

О. И. ГУЩЕНКО

**КИНЕМАТИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП РЕКОНСТРУКЦИИ
НАПРАВЛЕНИЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

(по геологическим и сейсмологическим данным)

(Представлено академиком М. А. Садовским 13 VI 1975)

Повсеместное распространение в массивах горных пород различных по генезису и ориентировкам в пространстве систем ослабленных поверхностей обуславливает возникновение в процессе деформации массива целого спектра сдвиговых разрывных смещений. Совокупность ориентировок этих смещений на определенном масштабном уровне определяется лишь направлениями и соотношением величин внешних воздействующих на массив главных напряжений (¹, ^{2a}). Этот вывод сделан автором на основе установленного соответствия между типами пространственного распределения ориентировок таких смещений, фиксируемыми в массивах горных пород (¹, ^{2b-e}), и теоретическими типами распределения направлений действия касательных напряжений τ_n , отвечающих определенным видам напряженного состояния (^{2a}).

В связи с этим одной из основных и первоочередных задач реконструкции напряженного состояния следует считать выделение по геологическим, сейсмологическим или геодезическим данным таких элементарных участков твердой оболочки Земли, в пределах которых на определенном структурном уровне фиксируемый комплекс ориентировок сдвиговых разрывных смещений соответствует одному из рассматриваемых ниже теоретических типов распределения направлений τ_n , характеризующих элементарный* однородно-напряженный массив. Выявление такого соответствия является достаточным основанием для использования формализованной ниже взаимосвязи направлений τ_n и главных нормальных напряжений в качестве принципа реконструкции последних по известной совокупности разрывных смещений.

С позиций механики сплошных сред взаимосвязь ориентировок τ_n с направлениями главных нормальных напряжений $\sigma_1\sigma_2\sigma_3$ (при $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) может быть охарактеризована (^{2a}) выражением

$$\cos \beta_{1,3} = n_{1,3} \frac{\pm 2 \sin^2 \alpha_{1,3} - n_2^2 (\mu_\sigma \pm 1)}{\sqrt{4n_1^2 \sin^2 \alpha_1 - 4n_1^2 n_2^2 (\mu_\sigma + 1) + n_2^2 \sin^2 \alpha_2 (\mu_\sigma + 1)^2}}, \quad (1)$$

где β_1, β_3 — углы между направлением τ_n (на площадке с нормалью n) и осями напряжений σ_1 и σ_3 соответственно; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — углы между направлением нормали n и осями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$; n_1, n_2, n_3 — направляющие косинусы этих углов; $\mu_\sigma = 2(\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3) - 1$ — коэффициент Лодэ — Надаи, характеризующий тип напряженного состояния, все возможные значения которого заключены в пределах $+1 \geq \mu_\sigma \geq -1$. Соотношение (1) свидетельствует о независимости направлений τ_n от первых трех инвариантов тензора напряжений.

Для графической формализации взаимосвязи τ_n с направлениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ рассчитаны и построены стереограммы распределения ориентировок τ_n при различных значениях μ_σ и постоянных направлениях главных осей тен-

* Под элементарным массивом понимается участок сплошной среды, подверженный воздействию устойчивых во времени и единых по своим ориентировкам в пространстве внешних главных напряжений ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).

