

МЕХАНИКА

УДК 539.3+550.34

А. С. Хачикян

О проблеме прогноза тектонических землетрясений

(Представлено чл.-корр. АН Армении Б. Л. Абрамяном 4/III 1991)

Несмотря на значительные успехи теории, достигнутые в последние десятилетия, и накопленный в результате наблюдений огромный фактический материал, проблема среднесрочного и краткосрочного предсказания землетрясений еще далека от разрешения. Хотя некоторые наблюдаемые явления носили несомненно предвестниковый характер, отсутствие этих предвестников при других землетрясениях вызывает пессимизм относительно разрешимости проблемы вообще. Статистическая обработка с всевозможных позиций накопленного материала (¹⁻⁶) в масштабах всей Земли или отдельных больших регионов (Японские острова, Средняя Азия, Калифорния) не привела к выявлению четких закономерностей. На основании этого Мори (²) сделал заключение, что искомые закономерности могут быть выявлены только при анализе данных наблюдений, относящихся к ограниченным регионам, охватываемым одним сильным землетрясением. При этом накопление относительно таких регионов фактического материала, достаточного для статистического анализа, может потребовать наблюдения многих землетрясений в данном регионе, для чего, помимо прочего, необходимы наблюдения за несколько столетий. Ясно также, что нет оснований быть совершенно уверенным, что землетрясения даже в одном регионе происходили и будут происходить только вследствие одного и того же физического процесса в земной коре и с неизменной моделью механического проявления.

В качестве причин отсутствия определенных закономерностей проявлений предвестников в результатах наблюдений за сравнительно большими регионами выдвигаются региональные особенности строения земной коры и разные физические процессы и механизмы (²), приводящие к землетрясению, а также форма и расположение очагов землетрясений (³). Однако методы учета этих особенностей разработаны недостаточно.

В настоящей работе для простейшей модели рассматривается влияние формы и расположения очага землетрясения, а также интен-

сивности происходящих процессов на распределение наблюдаемых предвестников—деформаций и напряжений вблизи дневной поверхности Земли.

Рассмотрим изотропное, однородное, свободное от воздействия внешних сил упругое полупространство, моделирующее земную кору. Пусть в некоторой подобласти Ω этого полупространства происходят объемные деформации с интенсивностью $\mathcal{E}_0(P, t)$ ($P \in \Omega$; t — время). Деформации могут быть следствием разных процессов, приводящих к землетрясению, физическая сущность которых здесь не рассматривается. Изменение во времени считаем настолько медленным, что допустимо рассматривать статическую задачу. Для происходящих на этапе подготовки землетрясений процессов это оправдано. Напряженно-деформированное состояние полупространства в этих условиях определяется известными методами (8, 9) с привлечением бигармонической функции Лява и фундаментального решения трехмерного уравнения Лапласа относительно функции потенциала перемещений.

Выполняя необходимые выкладки, для перемещений точек полупространства получим:

$$u_x = A \int_{\Omega} (x - \alpha) [R_1^{-3} + (3 - 4\nu) R_2^{-3} - 6z(z + \gamma) R_2^{-5}] \mathcal{E}_0 d\omega;$$

$$u_y = A \int_{\Omega} (y - \beta) [R_1^{-3} + (3 - 4\nu) R_2^{-3} - 6z(z + \gamma) R_2^{-5}] \mathcal{E}_0 d\omega;$$

$$u_z = A \int_{\Omega} [(z - \gamma) R_1^{-3} - (3 - 4\nu)(z + \gamma) R_2^{-3} - 6z(z + \gamma)^2 R_2^{-5} + 2z R_2^{-3}] \mathcal{E}_0 d\omega,$$

где $A = \frac{1}{4\pi} \frac{1 + \nu}{1 - \nu}$, ν — коэффициент Пуассона,

$$R_{1,2} [(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z \mp \gamma)^2]^{1/2}, \quad d\omega = d\alpha d\beta d\gamma.$$

Напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{ij} = 2\mu(u_{i,j} + u_{j,i}) + \frac{2\mu}{1 - 2\nu} (\nu u_{,kk} - (1 + \nu)\mathcal{E}_0) \delta_{ij},$$

где μ — модуль сдвига материала полупространства, δ_{ij} — символы Кронекера, а также использованы общепринятые обозначения дифференцирования и суммирования.

