

УДК 550.3+539.3

ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Леонид Анатольевич Назаров

Институт горного дела СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, заведующий лабораторией горной информатики ИГД СО РАН, доктор физико-математических наук, тел. (383)217-24-46, e-mail: naz@misd.nsc.ru

Лариса Алексеевна Назарова

Институт горного дела СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, главный научный сотрудник ИГД СО РАН, доктор физико-математических наук, тел. (383)217-24-46, e-mail: naz@misd.nsc.ru

Марина Петровна Козлова

Институт геологии и геофизики им. Трофимука, 630090, Россия, г. Новосибирск, пл. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник ИНГГ СО РАН, тел. (383)333-03-99, e-mail: KozlovaMP@ipgg.nsc.ru

В работе предложена методика количественной оценки фокальных параметров готовящегося сейсмического события по геодезическим данным. Очаг предстоящего сейсмического события ассоциируется с аномальной зоной в окрестности тектонического нарушения и моделируется точечным источником типа «двойная сила с моментом».

Ключевые слова: параметры, аномальные зоны, поле деформаций, смещение земной коры, комплексный анализ сейсмологических данных.

EARTHQUAKE PARAMETERS FORECAST BY GEODETIC OBSERVATIONS

Leonid A. Nazarov

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Russia, Novosibirsk, Krasniy Prosp., 54, chief of the mining information laboratory of Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Dr., tel. (383)217-24-46, e-mail: naz@misd.nsc.ru

Larisa A. Nazarova

Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Russia, Novosibirsk, Krasniy Prosp., 54, chief scientific associate, Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Dr., tel. (383)217-24-46, e-mail: naz@misd.nsc.ru

Marina P. Kozlova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG), 630090, Russia, Novosibirsk, Acad. Koptug av. 3, scientific associate of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (IPGG), tel. (383)333-03-99, e-mail: KozlovaMP@ipgg.nsc.ru

In the paper we propose a technique for quantitative determining parameters of an imminent seismic event focus using geodetic data. The source of the prepared seismic event describes as an anomalous zone in the vicinity of a tectonic fault and simulates by point source as «double force with a moment».

Key words: parameters, anomalous zones, deformation field, the earth's crust displacement, seismological data, comprehensive analysis.

Накопленная в последние годы по GPS данным информация о смещениях земной поверхности позволяет моделировать квазистационарные процессы деформирования геологической среды, которые предшествуют динамическому событию (например, землетрясению).

На рис. 1 стрелками показаны среднегодовые смещения пунктов GPS юга Западной Сибири относительно пункта «Новосибирск», которые фиксировались в течение трех лет до Алтайского землетрясения 27.09.2003 [1].

