

**Д.Г. Павлов\*, О.Б.Хаврошкин\*\*, В.В. Цыплаков\*\*.**

(\*Фирма "Антарес"; \*\* Институт физики Земли им О. Ю. Шмидта, РАН.)

## ДИСКРЕТНАЯ СЕЙСМОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕКОТОРЫХ ПИРАМИД ЕГИПТА

### **Аннотация**

Предложена адекватная наблюдательным данным сейсмофизическая модель пирамиды как системы с периодической структурой. Приведены акустические и другие аналоги. Показана возможность использования существующего математического аппарата.

### **1. Предварительные замечания; близкие аналоги**

Значительная часть полученных результатов и последующая их строгая физическая интерпретация делают необходимым выбор адекватной модели пирамиды. В первую очередь модель должна отвечать наиболее ярко проявившимся наблюдаемым эффектам: концентрации или увеличению интенсивности (амплитуды колебательного смещения) сейсмических волн; аномально высокому уровню сейсмоакустической эмиссии (особенно внутри пирамиды) и сопутствующему эмиссии электромагнитному излучению, а также обнаруженным спектральным пикам на известных геофизических (собственные колебания Земли) и астрофизических (частоты посылки радиоимпульсов от пульсаров) периодах. Просто проявление большинства из указанных эффектов не было неожиданным, а во многом и предполагалось: например, лабораторные и геофизические, натуральные и искусственные, по форме напоминающие пирамиды, концентраторы колебаний предлагались ранее (1971-1972 гг.) для фундаментальных физических экспериментов; при этом ближайшими прототипами лабораторных гравитационных антенн, а отчасти и геофизических [1-8]) стали ультразвуковые концентраторы колебаний и акустические линзы (рис. 1); [9-11].