Таким образом, при известной $\mathcal{E}_0(P, t)$ можно определить перемещения, деформации и напряжения в каждой точке полупространства. Не представляет принципиальных затруднений также учет гравитационных сил и известных неоднородностей земной коры.

Вопрос об определении $\mathcal{E}_0(p, t)$ здесь не рассматривается.

Установленная взаимосвязь между интенсивностью определенных процессов в недрах Земли и деформациями земной коры может быть использована при идентификации наблюдаемых предвестников землетрясений. Проиллюстрируем сказанное на численном примере.

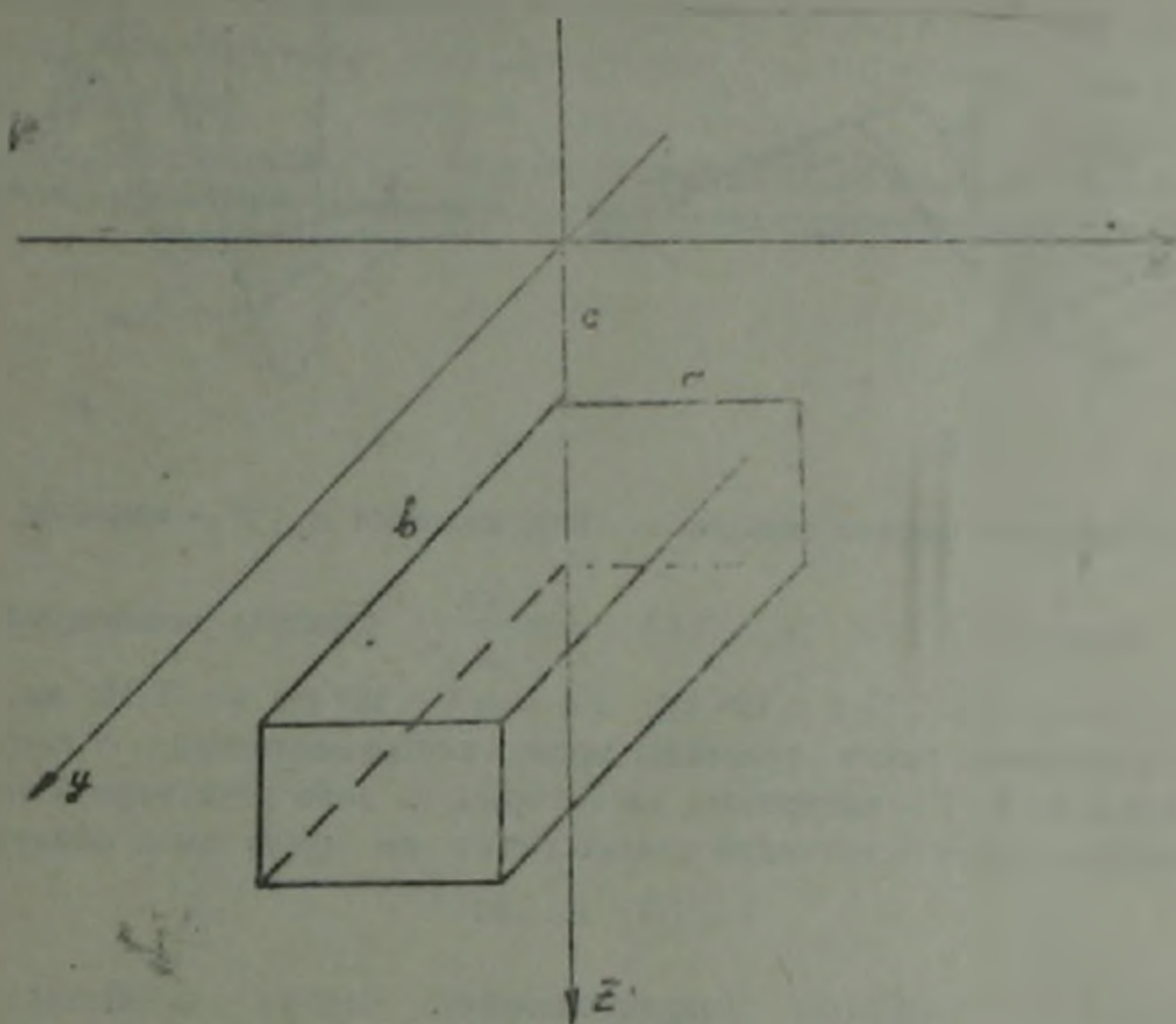


Рис. 1. Положение возмущенной области

Пусть очаг источников деформаций (рис. 1) занимает область

$$0 \leq x \leq a; \quad 0 \leq y \leq b; \quad c \leq z \leq c + d.$$

Задаваясь интенсивностью процессов $\varepsilon_0(p, t)$, численным интегрированием определяем искомые величины. Некоторые результаты вычислений приведены на рис. 2, а, б.

Как видно из графиков, отсутствие в наблюдениях наклонов (интервал T) и касательной составляющей перемещений (интервал K) в близкой от эпицентра зоне не свидетельствует об отсутствии этих предвестников при данном событии. Величины этих же предвестников в отдельных точках не дают представления об интенсивности протекающих процессов без выяснения общей картины.

Сравнивая со сказанным анализ зафиксированных инструментально наклонов и перемещений земной коры в качестве предвестников (^{1,2}), можно заметить, что из-за неполноты данных сделанные заключения во многих случаях нельзя считать достаточно обоснованными.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что:

1) значения изучаемых величин существенно зависят не только от удаления от эпицентра, но и от интенсивности происходящих процессов, формы очага и его расположения;

2) касательные составляющие перемещений и наклоны дневной поверхности, рассмотренные как функции расстояния от эпицентра очага, не монотонны и имеют максимум.