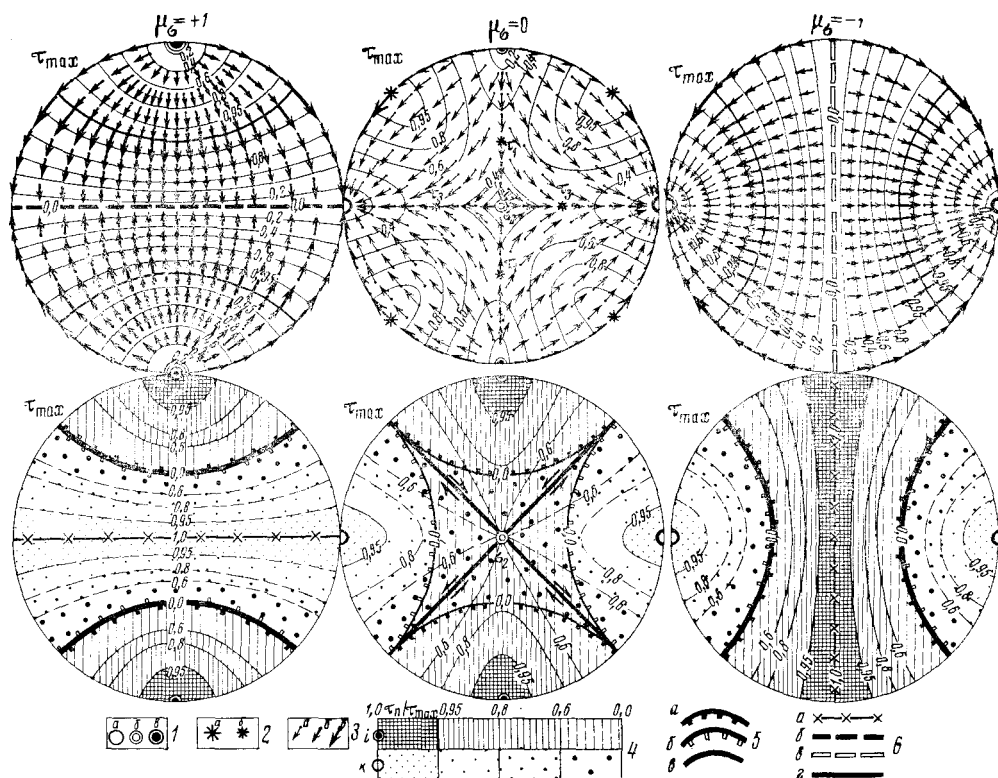


Рис. 1. Стереогаммы теоретических типов распределения направлений действия касательных напряжений τ_n элементарного однородно-напряженного массива (верхний ряд) и соответствующих им распределений ориентировок осей i и k (нижний ряд) для трех типов начального состояния (в проекции на верхнюю полусферу). 1, 2 — проекции точек выхода осей: 1 — главных нормальных $\sigma_1(a)$, $\sigma_2(b)$, $\sigma_3(\theta)$, 2 — главных касательных максимальных $\tau_2(a)$, τ_1 , $\tau_3(b)$ напряжений; 3 — проекция направления τ_n , фиксируемого в точке полюса площадки действия касательного напряжения для всякого крыла: a — случайно ориентированных, b — параллельных осям σ_1 , σ_2 , σ_3 , θ — параллельных плоскостям действия τ_{max} площадок. На стереогаммах верхнего ряда изолиниями отображено распределение величин τ_n/τ_{max} , численно равных знаменателю в соотношении (1). 4 — шкала отклонений границ разброса осей k (пунктирные линии) и осей i (сплошные линии) от направления действия σ_1 и σ_3 соответственно в зависимости от величин τ_n/τ_{max} (на стереогаммах нижнего ряда области распределения ориентировок осей k покрыты крапом, а осей i — штриховкой); 5 — проекция прямоугольной конической поверхности, фиксирующей границу области обособленного распределения осей i (a) и k (b), поверхности действия τ_{max} (θ); 6 — проекция следа главных плоскостей: a — фиксирующих геометрическое место точек выходов всей совокупности ориентировок осей x , b — σ_3 ; θ — σ_1 ; z — τ_{max}

зора напряжений (рис. 1, верхний ряд). Ориентировки τ_n на такого типа стереогаммах, называемых нами кинематическими, изображаются (¹) в точке полюса площадки действия напряжения τ_n в виде проекций направления вектора, действующего в всячем крыле, на верхнюю полусферу.

Приведенные на рис. 1 (верхний ряд) два предельных и один из промежуточных типов * распределения τ_n позволяют формализовать фиксируемые в природе особенности сдвиговой кинематики массивов горных пород и ее взаимосвязь с направлениями воздействующих на них внешних главных напряжений в виде следующего кинематического признака элементарного однородно нагруженного массива. На определенном структурном уров-

* При $\mu_\sigma=0$ приведенные стереогаммы соответствуют: случай $\mu_\sigma=+1$ напряженному состоянию типа чистого сжатия, $\mu_\sigma=-1$ — чистого растяжения, $\mu_\sigma=0$ — чистого сдвига.