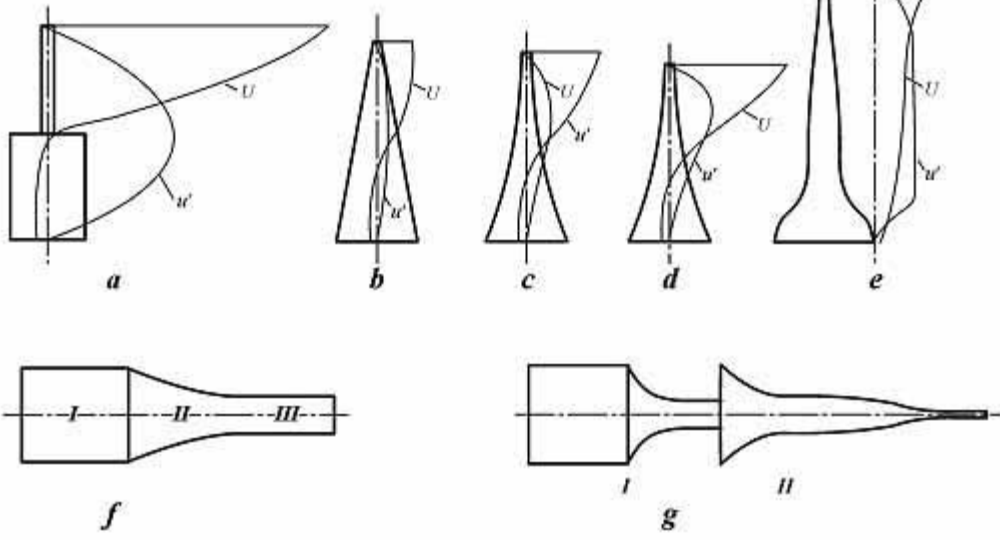
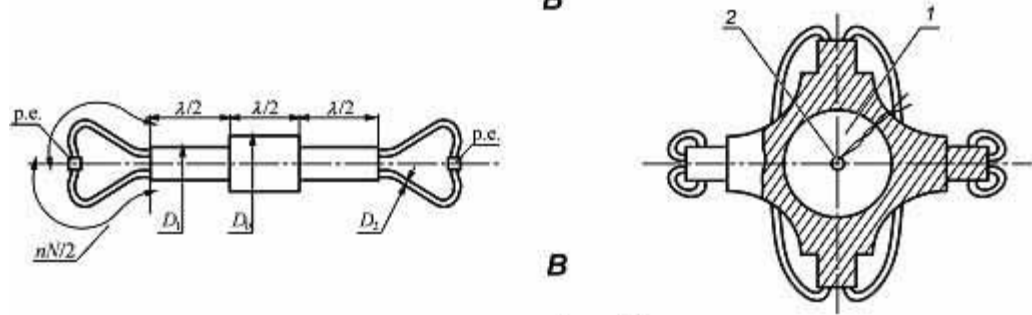
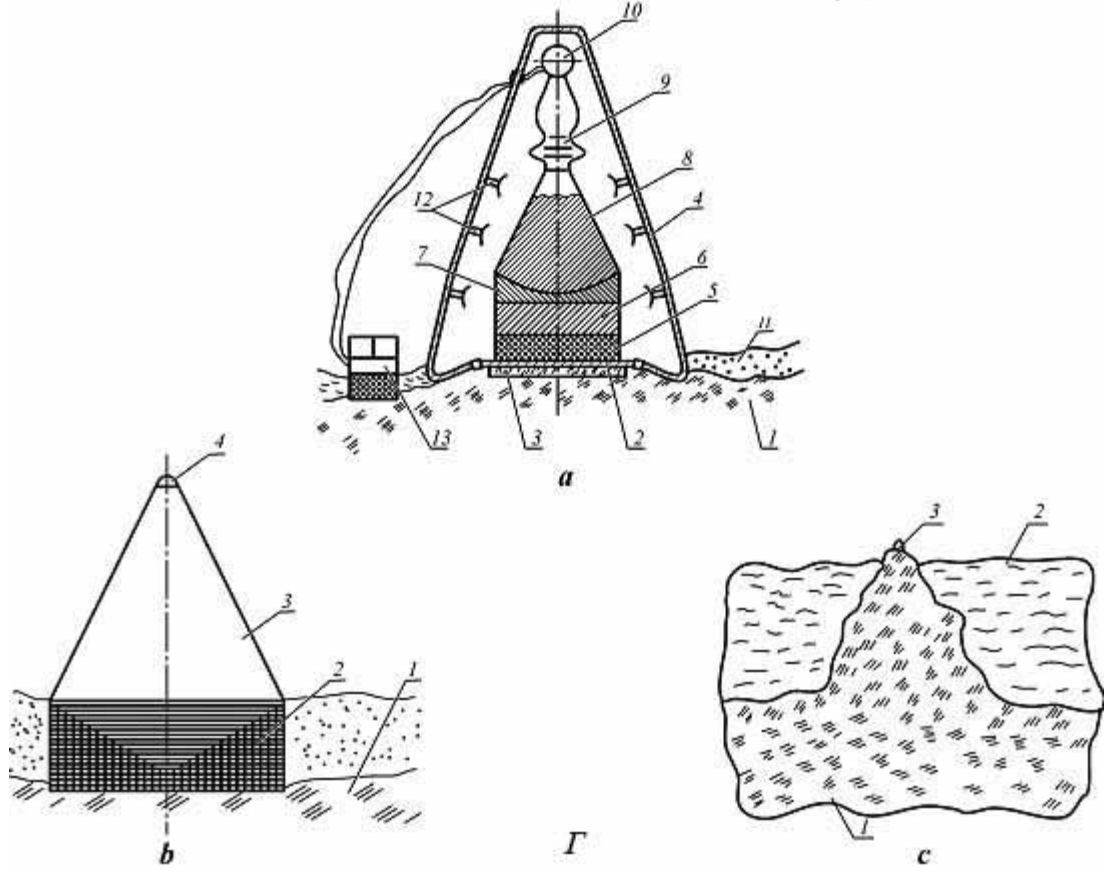
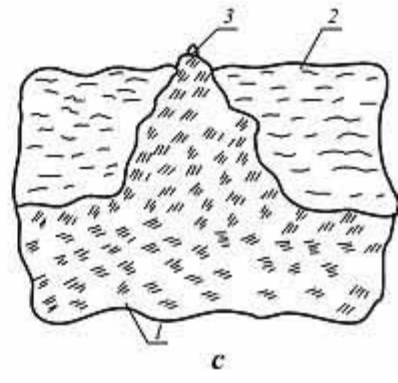
В результате изучения фундаментальных свойств региональных высокочастотных шумов. были открыты сейсмоакустическая эмиссия и модуляция шумов длиннопериодными деформационными процессами в литосфере Земли [12, 13]. Дальнейшее изучение этих эффектов, а также проблем вибропросвечивания Земли привели к относительно успешному формированию самостоятельного раздела в геофизике - нелинейной сейсмологии [14, 15], модели и методы которой позволили получить и качественно новые результаты и для сейсмологии внеземной [16, 17].