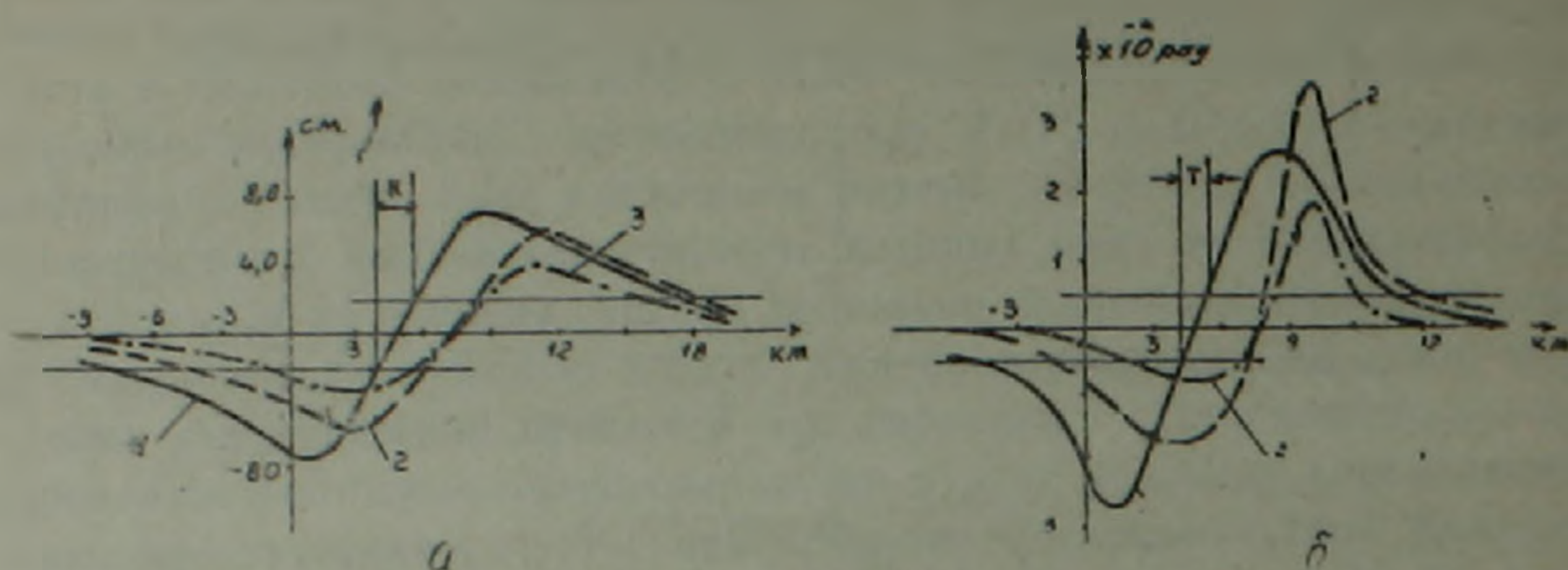


Рис. 2. Поведение предвестников: а — перемещения u_x ; б — наклоны $\frac{du_x}{dx}$.

1 — $\xi_0 = 2k \sin \frac{\pi x}{a}$; 2, 3 — $\xi_0 = k \left(1 - \cos \frac{\pi x}{a} \right)$; размеры возмущенной области 1, 2 — $a = b = c = d = 10^4$ км; 3 — $a = c = 10^4$ км, $b = 5 \cdot 10^4$ км, $d = 2 \cdot 10^4$ км; пунктирные линии — условный предел инструментального обнаружения предвестников; К, Т — интервалы, на которых на непосредственной близости от эпицентра соответствующие предвестники не могут быть обнаружены;
 $\nu = 1/3$; $k = 10^{-4}$

Отмеченные свойства предвестников могут особенно сильно проявляться при более сложном распределении интенсивности протекающих процессов. Неучет этих факторов может привести к искажению результатов при оценке и идентификации предвестников землетрясения.

Институт механики Академии наук Армении

Ա. Ս. ԽԱՉԻԿՅԱՆ

Տեկտոնական երկրաշարժերի կանխատեսման պրոբլեմի մասին

Ներկայացվում է երկրակեղևի մոդելավորող կիսատարածության համար առաձգականության տեսության եռաչափ խնդրի լուծումը՝ չարվածային վիճակն առաջանում է կիսատարածության մակերևույթ դուրս շեկող ննթատիրույթում ծավալային դեֆորմացիաների առաջացման հետևանքով: Ուսումնասիրվում