

О РАЗЛИЧИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАЗНОГЛУБИННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ХАРАКТЕРА ИХ ИОНОСФЕРНОГО ОТКЛИКА

Родкин М.В. (1), Липеровская Е.В. (2)

(1) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

(2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли имени О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

e-mail: rodkin@mitp.ru

Согласно теоретическим представлениям, хрупкое разрушение не может реализоваться на глубинах более нескольких десятков километров [Rodkin, 1995; 1996; Sornette, 1999; Houston, 2015; и др.]. Тем не менее, землетрясения происходят на глубинах до 700 км и более. Обычно это объясняется наличием глубинного флюида, снижающего эффективное трение в горных породах, и/или метаморфическими/фазовыми превращениями, активно реализующимися в погружающихся литосферных плитах.

Существенных различий между характеристиками очагов мелких, среднеглубинных и глубоких землетрясений выявлено, однако, не было. Некоторые такие различия недавно выявлены в [Родкин, 2021; Rodkin, 2021; 2022]. Показано, что одного наличия быстрых сдвиговых деформаций (и ответствующих им напряжений) недостаточно для возникновения в региональных сдвиговых зонах землетрясений глубже 30-50 км. При этом наблюдается тенденция роста максимальной глубины землетрясения с ростом скорости смещений вдоль сдвиговой зоны. Для возникновения более глубоких землетрясений необходим дополнительный фактор, связанный с метаморфическими преобразованиями, в частности с реакциями дегидратации. Показано, что типичные значения ряда характеристик землетрясений (нормированная продолжительность сейсмического процесса, кажущееся напряжение и др.) существенно различаются по глубине. Различия отвечают предполагаемым изменениям механизмов землетрясений. К интервалам глубины, отвечающих границам разных механизмов реализации землетрясений приурочены повышенные медианные значения кажущихся напряжений и длительности процесса сейсмического излучения.

Таким образом, из теоретических соображений, подкрепляемых сейсмологическими данными, получаем, что «нормальные» землетрясения могут происходить только в верхних 30-50 км литосферы. Землетрясения средней глубины, по-видимому, обусловлены дегидратационным охрупчиванием; более глубокие землетрясения предположительно связаны с твердотельными (фазовыми) превращениями.

В свете вышесказанного естественно предположить, что и характер предвестниковых эффектов разноглубинных землетрясений должен различаться. По данным станции вертикального зондирования ионосферы Токио (1957- 2020) исследованы часовые вариации критической частоты foF2, возникающие в связи с землетрясениями. Показано, что для землетрясений M6.0+ с глубиной очага $h < 35$ км на расстояниях до 700 км от станции наблюдается статистически достоверная тенденция увеличения положительных вариаций foF2 за 1-2 суток до землетрясения. Для землетрясений M6.2+ с глубиной $35 \leq h < 70$ км, на расстояниях до 500 км от станции с (-1) суток до (+2) суток наблюдается статистически достоверное уменьшение величин foF2 относительно фоновых значений. Амплитуда последней аномалии имеет тенденцию роста к моменту землетрясения. Различие характера предвестников свидетельствует в пользу различия соответствующих процессов подготовки землетрясений. Обсуждаются возможные физические механизмы наблюдаемого различия.

Houston H. Deep earthquakes. Treatise on Geophysics, 2nd edition, (2015), vol. 4, pp. 329-354.

Rodkin, M.V., “Crustal Earthquakes Induced by Solid-State Transformations: A Model and Characteristic Precursors,” *J. Earthquake Prediction Res.* 4 (2), 215–223, (1995).

Rodkin, M.V. Contradictions in the Recent Seismological Notions. *Phys. Chem. Earth.* 21 (4), 257–260. 1996.

Rodkin M.V. Earthquake Prediction: Old Expectations and New Results. *Seismic Instruments*, 2021, Vol. 57, No. 4, pp. 438–445.

Rodkin, M.V. The Variability of Earthquake Parameters with the Depth: Evidences of Difference of Mechanisms of Generation of the Shallow, Intermediate-Depth, and the Deep Earthquakes. *Pure Appl. Geophys.* (2022). <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02927-4>

Sornette D., (1999) Earthquakes: from chemical alteration to mechanical rupture. *Physics Reports*, 313, 5, 237-292, ISSN 0370-1573, [https://doi.org/10.1016/S0370-1573\(98\)00088-X](https://doi.org/10.1016/S0370-1573(98)00088-X).