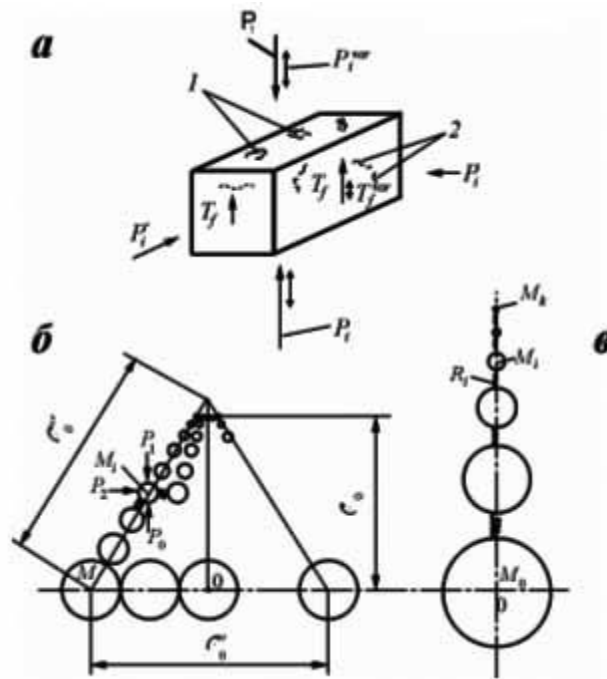
Параллельно развивалась астрофизическая "ветвь" исследований региональных высокочастотных сейсмических шумов. В результате поиска было убедительно показано, что в спектре шумов достоверно выделяются два пика на частотах посылки радиоимпульсов от пульсаров PSR 0521+21 и PSR 0833-45 [14]. Продолжение исследований показало изменение максимальной амплитуды этих пиков по местному времени, что отвечало восходу и заходу пульсаров относительно Земли по звездному времени. Подробное изложение полученных материалов, аппаратно-методические основы эксперимента, модели взаимодействия гравитационного излучения с геологической средой Земли как сложной, нелинейной и сейсмически активной, даны в заявке на открытие [18]. Однако в публикациях в ведущих научных журналах было отказано; отрицательные рецензии либо носили мало вразумительный характер, либо ссылались на гигантские различия в амплитудах сигналов, соответствующего

теоретическим оценкам и регистрируемого сейсмического. Впрочем, это отличие хорошо отражено (и отражает) взгляд рецензентов на геологическую среду как на гуковское идеальное твердое тело и авторов, считающих среду нелинейной, неоднородной, сейсмоакустически активной. К сожалению, тогда не было моделей среды из бистабильных элементов, ни других работ Ю.Л. Климонтовича [19]. С другой стороны, всегда и во все времена находятся ученые с вниманием относящиеся к экспериментальным работам и способные их поддержать. Поэтому в том или ином виде исследование [18] было опубликовано [14, 20-22]. При этом старые наработки в части гравитационных антенн лабораторного типа пригодились сейчас при анализе моделей египетских пирамид.

