растяжения меняются местами; 2) состоянием неустойчивого равновесия региональных геодинамических систем, подверженных разностороннему сжатию; 3) локальными трансформациями региональных полей напряжений в процессе релаксации и перераспределения напряжений на отдельных участках, особенно в пределах зон динамического влияния крупных разломов или в окрестностях очага землетрясения. Возможно и комбинаторное сочетание указанных факторов.

1. Эффект инверсии полей тектонических напряжений в различные периоды фанерозоя, в том числе, в течение киммерийского и альпийского этапов (и даже в плейстоцене), установлен по результатам тектонофизических исследований в Крыму, Карпатах, на Вольно-Подоллии и на Украинском щите [Гинтов, 2001; Вольфман, 2008 и др.]. Он проявляется в чередовании обстановок как субмеридионального, так и диагонального сжатия и растяжения. При этом проекции „активных” (обуславливающих эти обстановки) осей напряжений на стереограммах группируются в пределах четырех пар узких, диаметрально противоположных секторов меридиональной, широтной и диагональных ориентировок, указывая на строгую избирательность их направлений. Подобная избирательность и инверсионный характер (особенно в отношении ориентировок осей сжатия) отмечается для очагов землетрясений всего Средиземноморско-Гималайского пояса [Гущенко, 1979], в том числе подтверждается реконструкциями условий разрывообразования в очагах Крымско-Черноморского региона и в зоне Вранча [Пустовитенко, 2002 и др.]. В пределах Крыма и Северного Причерноморья сложная полихронная цикличность колебательных тектонических движений земной коры, послужившая причиной инверсионных изменений полей напряжений, обусловлена чередованием обстановок продольного субмеридионального сжатия и растяжения в регионе [Вольфман, 2008]. Повсеместное распространение и строгая выдержанность ориентировок полей напряжений относительно сторон света дают основание полагать, что данные поля обусловлены общепланетарными причинами, наиболее вероятными из которых являются лунно-солнечные приливные деформации тектоносферы и ротационные силы. Следует отметить, что в этих системах ориентировки осей ортогональных напряжений совпадают с направлениями максимальных касательных напряжений, соответствующих положению разрывов в системах диагонального типа, и наоборот (рис. 1 *a, d*). Это указывает на возможную взаимообусловленность этих систем напряжений: одна из систем (вероятнее всего, ортогональная) трансформируется во вторую (диагональную) в процессе деформирования среды и релаксации накапливаемых напряжений от внешнего по отношению к деформируемому объему источника напряжений.

2. Примером неустойчивого равновесия геодинамических систем, подверженных разностороннему сжатию, является складчато-разрывная система Загрос. Основные особенности напряженно-деформированного состояния этого региона обусловлены продолжающимся движением Аравийской плиты в северном направлении, предопределившим возникновение большей части (около 60%) очагов землетрясений в обстановках субмеридионального сжатия (рис. 1 *a, б*). Вторым по значимости фактором является влияние процессов дивергенции в пределах Красноморского рифта, обусловившее формирование около 35 % очагов в условиях юго-западного–северо-восточного сжатия (рис. 1 *с, д*). Проявление указанных обстановок в виде дискретных событий – очагов землетрясений того или иного типа, свидетельствует о том, что данная геодинамическая система находится в состоянии неустойчивого равновесия, постоянно подвергаясь сжатию в двух направ-

лениях. Современные деформации, в частности сейсмогенные разрывы, отражают не суммарное воздействие указанных типов полей напряжений как некоего результирующего поля (например, по „правилу параллелограмма“), а поочередное преобладание напряжений одного типа поля над другим [Вольфман, 2013]. При этом в одних и тех же региональных обстановках (субмеридионального или диагонального сжатия) формируются очаги как сдвигового, так и взбросового типов (рис. 1). Этот факт устраняет кажущееся противоречие в геодинамических моделях, трактующих систему Загрос либо как региональный правый сдвиг, либо как зону поддвига, унаследовавшую субдукционную природу северо-восточной окраины Паратетиса, поскольку сейсмогенные разрывы общезагросского (северо-западного) простирания проявляются и в виде правых сдвигов, и в виде взбросов или поддвигов (плоскости **L** на рис. 1 *a, c*).