է այդ ենթատիրույթի ձևի ու տեղակայման և ծավալային դեֆորմացիաների ուժգնության ազդեցությունը կիսատարածության մակերևույթի կետերի տեղափոխության և այդ կետերում դեֆորմացիաների վրա, որոնք դիտվում են որպես երկրաշարժի կանխանշաններ: Ցույց է տրվում, որ այդ կանխանշանները օգտի շրջակայքում ունեն ոչ մոնոտոն բնույթ: Ստացված արդյունքները օգնում են վերացնելու որոշ թվաքող հակասություններ, որոնք առաջանում են կանխանշանների դործիքային դիտարկումների արդյունքների անալիզի և նույնապատիվ ժամանակ:

ЛИТЕРАТУРА — УРУЧУЛНУРЭ

- 1 Т. Рикитакэ, Предсказание землетрясений. Мир, М., 1979.
- 2 К. Моги, Предсказание землетрясений. Мир, М., 1988.
- 3 Л. Кнопов, Упругие приливы..., в кн.: Предсказание землетрясений, Мир, М., 1968.
- 4 Л. Кнопов, Статистика землетрясений..., в кн.: Предсказание землетрясений, Мир, М., 1968.
- 5 К. Аки, в кн.: Предсказание землетрясений, Мир, М., 1968.
- 6 В. И. Бунэ, в кн.: Физические основания поисков методов прогноза землетрясений, Наука, М., 1970.
- 7 H. Scholz, R. Sykes, J. physical basis, Science, v. 181, p. 803—809, 1973.
- 8 А. Я. Лурье, Пространственные задачи теории упругости, Гос. изд-во технико-теорет. лит., М., 1955.
- 9 В. Новацкий, Вопросы термоупругости, Изд-во АН СССР, М., 1962.