## **2. Сопоставление аналогов, выбор модели**

В соответствии с вышеизложенным при подходе к выбору модели пирамиды, как и в сопоставлении аналогов, необходимо учитывать: состояние и структуру среды пирамиды и приповерхностных структур под ее основанием (сотни метров, первые километры); при этом принятая за основу модель должна отвечать полученным экспериментальным данным.

**A****Б****В****Г**



**Рис.1** Ближайшие волновые аналоги пирамид Египта и их дискретно-периодическая структурная модель.

**A** - аналоги - ультразвуковые системы:

Схемы круглых простых одноступенчатых концентраторов продольных колебаний **a** - ступенчатый; **b** - конический; **c** - экспоненциальный; **d** - катеноидальный; **e** - гауссов (ампульный). Кривые показывают распределение амплитуды колебательной скорости  $v$  и деформации  $u'$  по длине концентратора; **f** - Составной концентратор: **I** - цилиндр большого диаметра; **II** - отрезок стержня конической или экспоненциальной формы; **III** - цилиндр малого диаметра; **g** - Двухступенчатый концентратор **I** - ступенчатый концентратор; **II** - ампульный концентратор.

**B** - аналоги - гравитационные антенны лабораторного масштаба:

1 - Схема гравитационной антенны с двухкаскадным усилением сигнала; последний каскад - резонансные волноводы длиной  $n \times \lambda/2$ ; 2 - Сферическая гравитационная антенна с трансформаторами колебаний и сложной диаграммой направленности; 1 - пьезокерамический приемник; 2 - полость с жидкостью.

**B** - аналоги - гравитационные антенны геофизического (сейсмического) типа:

**a** - Геофизическая гравитационная антенна-трансформатор многокаскадного типа:

1. Коренные породы; 2. Плита - основание; 3. Донная часть шумо и теплозащитного корпуса 4; 5. Активная пьезосейсмическая защита; 6 - Теплоизолятор; 7 - Акустическая (сейсмическая) линза; 8. Волновод - трансформатор; 9. Сложный каскад трансформатора; 10. Приемный блок; 11. Грунт; 12. Элементы термостатирования; 13. Блок управления и первичной обработки;

**b** - Простейшая геофизическая антенна-трансформатор на основе блочной схемы: 1 - скальное основание; 2 - сейсмическая линза; 3 - Блочный волновод - концентратор; 4 - приемная система; 5 - грунт.

**c** - Остров-антенна: 1 - остров и прилегающие структуры; 2 - океан; 3 - приемная система.

**Г** - Дискретно-периодическая структурная модель египетской пирамиды:

**a** - схематизированный первичный элемент-блок структуры пирамиды: **I** - пятна контакта с блоками, **2** - микротрещины.  $P_i$  - силы от вертикальной нагрузки (веса) пирамиды;  $P_i'$ ,  $P_i''$  - боковые силы разных граней;  $P_i' \ll P_i$ ;  $T_f$  - боковые силы

трения;  $P_i^{\text{var}}$  - переменная составляющая вертикальной силы;  $T_f^{\text{var}}$  - переменная составляющая силы трения.

**b** - многоэлементная идеализированная линейная модель пирамиды:  $M_i$  - масса отдельного элемента;  $r_3^i$  - упругая связь  $i$ -й цепочки (линии) общего массива пирамиды;  $\lambda_0', \lambda_0'', \lambda_0'''$  - высота, основание (диаметр) и образующая модели;  $P_1, P_2, P_3$  - внешние силы, воздействующие на пирамиду;

**c** - одномерная модель-цепочка пирамиды:  $M_0, M_1, M_i, M_k$  - приведенные массы основания, первых рядов, промежуточного уровня и вершины, соответственно;  $R_1, R_i$  - упругие связи между массами  $M$ .