**Рис. 1.** Стереографические модели основных типов сейсмогенеза системы Загрос, отражающие различные геодинамические обстановки и деформационные режимы разрываобразования (в порядке проявления):

*a, б* – обстановки субмеридионального сжатия, режимы сдвиговый и взбросовый соответственно; *с, д* – обстановки юго-западного–северо-восточного сжатия, режимы взбросовый и сдвиговый. Оси напряжений: **P** – сжатия, **T** – растяжения и **N** – промежуточная; **L** и **R** – типы сколов в составе структурно-кинематических парагенезисов сейсмогенных разрывов (по [Вольфман, 2013]). Построения – на нижней полусфере.

3. Локальные трансформации региональных полей напряжений проявляются в очагах землетрясений, механизмы которых хоть и имеют определенное сходство с моделями основных обстановок сейсмогенеза, но при этом не образуют статистически представительных выборок по идентичности структурно-кинематических параметров. В основном эти очаги характеризуются взбросо- и сбросо-сдвиговым, взбросо-сбросовым или октаэдрическим деформационными режимами (по классификации О.И. Гущенко), как правило, сохраняя секторальное распределение ориентировок осей напряжений. Это свидетельствует о том, что трансформации систем напряжений происходят, главным образом, путем „опрокидывания” этих систем относительно горизонтальной поверх-

ности. При этом оси напряжений, обуславливающие условия сжатия или растяжения в регионе, несколько изменяют угол падения, сохраняя свои ориентировки. На рис. 2, на примере системы Загрос, показана возможность последовательной реконструкции трансформаций сейсмогенерирующих систем напряжений, проявившихся в различных кинематических обстановках.

Таким образом, кинематический анализ сейсмогенерирующих систем напряжений, позволяет идентифицировать доминирующие обстановки в регионе и обосновать последовательность трансформаций полей напряжений, отражающих локальные изменения напряженно-деформированного состояния среды.



Рис. 2. Последовательность трансформаций сейсмогенерирующих систем напряжений системы Загрос в обстановках субмеридионального (а) и юго-западного – северо-восточного (б) сжатия.

#### Литература

Вольфман Ю.М. О влиянии кинематических обстановок на цикличность геологических процессов в пределах Крыма и Северного Причерноморья в течение альпийского этапа // Геофиз. журн. – 2008. – 30, № 5. – С. 101-114.

Вольфман Ю.М. Структурно-кинематическая идентификация сейсмогенных зон системы Загроса (по данным решений механизмов очагов землетрясений) // Геофиз. журн. – 2013. – 35, – № 2. – С. 38-64.

Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг // Шебалин Н.В., Ибрагимов Р.Н., Чернов Ю.К. и др. – Ташкент: Фан. – 1986. – 368 с.

Гинтов О.Б. Планетарные деформации земной коры, ротация Земли и движение литосферных плит // Геофиз. журн. – 2001. – 23, – № 4. – С. 69-82.

Гуценко О. И. Реконструкция поля мегарегиональных тектонических напряжений сейсмоактивных областей Евразии // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука. – 1979. – С. 26-51.

Пустовитенко Б.Г. Механизмы очагов ощутимых землетрясений Крымско-Черноморского региона последних 20 лет // Сейсмологический бюллетень Украины за 2000 год. – Севастополь: НПЦ „ЖКОСИ-Гидрофизика”. – 2002. – С. 59-64.

### ВІДОБРАЖЕННЯ РІЗНОРАНГОВИХ СИСТЕМ НАПРУЖЕНЬ ТА ЇХ ТРАНСФОРМАЦІЙ В ПРОЦЕСАХ СЕЙСМОТЕКТОГЕНЕЗУ

Ю.М. Вольфман

Розглянуті особливості прояву короткоперіодних варіацій полів напружень, що генерують сейсмічність. Показано можливість реконструкції трансформацій систем напружень в різних кінематичних обставинах.

**Ключові слова:** розривоутворення, сеймотектогенез, поля напружень, вогнище землетрусу, кінематичні обставини, деформаційні режими.

### REFLECTION OF SYSTEMS OF STRESSES OF DIFFERENT RANK AND OF THEIR TRANSFORMATIONS IN THE PROCESSES OF SEISMOTECTOGENESIS

Y.M. Volfman

The effects of short-period variations in the stress fields that generate seismicity are considered. A possibility is shown of reconstructing the transformations of stress systems in various kinematics situations.

**Key words:** faulting, seismotectogenesis, stress fields, earthquake source, kinematic conditions, deformation regimes.