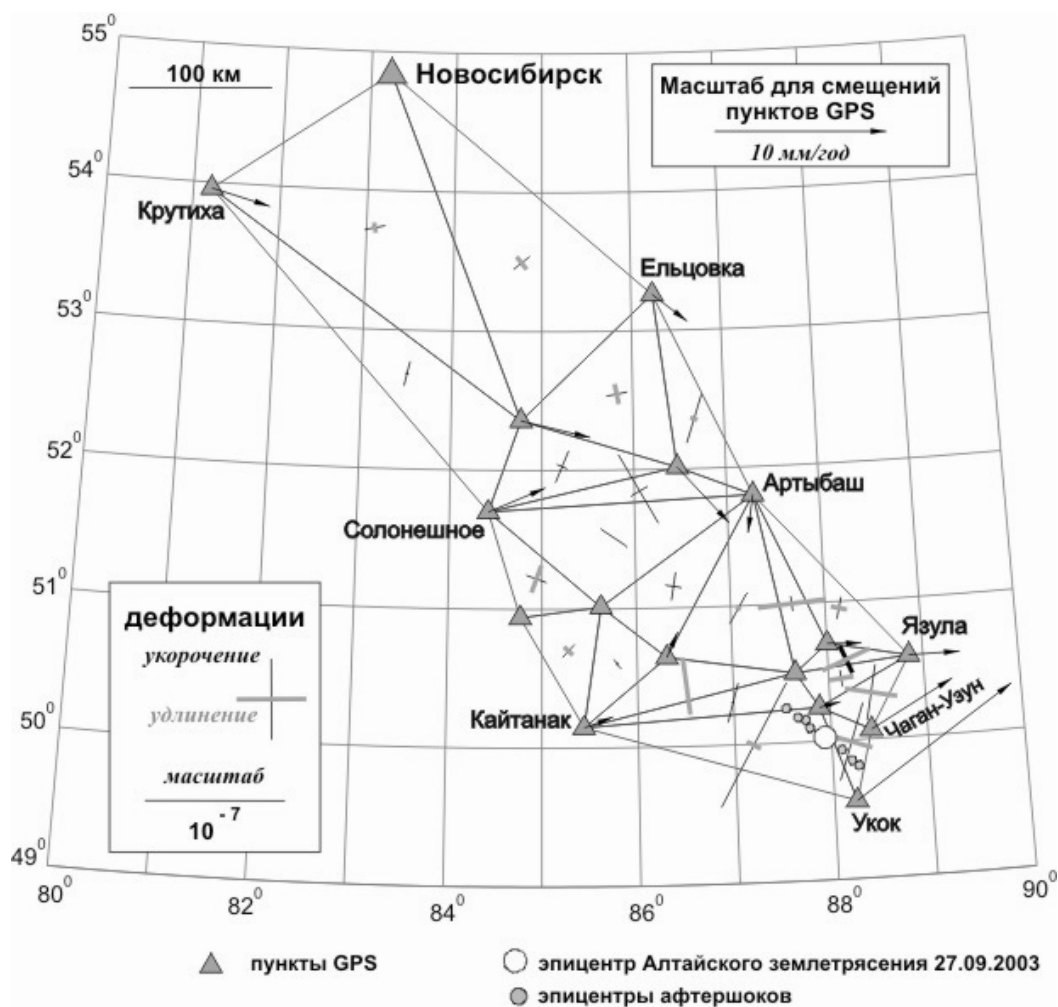


Рис. 1. Главные деформации юга Западной Сибири, вычисленные по GPS данным 2000–2003 гг.

Посредством триангуляции области рассчитаем главные деформации ϵ_1 и ϵ_2 (черные линии – укорочение, серые – удлинение) (см. рис. 1). Можно заметить, что в южной части представленного региона происходило локальное повышение деформаций. Сделаем количественную оценку фокальных характеристик землетрясения, которое могут вызвать накопленные за указанный период времени напряжения.

Рассмотрим параллелепипед G (рис. 2) в декартовой системе координат. Ось z вертикальна, а x и y ориентированы по направлениям действия главных горизонтальных напряжений, которые характеризуются коэффициентами бокового отпора q_x и q_y [2]. В области G расположен тонкий слой T мощностью Δ , моделирующий тектоническое нарушение с углом простирания α и углом падения $90^\circ - \beta$.

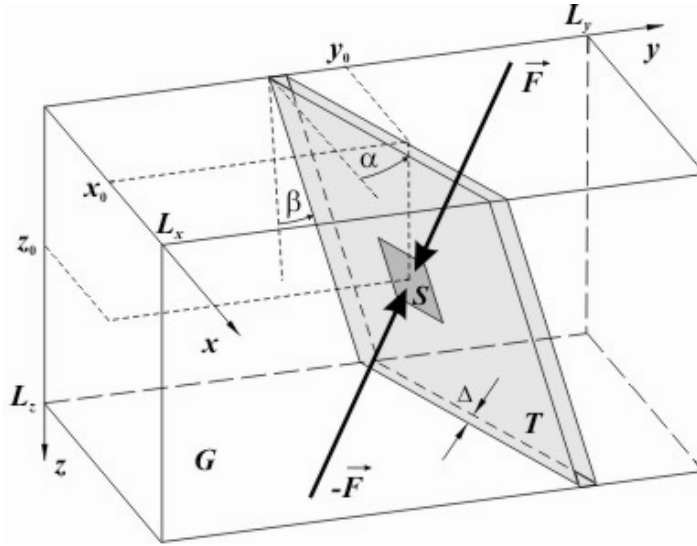


Рис. 2. Схема расчетной области и модель эквивалентного источника

Всюду в G выполнены уравнения равновесия, в области G/T деформирование среды описывается законом Гука, а в T – следующими соотношениями [3]:

$$\sigma(P) = K_n^0 P H(P) / (1 - P / P_*); \quad (1)$$

$$\tau_m(R_m) = K_t R_m H(R_m - R_*) + \tau_* H(R_* - R_m), \quad (m = 1, 2), \quad (2)$$

где P и R_m – конвергенция и проскальзывания границ T ; P_* и R_* – их предельные значения; K_n^0 – начальная нормальная жесткость; $K_t = \tau_* / R_*$ – касательная жесткость; H – функция Хевисайда.