Начнем с наиболее ожидаемого эффекта - фокусировки сейсмической энергии, значительно превысившей все предполагаемые расчеты. Согласно рис.1 имеется два типа аналогов - лабораторных и геофизических масштабов гравитационные антенны (рис. 1Б,В) и их первоисточники - концентраторы ультразвуковых колебаний из технической физики и технологии (рис.1А). Первые близки по типу принимаемых сигналов - малые амплитуды на фоне сильных разнообразных шумов, однако, теоретический анализ этих систем фрагментарен и не обобщен [23-24]; достоинство вторых - глубокая теоретическая и экспериментальная проработка [9-11], но отсутствуют исследования по регистрации малых сигналов. Функционально и по форме среди гравитационных антенн и ультразвуковых концентраторов можно выделить группы или системы наиболее близко соответствующие исследуемым пирамидам. Приняв форму пирамиды за основу, можно выделить три группы: ступенчатую, конусную, двухкаскадного и более усиления. (К сожалению, здесь сделано сильное упрощение: гравитационные антенны и концентраторы по форме - тела вращения, а пирамиды имеют квадратное поперечное сечение.) К первой ступенчатой группе-системе относятся пирамиды Майдума, Саккара, Завиет-эль-Ариана и, вероятно, Абусира, а также некоторые малые пирамиды Гизе и Дахшура [25-27]; полностью или несколько каскадов ступенчатого усиления имеют антенны лабораторного типа (рис.1Б) и концентраторы ультразвуковой энергии (рис. 1А).

Вторую, конусную (в нашем случае пирамидальную) группу-систему образуют фактически большинство египетских пирамид, включая пирамиды Гизе [25-27]; гравитационные антенны только конусной формы рассматриваются редко [23], ограничено их применение и в ультразвуковых концентраторах, но как элемент сложной многоступенчатой антенны или концентратора применяется относительно часто (рис. 1Б). К третьей, двухкаскадной группе-системе из всех пирамид можно отнести только пирамиды Снофру с ломаными гранями в Дахшуре, некоторые свойства 2-3 каскадной системы можно ожидать от бенбенета (обелиска) Солнечного храма царя Ниуссера в Абу - Гурабе; что же касается гравитационных антенн и концентраторов всех типов, то большинство из них имеет два и более каскадов усиления.

Внешнее сходство форм некоторых типов антенн и концентраторов или отдельных их элементов (например, часть гауссова концентратора с положительной кривизной и вершинной частью ломаной пирамиды) с египетскими пирамидами и общий, обеспечивающий механизм фокусировки или увеличения амплитуд, физический механизм говорят в пользу использования для волновой модели пирамиды хорошо разработанной в акустике теории фокусировки и акустических волноводов в сплошной среде. Согласно этому предположению перенесем две важные, но разные характеристики концентраторов на пирамиды и оценим адекватность такой процедуры. Первая характеристика - технологическая, касается возможности настройки на максимальное увеличение амплитуды составным концентратором или ступенчатой пирамидой; вторая - теоретические ограничения на коэффициент усиления. Коэффициент усиления  $K = \xi / \xi_0$ , где  $\xi_0$  - амплитуда смещения на входном элементе (широкий конец

концентратора, основание пирамиды);  $\xi_l$  - амплитуда на узком конце или вершине пирамиды. Для ступенчатого концентратора  $K=N^2$ , где  $N=R_0/R_l$ ,  $R_0$ ,  $R_l$  - радиусы входного и выходного элементов длиной  $l$ , соответственно, а у ступенчатой пирамиды  $K=N^2$ ;  $N=a_0/a_l$ ,  $a_0$ ,  $a_l$  - соответственно, стороны квадратного основания и площадки на вершине пирамиды. Для концентратора экспоненциального  $K=N$ , для

катеноидального -  $K = N \left| \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right|$ ; у конического -  $K < N$  и всегда  $K < 4.6$ , причем для конических гравитационных антенн  $K \sim 1.8$  [23]. К тому же существуют поправки на свойства материала и форму концентратора (наиболее эффективен двухступенчатый концентратор (рис. 1) [11]).

