

## АНОМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГРАФИКОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Н. Т. Тарасов\*, Н. В. Тарасова

*Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия*

*\*E-mail: tarasov@ifz.ru*

Активизация сейсмичности после подземных ядерных взрывов (ПЯВ) и на расстояниях до сотен и тысяч километров от их эпицентров была обнаружена ещё 30–35 лет назад. Уже первые публикации показали, что они инициировали в коре сложные процессы, которые приводили к повышению сейсмической активности через 5–30 суток. При этом отмечалось перераспределение землетрясений по их энергиям. Длительность задержки и интенсивность активизации отличались в разных геологических структурах [2], а также зависели от вида напряженного состояния коры [3]. Похожие изменения сейсмичности происходят и после удаленных землетрясений, что было надежно обосновано в целом ряде работ [1], однако вопрос о влиянии ПЯВ все еще остается дискуссионным. Поэтому работа в этом направлении была нами продолжена.

Для анализа использовались данные о 1130-ти ПЯВ, произведенных на полигонах всех ядерных держав, опубликованные на сайте прототипа Международного центра данных, а также каталог глобальной сейсмичности NEIC. Из него отобрано 30697 землетрясений представительных магнитуд ( $M_w \geq 5.5$ ), произошедших на Земле за последние 59 лет. Этот период был разбит на годовые интервалы. По землетрясениям, произошедшим в пределах каждого из них, определялись коэффициенты ( $a$ ,  $b$ ) графиков повторяемости землетрясений (закон Гутенберга–Рихтера):  $\lg(N) = a - b \cdot M_w$ . В этих же интервалах рассчитывались значения ежегодной средней энергии ( $E$ ) ПЯВ, после чего было изучено изменение  $a$ ,  $b$  и  $E$  в зависимости от времени.

В результате выявлено аномальное, статистически высоко значимое повышение угловых коэффициентов  $b$  с 1981 по 1993 гг. Следовательно, в этот период увеличивается доля слабых землетрясений и уменьшается доля сильных. Активизацию слабых землетрясений также подтверждает высоко значимое повышение в этот период сейсмической активности  $a$ , которую можно интерпретировать как логарифм числа землетрясений с  $M_w = 0$ . Анализ распределения магнитуд землетрясений во времени показал, что сильные землетрясения в этот период происходят реже, а их магнитуды статистически значимо уменьшаются. Интересно, что с 1981 по 1993 гг. землетрясения с магнитудой  $M_w > 7.9$  исчезают вовсе. Сопоставление выявленных особенностей с изменениями во времени среднегодовой энергии  $E$  ПЯВ показало, что значения угловых коэффициентов  $b$  возросли почти сразу же после резкого (в 7–10 раз) повышения  $E$ , а после ее уменьшения до прежних значений величины  $b$  вернулись к уровню фона.

Угловой коэффициент  $b$  обычно интерпретируется как показатель неоднородности материала среды и/или приложенных касательных напряжений. Повышение его значений в период резкого увеличения среднегодовых значений энергии ПЯВ может свидетельствовать о повышении неоднородности массивов горных пород и приложенных касательных напряжений в сейсмоактивных областях Земли в это время.

*Работа выполнена в рамках темы: «Мультидисциплинарные исследования разномасштабных пространственно-временных свойств сейсмического процесса и его неустойчивости для развития методов оценки и прогноза сейсмической опасности» (код FMWU-2025-0038).*

### Литература

1. Кочарян Г.Г. Дистанционное инициирование динамических событий. В кн.: Триггерные эффекты в геосистемах: материалы Всероссийского семинара-совещания. М.: ГЕОС. 2010. С. 18–30.
2. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В. Влияние ядерных взрывов на сейсмический режим // Доклады РАН. 1995. Т. 343. № 4. С. 543–546.
3. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В. Геодинамические последствия триггерного воздействия электромагнитных полей и взрывов на сейсмичность // Инженерная физика. 2019. № 8. С. 50–57.

## ANOMALOUS CHANGES IN RECURRENCE DIAGRAMS PARAMETERS DURING NUCLEAR TESTS

N. T. Tarasov\*, N. V. Tarasova

*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*E-mail: tarasov@ifz.ru

Seismicity activation following underground nuclear explosions (UNEs) and at distances of hundreds and thousands of kilometers from their epicenters was discovered 30–35 years ago. The first publications showed that they initiated complex processes in the crust, leading to increased seismic activity 5–30 days later. A redistribution of earthquake energies was also observed. The delay time and intensity of seismic activity varied across different geological structures and also depended on the type of crustal stress state. Similar changes in seismicity also occur after distant earthquakes, which has been reliably substantiated in a number of studies, but the impact of UNEs remains controversial. Therefore, we continued our work in this area.

For this purpose, we used data on 1130 UNEs conducted at the test sites of all nuclear powers, published on the website of the Prototype International Data Center, as well as the NEIC Global Seismicity Catalog. From this catalog, we selected 30697 earthquakes of significant magnitude ( $M_w \geq 5.5$ ) that occurred on Earth over the past 59 years. This period was divided into annual intervals. The coefficient ( $a$ ,  $b$ ) of earthquake recurrence diagrams (the Gutenberg-Richter law:  $\lg(N) = a - b \cdot M_w$ ) were determined from the earthquakes that occurred within each of these intervals. The annual mean energy ( $E$ ) of UNEs was calculated over these same intervals, after which the changes in  $a$ ,  $b$ , and  $E$  over time were studied.

This revealed an anomalous, statistically significant increase in the angular coefficient  $b$  from 1981 to 1993. Consequently, during this period, the number of weak earthquakes increases and the amount of strong ones decreases. The increase in weak earthquakes is also confirmed by the highly significant increase in seismic activity  $a$  during this period, which can be interpreted as the logarithm of the number of earthquakes with  $M_w = 0$ . An analysis of the distribution of earthquake magnitudes over time revealed that strong earthquakes occur less frequently during this period, and their magnitudes decrease statistically significantly. Interestingly, from 1981 to 1993, earthquakes with a magnitude of  $M_w > 7.9$  disappear entirely. A comparison of the identified features with temporal variations in the annual mean energy  $E$  of UNEs revealed that the values of the angular coefficient  $b$  increased almost immediately after a sharp (7–10-fold) increase in  $E$ , and after its decrease to previous values, the  $b$  values returned to background levels.

The angular coefficient  $b$  is usually interpreted as an indicator of the heterogeneity of the crust and/or applied shear stresses. An increase in its values during a period of sharp increases in the average annual energy of UNEs may indicate increased heterogeneity of rock masses and applied shear stresses in seismically active regions of the Earth at that time.