

А. В. ВВЕДЕНСКАЯ

**ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ УДАЛЕННЫХ СТАНЦИЙ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 4 VIII 1951)

В настоящей заметке рассматривается вопрос об определении динамических параметров очага (характера разрывов, ориентации поверхностей разрывов, направлении действовавших сил) по наблюдениям удаленных станций. Существующие методы определения динамических параметров очагов ⁽¹⁾ основаны на теории распространения колебаний в однородных средах с плоскими границами. Чтобы применить эти методы к случаю удаленных землетрясений, необходимо еще учесть или исключить влияние неоднородности внутренних (подкорковых) слоев. Учет этого влияния связан с большими трудностями. Мы пытаемся его исключить, выбирая исходные данные, которые в наименьшей степени связаны с неоднородностью внутреннего строения Земли. Допускаем, что к числу таких данных относятся: 1) отношение первых смещений в волнах *P* и *S*, 2) направление смещения в первом вступлении *S* ⁽²⁾, 3) знак смещения (сжатие или разрежение) в первом вступлении *P*. Сделанное допущение может быть проверено в ходе интерпретаций по схожимости наблюдений различных станций. Влияние же границ раздела земной коры можно приближенно оценить с помощью теории плоских волн.

В однородной среде выбранные исходные данные, начиная с достаточно большого расстояния от очага, зависят только от угловых координат точки наблюдения относительно источника ⁽³⁾:

$$\frac{U_a}{U_b} = \text{ctg}(\mathbf{RK}) \left(\frac{b}{a}\right)^{l+1}, \tag{1}$$

$$U_b^{(x)} : U_b^{(y)} : U_b^{(z)} = [\cos(\mathbf{K}x) - \cos(x\mathbf{R}) \cos(\mathbf{KR})] : \\ : [\cos(\mathbf{K}y) - \cos(y\mathbf{R}) \cos(\mathbf{KR})] : [\cos(\mathbf{K}z) - \cos(z\mathbf{R}) \cos(\mathbf{KR})], \tag{2}$$

$$U_a = \frac{A_{l+1}(\gamma, \varphi)}{K a^{l+1}} \frac{\partial^{l-1}}{\partial t^{l-1}} K \left(t - \frac{R}{a}\right). \tag{3}$$

Здесь *x, y, z* — прямоугольная система координат с центром в источнике; *K, γ, φ* — сферические координаты точки наблюдения относительно источника, отсчет *γ, φ* ведется от его осей; *U_a, U_b* — вектора смещения в продольной и поперечной волнах; *U_b^(p)* — компоненты *U_b* по осям *x, y, z*; *l* — порядок источника; *KR* — угол между вектором сил или напряжений *K* и радиусом-вектором *R*.

Если введенные допущения правильны, то при наблюдении над удаленными землетрясениями знак *U_a*, величины *U_a|U_b, U_a|U_b^(p)* и отношение двух любых компонент *U_b* будут зависеть только от направления касательной к лучу в точке выхода из очага (направления, которое имел бы луч в однородной среде). Тогда при обработке наблюдений

удаленных станций можно пользоваться формулами (1), (2), если считать в них R — касательной к лучу в точке выхода из очага. При этом Rz будет равен углу выхода e , $\arcsin \cos(Rx) / (\cos e)$ — азимуту на эпицентр A_z . (Оси системы x, y, z направлены соответственно на В, С к центру Земли.) Уравнение (3) можно использовать лишь в виде:

$$A_{l+1}(\gamma_0, \varphi_0) = 0, \quad (4)$$

где γ_0, φ_0 — координаты точек, для которых $U_a = 0$. Вместо (4) удобнее пользоваться уравнениями условных нодальных линий, т. е. линиями пересечения (4) с плоскостью $z = 1$. Знак U_a каждой станции можно присписать точке этой плоскости с координатами $x^2 + y^2 = \text{ctg } e$, $y/x = \text{tg } A_z$; затем условные нодальные линии определить с помощью интерполяции. Простая сила и двойная сила без момента могут

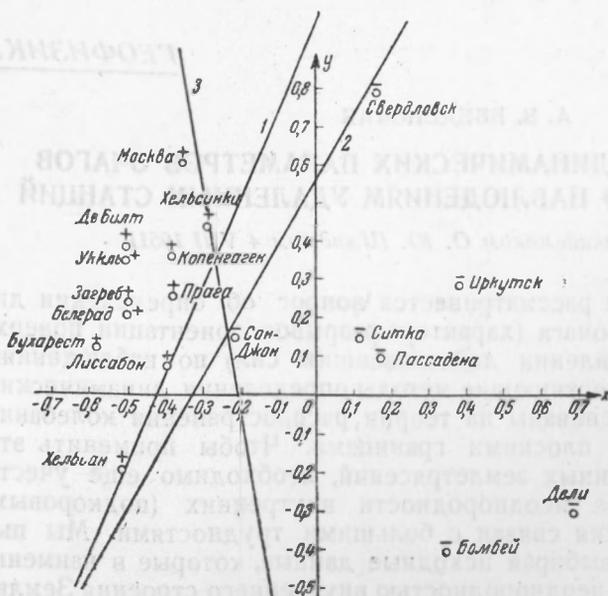


Рис. 1

иметь одну нодальную линию (3) — прямую:

$$\alpha_x x + \beta_x y + \gamma_x = 0, \quad (5)$$

где $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$ — направляющие косинусы вектора K в системе x, y, z . Двойная сила с моментом может иметь не более двух нодальных линий (3): соответствующую уравнению (5), и

$$\alpha_y x + \beta_y y + \gamma_y = 0, \quad (6)$$

где $\alpha_y, \beta_y, \gamma_y$ — направляющие косинусы перпендикуляра к плоскости, содержащей K и ось диполя.