Рассмотрим применение обеих характеристик гравитационных антенн и концентраторов к пирамидам: для этих лабораторных систем настройка на одну частоту всех каскадов усиления - кропотливая техническая задача, так как частота каждой ступени усиления должна строго подгоняться к единому значению через ее резонансный размер опытным путем и меняться во времени по нескольким причинам. Соответственно, сооружение пирамиды из известняковых блоков с большим разбросом индивидуальных размеров и с грубо обработанными поверхностями, заметное различие в высотах каждой из ступеней делают безосновательным анализ возможности настройки пирамид как антенн или концентраторов и ставит вопрос о принципиально другом подходе при оценке их частотных характеристик как сейсмических антенн.

Другая общая характеристика - коэффициент  $K$  усиления амплитуд антенны или концентратора и фокусировки сейсмической энергии для пирамид в случае их ступенчатых форм не может быть применен по вышеизложенным причинам, а  $K$  для простой конусной пирамиды не должен превышать 4.6. Однако эксперимент на малой крайней западной (конусной) пирамиде у пирамиды Менкаура совершенно не соответствует теории, так как  $K \geq 50 - 100$  (импульсный режим усиления).

Можно упомянуть и 3-й критерий, применимый только для пирамид: объяснение постоянно существующего высокого внутреннего уровня сейсмоакустической эмиссии и сопутствующей ей электромагнитной эмиссии. Геометрия пирамиды такова, что с ростом весовой нагрузки увеличивается и площадь, по которой распределяется давление, и в рамках сплошной среды электромагнитное излучение, вопреки экспериментальным данным, могло бы и не наблюдаться. Так что в общем случае эмиссионные процессы противоречат модели из сплошной среды.

Таким образом, применение теории фокусировки и акустического волновода в сплошной среде не дает адекватной физической модели для описания волновых процессов в пирамидах; необходим поиск принципиально другой модели.

### 3. Сейсмофизическая модель пирамиды

Описание волновых процессов в какой-либо системе или среде в принципе должно давать адекватные результаты при использовании как модели сплошной среды, так и системы со сосредоточенными параметрами. Однако удачный выбор позволяет более эффективно использовать известный формализм и обозначить круг предполагаемых явлений. С учетом вышеизложенных экспериментальных данных и хорошо известного блочного строения пирамид за сейсмофизическую модель пирамиды принимаем систему с периодической структурой. Для таких систем разработан единый аппарат, пригодный для анализа колебательных процессов и распространения волн различной физической природы [28]. Развитие моделей шло от простых к сложным: вначале рассматривалось распространение частиц в одномерной решетке, состоящей из точечных частиц с

массой  $m$  и с равными расстояниями  $d$  между ними, равной упругой связью и расположенными вдоль прямой. Скорость распространения волн  $V$  и длина волны  $\lambda$  связаны как

$$V = V_{\infty} \frac{|\sin(\pi d / \lambda)|}{\pi d / \lambda},$$

где  $V_{\infty}$  - скорость при бесконечной длине волны.

Волновое число  $\alpha = \frac{1}{\lambda}$  должно лежать в интервале ( $2d$  - минимальная длина волны)

$$-\frac{1}{2d} \leq \alpha \leq \frac{1}{2d},$$

то есть рассматриваются волны при соотношении  $\infty \geq |\lambda| \geq 2d$ , а волны при соотношении  $0 \leq \lambda \leq 2d$  исключаются.

Эти же закономерности справедливы и для одномерной решетки Борна из частиц двух типов с массой  $M$  и  $m$ , но у зависимости частоты  $\nu$  от  $\alpha$  появляется вторая ветвь (степень свободы) из-за добавления частиц с массой  $m$ .

Продольные колебания цепочки связанных равноотстоящих осцилляторов имеют дополнительные особенности: если коэффициенты упругости имеют различные значения по направлениям  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ , то осциллятор анизотропен, имеет 3 собственных частоты по соответствующим направлениям. Для продольных колебаний системы со взаимодействием только между смежными осцилляторами для больших длин волн частота  $\nu$  определяется как

