

## Почему Великая пирамида Гизы пережила тысячи лет землетрясений: ученые раскрыли секрет устойчивости древнего чуда



Дата публикации: 22.05.2026

Великая пирамида Гизы остается одним из самых удивительных сооружений в истории человечества. Построенная более 4500 лет назад, она пережила войны, климатические изменения, эрозию и многочисленные землетрясения, которые неоднократно сотрясали территорию современного Египта. Даже сильное Каирское землетрясение 1992 года магнитудой 5,8 не нанесло критического ущерба древнему сооружению, хотя некоторые камни внешней облицовки были смещены. Основная конструкция пирамиды при этом сохранилась практически неизменной.

Новое исследование, опубликованное в журнале Scientific Reports, позволило ученым глубже понять, почему гигантское каменное сооружение оказалось настолько устойчивым к сейсмическим нагрузкам. Исследователи проанализировали вибрации Великой пирамиды и изучили, как она реагирует на естественные колебания грунта и окружающей среды.

Современная инженерия давно знает, что каждое сооружение имеет собственную частоту колебаний — своеобразный естественный ритм, на котором конструкция «предпочитает» вибрировать. Если частота землетрясения совпадает с этой собственной частотой, возникает резонанс. В этом случае колебания начинают усиливаться, что может привести к разрушению здания.

Именно резонанс считается одной из главных причин катастрофических последствий землетрясений для мостов, небоскребов и жилых домов. История знает множество примеров, когда сравнительно умеренные толчки вызывали тяжелые разрушения именно из-за совпадения частот колебаний грунта и конструкции.

Измерения показали, что собственные частоты Великой пирамиды находятся примерно в диапазоне 2–2,6 герца, тогда как окружающий грунт вибрирует преимущественно на гораздо более низкой частоте — около 0,6 герца. Это означает, что почва и сама пирамида колеблются по-разному, а значит энергия землетрясения передается сооружению значительно слабее.

Для исследования использовался метод анализа спектрального отношения горизонтальных и вертикальных колебаний, известный как HVSR. Он позволяет фиксировать мельчайшие вибрации, возникающие под действием ветра, движения транспорта, активности людей и естественных микросейсмических процессов.

Датчики были установлены в 37 различных точках внутри и вокруг пирамиды: внутренние проходы, камеры, внешние блоки кладки, участки грунта возле основания. Такой подход дал возможность построить подробную картину поведения сооружения при слабых колебаниях.

Особый интерес вызвали разгрузочные камеры над Камерой Царя. Эти древние инженерные элементы традиционно рассматривались как способ перераспределения огромного веса верхних блоков. Однако новое исследование показывает, что они также могут влиять на распространение вибрационной энергии внутри конструкции, уменьшая локальные нагрузки.

Несмотря на впечатляющие результаты, специалисты подчеркивают: устойчивость пирамиды нельзя объяснить только несовпадением частот. Современная сейсмостойкая инженерия учитывает гораздо больше факторов: массу сооружения, жесткость конструкции, тип фундамента, способность материалов рассеивать энергию, геометрию объекта, свойства грунта.

С инженерной точки зрения Великая пирамида действительно обладает целым набором характеристик, повышающих устойчивость к землетрясениям: широкое основание, низкий центр тяжести, симметричная форма, массивная

кладка, прочный известняковый фундамент, постепенное сужение конструкции к вершине.

Фактически пирамида представляет собой идеальный пример крайне устойчивой геометрии. В отличие от высоких и гибких современных зданий, древнее сооружение остается низким, тяжелым и исключительно жестким. Подобная форма естественным образом снижает вероятность разрушительных колебаний.

При этом исследование напоминает о важной научной проблеме — так называемой ошибке выжившего. Человечество восхищается древними сооружениями именно потому, что они сохранились до наших дней. Но огромное количество менее удачных конструкций было разрушено временем и исчезло из истории.

Этот эффект хорошо известен в статистике и инженерии. Во время Второй мировой войны математик Абрахам Вальд объяснил, что анализировать нужно не только выжившие самолеты, но и те, которые не вернулись с боевых заданий. Аналогично с древней архитектурой: сохранившиеся памятники могут создавать иллюзию абсолютного инженерного совершенства, хотя менее удачные сооружения просто не дошли до наших дней.

Тем не менее Великая пирамида действительно демонстрирует выдающийся уровень древнего строительства. Египетские инженеры не обладали современной сейсмологией или математическими моделями, однако многовековой практический опыт позволил им создавать чрезвычайно устойчивые конструкции.

Исследование также показывает, насколько сложным объектом является каменная кладка при сильных землетрясениях. Во время мощных толчков каменные блоки могут смещаться, трескаться, раскачиваться и терять жесткость. Это меняет поведение всей конструкции и усложняет прогнозирование.

Современные технологии помогают изучать древние сооружения без повреждений. Использование микровибрационного анализа позволяет получать ценные данные без сверления стен, установки тяжелого оборудования или создания искусственных нагрузок. Для объектов мирового наследия подобные методы особенно важны.

Интерес к устойчивости пирамид выходит далеко за рамки археологии. Инженеры и архитекторы используют подобные исследования для понимания принципов долговечности массивных конструкций. Некоторые решения древних строителей сегодня вновь становятся актуальными при проектировании зданий в

сейсмоопасных регионах.

Великая пирамида Гизы продолжает оставаться не только археологическим памятником, но и уникальной инженерной лабораторией. Она демонстрирует, что даже без современных вычислений и сложной техники древние цивилизации могли находить исключительно эффективные конструктивные решения, многие из которых продолжают удивлять ученых спустя тысячелетия.

**Ссылка:** «Архитектурные и геотехнические аспекты, влияющие на сейсмостойкость древнеегипетской пирамиды Хеопса» DOI: [10.1038/s41598-026-49962-6](https://doi.org/10.1038/s41598-026-49962-6).