не особенности сдвиговой кинематики элементарного массива могут характеризоваться лишь одним из двух возможных принципиальных типов пространственного распределения ориентировок сдвиговых смещений: I — одноосным (при $|\mu_\sigma| = 1$) или II — трехосным (при $|\mu_\sigma| \neq 1$), фиксируемых на кинематических стереограммах расположением каждой из ориентировок смещений лишь (рис. 2):

I — по касательным к дугам больших кругов одной совокупности, включающей в себя семейство дуг, пересекающихся в единственной точке стереограммы (рис. 2, I) ⁽¹⁾. Такая точка соответствует проекции точки выхода либо оси σ_3 — при единстве расходящихся от нее направлений смещений и смене их знака на противоположный в области проекции следа плоскости действия σ_3 (при $\mu_\sigma = +1$), либо оси σ_1 — при сходящихся к ней направлениях и смене знака смещений в области проекции следа плоскости σ_1 (при $\mu_\sigma = -1$);

II — в створах острых углов, образованных в точках полюсов нарушений пересечением дуг больших кругов двух взаимно ортогональных их совокупностей (рис. 2, II). Точка пересечения всех дуг одной из таких совокупностей соответствует проекции выхода оси σ_3 , если направления смещений от нее расходятся, сходясь к точке пересечения дуг второй совокупности, фиксирующей проекцию выхода оси σ_1 .

Для формализации принципов реконструкции σ_1 , σ_2 , σ_3 по сейсмологическим данным важной особенностью выявленных ⁽¹⁻³⁾ кинематических типов структур разрушения элементарных массивов является наличие соответствующих им строго закономерных типов распределения всей совокупности ориентировок осей k , i , x (рис. 1, нижний ряд), направлениями которых обычно характеризуются два допустимых взаимно ортогональных варианта (рис. 2) ориентировки сдвигового смещения в очаге землетрясения ⁽⁴⁾.

Совокупность ориентировок условных осей сжатия i и растяжения k , отражающая кинематику структуры сеймотектонического разрушения

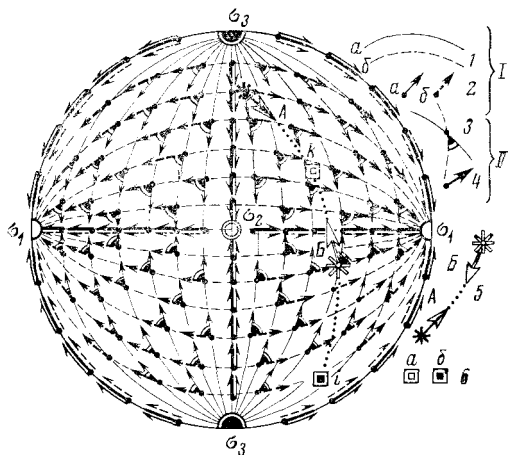


Рис. 2. Стереографическая характеристика двух принципиальных типов кинематики структур разрушения элементарных массивов. I — одноосный тип (при $|\mu_\sigma| = 1$). 1 — дуги больших кругов, фиксирующие на стереограмме положение ориентировок сдвиговых разрывных смещений в структурах сжатия при $\mu_\sigma = +1$ (а), в структурах растяжения при $\mu_\sigma = -1$ (б); 2 — направления сдвиговых относительных смещений висячих крыльев нарушений в структурах сжатия (а) в структурах растяжения (б); II — трехосный тип (при $|\mu_\sigma| \neq 1$). 3 — створы острых углов (заштрихованы), фиксирующие весь диапазон возможных ориентировок разрывных смещений в трехосных структурах разрушения; 4 — направления сдвиговых смещений в трехосных структурах разрушения, не зависящие от величины μ_σ и фиксирующие на стереограмме след проекции плоскостей действия главных нормальных напряжений. 5, 6 — принципиальный пример изображения двух взаимно ортогональных вариантов ориентировки сдвигового смещения в очаге землетрясения: а — вариант ориентировки смещения, согласующийся с изображенной схемой направлений σ_1 σ_2 σ_3 (реализованный в очаге), б — ей противоречащий; в — проекции точек выходов условных осей растяжения k (а) и сжатия i (б), соответствующих обоим вариантам смещений