Из (1), (2), (5), (6) необходимо определить: 1) $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$; 2) тип рассматриваемого источника (характер разрывов в очаге); 3) $\alpha_y, \beta_y, \gamma_y$ (положение плоскости разрыва); 4) ошибку интерпретации. α_x, β_x можно определить графическим решением исходных уравнений; оно сводится к построению на плоскости с координатами α_x, β_x частей эллипсов, каждая из которых соответствует независимому значению наблюдаемых величин $U_a|U_b, U_a|U_b^{(p)}, U_b^{(p)}|U_b^{(q)}$ ($p=x, y, z; q=x, y$), c_x, k_x . При этом под U_a, U_b следует понимать определяемые из наблюдений по теории плоских волн смещения в волнах, падающих на земную поверхность; c_x, k_x — угловой коэффициент и начальную ординату (5).

Легко показать, что на плоскости $\alpha_x \beta_x$ уравнение (1) определяет эллипс с центром в точке $\alpha_0 = \pm \cos(Rx) \cos e \sin A_z, \beta_0 = \pm \cos(Rx) \cos e \cos A_z,$

большой осью $n = \sin(Rx)$, малой осью $m = \sin(Rx) \sin e$, наклоном φ малой оси к β_x , равным A_z . (7)

При $(Rx) < e$ все точки этого эллипса удовлетворяют уравнению (1)

при одинаковом знаке γ_x (γ_x имеет тот же знак, что и $\cos(Rx)$). Если $(Rx) > e$, то уравнению (1) с постоянным знаком γ_x будет удовлетворять лишь часть рассматриваемого эллипса, как при интерпретации близких землетрясений по методу В. И. Кейлжис-Борока. Независимые значения α_x, β_x можно найти, наблюдая нодальную линию, соответствующую уравнению (5). (5) определит на плоскости $\alpha_x \beta_x$ прямую $\beta_x = -k\alpha_x$ и эллипс

$$\alpha_0 = \beta_0 = 0, n = 1,$$

$$m = \sqrt{\frac{1}{1 + c_x^2}}, \varphi = 90^\circ. \quad (8)$$

При $c_x > 0$ нижний полуэллипс соответствует $\gamma_x > 0$, верхний $\gamma_x < 0$.

Разброс точек пересечения эллипсов и прямых указывает точность интерпретации.

Если наблюдаются две нодальные линии, то очаг может быть эквивалентен лишь двойной силе с моментом или источнику более высокого порядка. Уравнению (5) соответствует та линия, для которой построения (7) и (8) дают близкие значения α_x, β_x . Если наблюдается меньше двух нодальных линий, то определить l можно лишь подбором типа источника — по разбросу точек пересечения кривых и из сравнения наблюдаемых нодальных линий с нодальными линиями, построенными для каждого источника при найденных из (1), (2) $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$. По нодальной линии, соответствующей уравнению (6), можно определить направляющие косинусы $\alpha_y, \beta_y, \gamma_y$ перпендикуляра к плоскости разрыва. В плоскости $\alpha_y \beta_y$ косинусы α_y, β_y будут лежать на пересечении эллипсов:

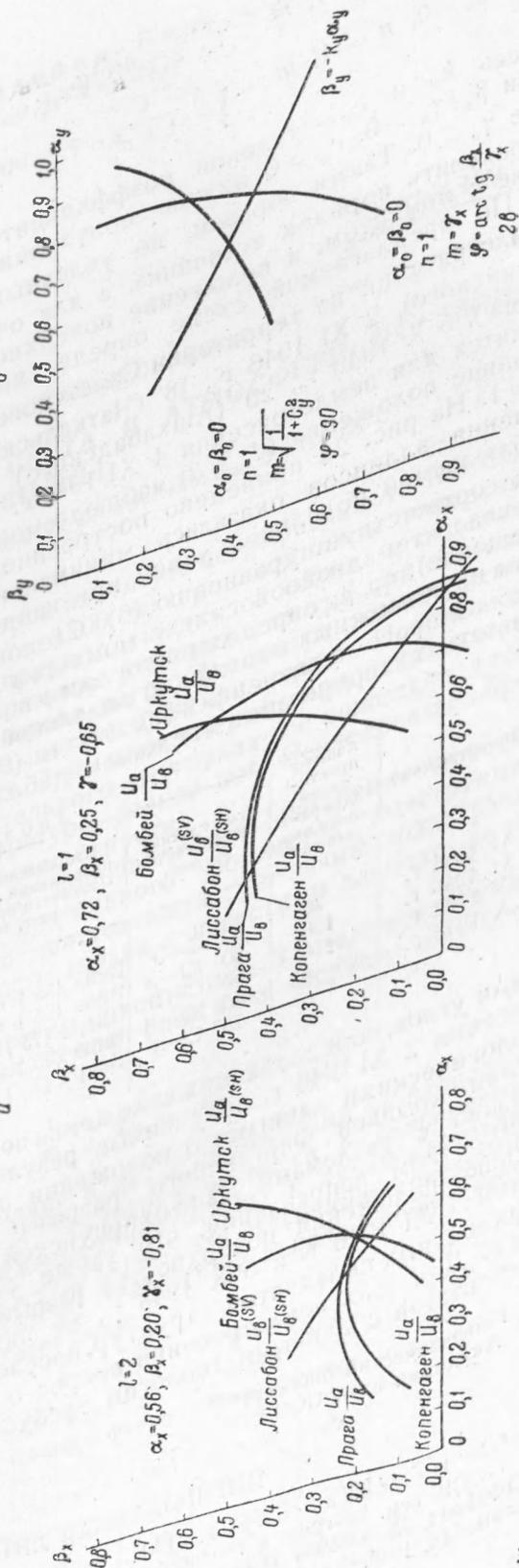


Рис. 2

$$\alpha_0 = \beta_0 = 0, n = 1, m = \gamma_x, \varphi = \arctg \frac{\beta_x}{\gamma_x}, \quad (9)$$

$$\alpha_0 = \beta_0 = 0, n = 1, m = \sqrt{\frac{1}{1+c_y^2}}, \varphi = 90^\circ \quad \text{и прямой } \beta_y = -k_y \alpha_y.$$

Здесь k_y и c_y — угловой коэффициент и начальная ордината (6). При $\beta_x/\gamma_x > 0, c_y > 0$ нижние полуэллипсы соответствуют $\gamma_y > 0$, верхние $\gamma_y < 0$. Таким образом, по условным нодальным линиям можно определить порядок источника, а для очага, эквивалентного двойной силе с моментом, и положение поверхности разрыва.

По предлагаемой схеме определены параметры очагов четырех землетрясений на территории Советского Союза: 4 XI 1946 г., 21^h (Казанжикского), 2 XI 1946 г., 18^h (Чаткальского), 20 IV 1941 г., 17^h (Гармского), 5 X 1948 г., 20^h (Ашхабадского). Необходимые построения приводятся для землетрясения 4 XI 1946 г. На рис. 1 показаны возможные крайние положения (1, 2, 3) наблюдаемой нодальной линии в плоскости $z = 1$. На рис. 2а приведено построение (7) для $l = 1, 2$. Область пересечения эллипсов оказалась минимальной при $l = 2$. Исследование наблюдаемой нодальной линии при найденных $\alpha_x, \beta_x, \gamma_x$ показало, что она соответствует уравнению (6). Следовательно, очаг землетрясения эквивалентен двойной силе с моментом (в очаге произошло разрывное смещение); α_y, β_y определены согласно построению (9) (см. рис. 2б). При этом из возможных положений нодальной линии выбрано положение (2), для которого уравнения (1), (2) и (6) оказались совместными. Результаты интерпретации сведены в табл. 1.

Таблица 1

Землетрясение	Азимут прости- рания поверх- ности раз- рыва в °	Угол падения поверхности разрыва	Направление главных напряжений со стороны висячего крыла (Угол с горизонт. плоскостью)
4 XI 1946 г.	30	60° С—З	Вниз (55°) и Ю—З
2 XI 1946 г.	150	60° Ю—З	Вниз (65°) и С—З
20 IV 1941 г.	100	85° С—В	Вверх (75°) и С—З
5 X 1948 г.	25—85	85° Ю—В 75° С—З	Вниз (75°) и С—В Вверх (75°)

Для трех первых землетрясений точность определения величин, приведенных в табл. 1, соответствует 10—15°. В последнем случае наблюдений оказалось недостаточно; в таблице даны возможные крайние значения

углов, определяющих положение поверхности разрыва. Для землетрясения 2 XI 1946 г. полученные результаты хорошо согласуются с геологическими данными о положении поверхности и характере движения крыльев Ферганского разрыва. Землетрясение 20 IV 1941 г. связано с разломами Даштихирсунской зоны (4), ориентированными в широтном направлении, что также совпадает с данными табл. 1. Однако положения поверхностей разрывов, найденные для землетрясений 4 XI 1946 г. и 5 X 1948 г., не соответствуют направлениям поверхностных складчатых структур, прослеженных в Б. Балхане и Копет-Даге. Для этих землетрясений вопрос о согласованности полученных результатов с данными геологии требует дополнительного изучения.

Геофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
12 VI 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Кейлис-Борок, ДАН, 70, № 6 (1950). ² Ф. И. Монахов, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., 14, № 6 (1950). ³ В. И. Кейлис-Борок, Тр. ГЕОФИАН, № 9, 1936 (1950). ⁴ И. Е. Губин, Гарманское землетрясение 1941 г., Сталинабад, 1949.