$$\nu = \nu_0 + b\alpha^2,$$

где знак величины  $b$ , зависящий от коэффициентов упругости системы, учитывает изменение  $\nu$  при возрастании  $|\alpha|$ . В нашем случае (рис. 1Г) блок пирамиды (масса  $M$ ) имеет не только 3 различных коэффициента упругости  $F_i, F_i', F_i''$ , - эти коэффициенты в зависимости от фазы колебаний изменяются и по величине и по знаку, поскольку число пятен контакта меняется. Последнее, из теории нелинейных систем, означает, что система в течение одного цикла колебаний может иметь жесткую и мягкую восстанавливающую силы [29]. И другое свойство - существует два предельных значения  $\nu$ , равных  $\nu_0$  и  $\nu_{\max}$ , и в системе могут распространяться только волны с частотой  $\nu$ ,  $\nu_0 \leq \nu \leq \nu_{\max}$ , а волны с  $\nu$  вне интервала  $(\nu_0, \nu_{\max})$  быстро затухают (полосовая фильтрация).

Для случая пирамид это означает, что предельные частоты  $f_{\min}, f_{\max}$  для каждой из них будут незначительно, но различаться, поскольку  $f_{\min}$  определяется геометрией пирамиды, в первую очередь высотой, а  $f_{\max}$  - размерами и механическими характеристиками материала блоков. Наиболее точное приближение в аналитическом описании волновых процессов пирамиды следует искать в синтезе формального аппарата квантовой акустики, нелинейной сейсмологии и регулярной и стохастической динамики [14-17; 28-37]. Далее, для анализа сейсмического шума египетских пирамид привлекались результаты, в основном, нелинейной сейсмологии и других, близких по физической сути

волновых процессов [30-52]. Все эти модели в той или иной степени должны быть предусмотрены в формализме волнового процесса пирамид, включая наиболее трудную часть - результаты гравитационного эксперимента [46-50]. Возможно, что в этом случае смогут проявиться и наиболее поисковые методы, относящиеся к финслеровой геометрии [53, 54].

С другой стороны можем положиться на проверенный формализм и представления описания волн в периодических структурах [43]. Как указывают исследователи, эти структуры, свойства которых изменяются в пространстве по периодическому закону, широко распространены. Помимо кристаллических твердых тел и горных пород существует множество искусственных периодических структур, достаточно указать на радиотехнические замедляющие системы. Распространение волн в таких средах независимо от природы волны описываются сходными уравнениями и имеет качественно новые особенности, в частности при частоте сигнала  $f \rightarrow f_{\max}$ : например, сдвиг частот в области пространственного резонанса двух встречных волн (слабая неоднородность) [43].

Реально структуру пирамид нельзя относить к среде со слабыми неоднородностями, так как грубо обработанные блоки контактируют не по всей поверхности, то есть имеем явно выраженную периодическую структуру, в рамках которой необходимо создать модели для анализа обнаруженного аномально высокого эффекта фокусировки и распространения упругого импульса (рис.1Г). Переход к модели среды с явными периодическими неоднородностями позволяет привлечь для описания особенностей волнового поля последнее уравнение Матье и Хилла. Представление структуры пирамиды в виде дискретной цепочки при определенных упрощениях позволяет вывести закон дисперсии:

$$f(k) = \pm 2\sqrt{\frac{\alpha}{M}} \sin \frac{k\alpha}{2}$$

и наибольшую частоту

$$f_{\max} = 2\sqrt{\frac{\alpha}{M}}$$

где  $a = d$ ,  $\alpha$  - коэффициент жесткости пятен контакта ( $\alpha=R$  на рис.1Г),  $M$  - масса блока;  $k$  - волновое число;  $\lambda \sim d$ . Для описания волны с положительным направлением оси  $x$  и упрощением методом медленно изменяющегося профиля, получают линеаризованное уравнение Кортевега - де Вриза [43]:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \beta \frac{\partial^3 u}{\partial \tau^3}, \quad \beta = \frac{a^2}{24c_0^3},$$

где  $c_0 = a\sqrt{\frac{\alpha}{M}}$  - бездисперсионная скорость звука для предельно низких частот.