элементарного массива, в определенном масштабно-энергетическом диапазоне сдвиговых смещений может характеризоваться лишь (рис. 1, нижний ряд): 1) конусным типом распределения ориентировок этих осей (при $|\mu_\sigma|=1$), разделенных на две области их абсолютного обособления одной прямоугольной (с углом при вершине конуса 90°) конической поверхностью, соответствующей поверхности действия $\tau_{\max}$ и осью, совпадающей с направлением либо σ_3 (ось конуса направлений i) при $\mu_\sigma=+1$ или σ_1 (ось конуса направлений k) при $\mu_\sigma=-1$; при конусном типе распределения осей k и i проекция следа плоскости действия σ_3 (при $\mu_\sigma=+1$) или σ_1 (при $\mu_\sigma=-1$) фиксируется геометрическим местом точек проекций всей совокупности осей x ; 2. Относительным квадратным типом распределения ориентировок этих осей (при $|\mu_\sigma|\neq 1$), разделенных на области их обособленного распространения (в пределах которых ориентировки осей k и i не смешиваются) двумя прямоугольными коническими поверхностями с осью одной из них, совпадающей с направлением σ_3 (ось конуса обособленных направлений i) и осью другой — с направлением σ_1 (ось конуса обособленных направлений k).

Для каждого типа распределения осей i и k правомерным вариантом реконструкции ориентировок $\sigma_1\sigma_2\sigma_3$ может считаться лишь такой, с которым в соответствии со сформулированным выше кинематическим признаком согласуется как минимум один из допустимых сейсмологических определениями вариантов ориентировки сдвигового смещения (рис. 2, вариант А) каждого из очагов анализируемой совокупности землетрясений. Такой вариант смещения следует считать реализованным в очаге.

Реконструкция σ_1 , σ_2 , σ_3 и μ_σ^* производится при последовательном во времени и пространстве вовлечении в анализ все более низких масштабных или энергетических порядков комплексов таких сдвиговых смещений, вся совокупность ориентировок которых соответствует одному и тому же типу кинематики всей структуры разрушения массива в целом.

Применение такого типа анализа как к геологическим, так и сейсмологическим данным позволило не только выявить соответствие кинематических типов структур разрушения теоретическим типам распределения τ_n , но и разграничить по кинематическому признаку проявления и характеризовать различные масштабно-энергетические уровни полей напряжений (^{1, 26, 3}), а также сформулировать применительно к данным о механизмах очагов слабых землетрясений кинематический принцип фиксации возмущений локального поля напряжений, сопровождающих процесс зарождения и развития в окрестностях элементарного массива сдвигового сейсмоструктурного смещения иного, более высокого масштабно-энергетического уровня (³). Последнее обстоятельство, по мнению автора, позволяет рассматривать изложенный в работе принцип в качестве основы способа регистрации кинематических предвестников сильных землетрясений.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
11 VI 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. И. Гуценко, ДАН, т. 210, № 2, 331 (1973). ² Сб.: Механика литосферы (Тез. докл. Всесоюзн. научн.-технич. совещ., Л., 1974, М., 1974: а) О. И. Гуценко, Л. А. Сим., там же, стр. 5. б) О. И. Гуценко, В. В. Степанов, там же, стр. 26. в) В. В. Степанов, О. И. Гуценко, там же, стр. 84. г) Д. Н. Осокина, А. С. Григорьев, О. И. Гуценко и др., там же, стр. 13. ³ Д. Н. Осокина, А. С. Григорьев, О. И. Гуценко и др., Тез. докл. Международн. симпоз. по поискам предвестников землетрясений, Ташкент, 1974, М., 1974, стр. 26. ⁴ А. В. Введенская, Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций, М., «Наука», 1969, стр. 136.

* После нахождения направлений σ_1 , σ_2 , σ_3 производится расчет коэффициента μ_σ для каждой из реализованных плоскостей с помощью формулы (1). Определение μ_σ следует положить в основу районирования земной коры по типу ее напряженного состояния.