Граничные условия заданы следующие:

$$\begin{aligned} u_x(0, y, z) &= 0; & \sigma_{xx}(L_x, y, z) &= q_x \sigma_V(z); \\ u_y(x, 0, z) &= 0; & \sigma_{yy}(x, L_y, z) &= q_y \sigma_V(z); \\ u_z(x, y, L_z) &= 0; & \sigma_{zz}(x, y, 0) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

все касательные напряжения на ∂G – нулевые, $\sigma_V(z) = \rho g z$.

Подготовка землетрясения начинается с возникновения на разломе участка S (см. рис. 2) с аномальными свойствами либо зоны концентрации напряжений [4]. В результате в среде происходит изменение поля деформаций.

Текущие жесткости нарушения увеличиваются с возрастанием нормального напряжения, поэтому возникновение аномальной зоны будем моделировать изменением жесткости. В качестве входных данных для задачи определения параметров аномальной зоны будем использовать приращения d_{ij} компонентов тензора деформаций на свободной поверхности.

Решение задачи осуществлялось методом конечных элементов с использованием кода ЗМКЭГК [5].

Определить конфигурацию, местоположение и свойства участка S по известным d_{ij} практически невозможно, поскольку на расстояниях порядка нескольких диаметров S все особенности дополнительного поля деформаций нивелируются (принцип Сен-Венана [6]). Поэтому воспользуемся идеей построения эквивалентного точечного источника, широко применяющейся при интерпретации сейсмических данных [7], используя d_{ij} – априорные данные об очаге возможного сейсмического события.

Будем искать источник, создающий в невесомой ($\rho=0$) области G поле деформаций, которое на поверхности $z=0$ близко к d_{ij} в дискретном множестве точек $(x_k, y_k)_{k=1...K}$. Будем строить эквивалентный источник типа «пара сосредоточенных сил с моментом», приложенным на разных берегах разлома, это одна из распространенных моделей очага землетрясения [8].

На рис. 3 *а, б* показано распределение приращений компонентов тензора деформаций d_{xx} и d_{xy} на свободной поверхности при возникновении аномальной зоны S – прямой призмы $2 \times 2 \times 0,1$ км с координатами центра $x_s = 5$ км, $y_s = 25$ км, $z_s = 5$ км; $f = 1,05$; $\alpha = 0$; $\beta = 15^\circ$; $\Delta = 0,1$ км; $q_x = 0,33$, $q_y = 0,6$ (сбросовый тектонический режим [2]). На рис. 3 *в, г* представлены изолинии деформаций $\varepsilon_{xx}(x, y, 0)$ и $\varepsilon_{xy}(x, y, 0)$ при действии источника типа «пара сил с моментом», параметры которого ($F_x = 0$, $F_y = 0,64 \cdot 10^{13}$ Н, $F_z = 0,89 \cdot 10^{13}$ Н, $x_0 = x_s$, $y_0 = y_s$, $z_0 = z_s$) найдены в результате минимизации функции Φ . Отметим хорошее количественное соответствие этих полей (относительная ошибка менее 10 %), хотя эквивалентный источник строился только по информации о сдвиговых поверхностных деформациях.

В [9] получены эмпирические зависимости площади разрыва в очаге $S(M)$ и амплитуды силы $F(M)$ от магнитуды землетрясения M , используя которые, можно оценить следующие параметры $S(4) = 4,38$ км², $F(4) = 1,03 \cdot 10^{13}$ Н. Эти значения количественно хорошо соотносятся с результатами расчетов.

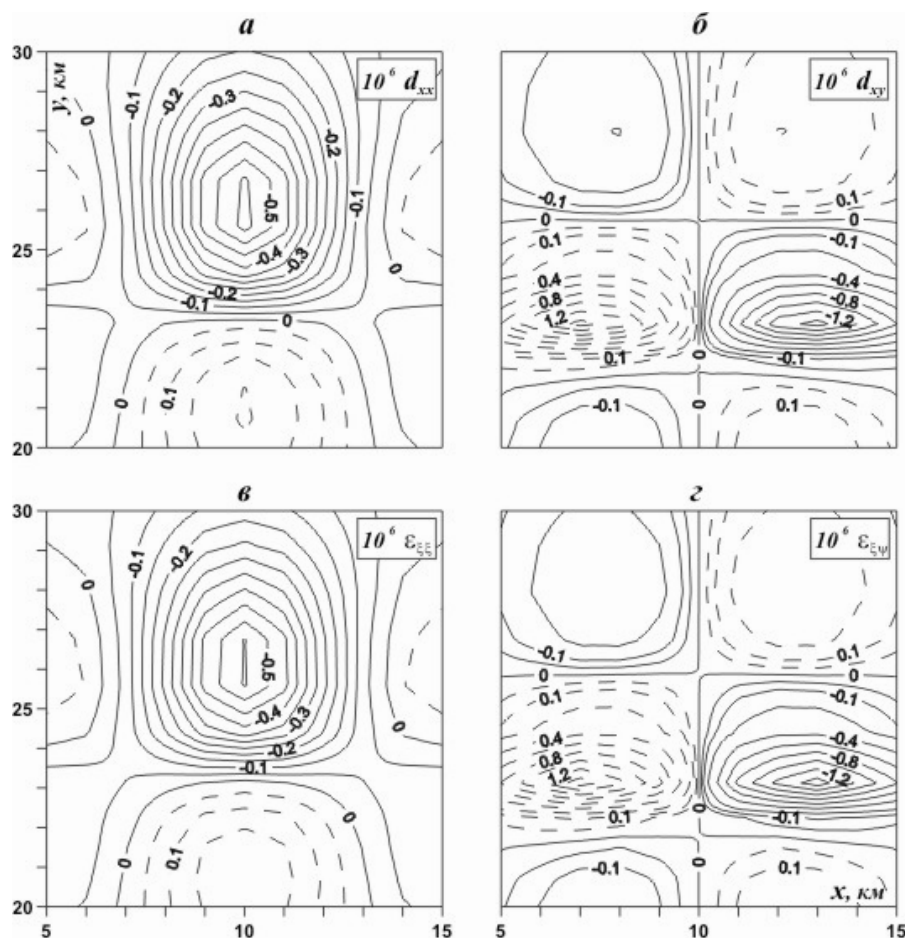


Рис. 3. Приращения горизонтальных компонентов тензора деформаций на дневной поверхности, обусловленные:
а, б – возникновением аномальной зоны; *в, г* – действием эквивалентного источника

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поля смещений земной поверхности в зоне Чуйского землетрясения, Горный Алтай / С.В. Гольдин, В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков // ДАН. – 2005. – Т. 405, № 6. – С. 804–809.
2. Назарова Л.А. Использование сейсмотектонических данных для оценки полей напряжений и деформаций земной коры // Физ.-тех. пробл. разраб. пол. ископ. – 1999. – № 1. – С. 28–36.
3. Barton N.R. Deformation phenomena in jointed rock // Geotechnique. – 1986. – V. 36, № 2. – P. 147–167.
4. К вопросу о классификации горных ударов / Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, Г.И. Кулаков // Физ.-тех. пробл. разраб. пол. ископ. – 1986. – № 6. – С. 3–11.
5. Назарова Л.А. Моделирование объемных полей напряжений в разломных зонах земной коры // ДАН. – 1995. – Т. 342, № 6. – С. 804–808.
6. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
7. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Т. 1. – М.: Мир, 1983. – 519 с.
8. Райс Дж. Механика очага землетрясения. – М.: Мир, 1982. – 217 с.
9. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 408 с.

Получено 01.11.2011

© Л.А. Назаров, Л.А. Назарова, М.П. Козлова, 2011