Реально, пирамида как геофизическая система находится под воздействием нескольких возмущений в том числе и случайных (микросейсмичкий шум). Для исследования поведения такой системы применим метод Фоккера - Планка - Колмогорова [55]. Сейсмоэмиссионные процессы в блоках пирамид и кулоновское сухое трение совместно допускают существование режима сейсмической автогенерации, для описания которой



применимо уравнение Ван Дер Поля. С учетом внешнего шумового воздействия окончательно и наиболее корректно рассматривать уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова для возмущенного автогенератора. Таким образом, волновым процессам египетских пирамид отчасти присущи свойства квантовых и нелинейных осцилляторов. Но помимо эффекта фокусировки подобный подход должен находиться в согласии и с другими особенностями экспериментов по импульсным воздействиям на пирамиды.

### Дискретно-периодическая структура египетских пирамид: первые эксперименты

Помимо эффекта аномально высокой фокусировки подобный подход должен объяснить и особенности других экспериментов с активным импульсным воздействием на пирамиду или непосредственно у основания. Обычно рядом с пирамидой бросался камень весом 15-20 кг с высоты 1-2 м или производилось постукивание по блоку массива пирамиды рыхлым известняковым камнем в 1-1.5 кг.

Примечание: Необходимо сразу отметить: все импульсивные воздействия имели мощность в одну "человеческую" силу и никакого вреда памятнику причинить не могли

Эксперимент по фокусировке сейсмических волн в зоне пирамид долины Гизе, рядом с пирамидой Менкаура (Микерина), показавший явную недостаточность модели пирамиды из сплошной среды, носил прикладной характер, его цель - определение расстояния до фундамента (консолидированные породы) в месте их расположения. Фокусировка сейсмической энергии на 1-2 порядка превышающая теоретическую величину и опыт описания волновых процессов в периодических и дискретных структурах приводят к новой модели (рис.1Г) [28, 29, 32, 43]. Увеличение амплитуды смещения  $\Delta h$  и/или коэффициент трансформации  $K$  в плоской сейсмической волне, распространяющейся вертикально от основания к вершине (рис.1Г) в зависимости от высоты расположения приемника  $h_i$  описываются хрестоматийным примером из классической механики и определяются соотношениями

$$\Delta h_i \sim \frac{\Delta h_0 \cdot k_g}{k_p \sqrt{\frac{\sum_{-0}^i M}{M_i}}}$$

или

$$\frac{\Delta h_i}{\Delta h_0} \sim K \sim \frac{k_g}{k_p \sqrt{\frac{\sum_{M_0}^{M_{i-1}} M}{M_i}}}$$

где  $\Delta h_0, \Delta h_i$  - смещения в сейсмической волне у основания и на высоте  $h_i$ ;

$k_g, k_p$  - коэффициенты, учитывающие диссипацию и рассеивание сейсмической энергии;  $M_0, M_{i-1}, M_i$  - массы слоев блоков пирамиды, - основания,  $(i-1)$ -го и  $i$ -го (уровня регистрации сигнала).

Не менее важно отметить и другой факт: эффект фокусировки проявляется не только в импульсном режиме - удар у малой пирамиды в Гизе, но и в стационарном режиме, например, при записи высокочастотных сейсмических шумов у подножия Южной грани

пирамиды Снофру и на вершине рядом расположенной малой пирамиды. В среднем сигнал на вершине на порядок превышал уровень шумов у основания. С другой стороны, оценка коэффициента усиления  $K$  в квазистатическом режиме выявила его существенно меньшее значение ( $\sim 4$ ), но все же превышающее теоретическое для простейшего концентратора в форме конуса (измерения сейсмического шума у основания и на вершине пирамиды Менкаура). Оценка  $K$  по уровню шумов потребовала рассмотреть несколько моделей.

Соотношение амплитуд спектральных пиков сейсмических шумов у основания и на вершине в области резонансов пирамиды не равно сглаженным спектрам. В последнем случае  $K$  не превышает нескольких единиц; во всех случаях заметно подавление шумов вне резонанса пирамиды ( $K < 1,0$ ). Вообще говоря, определение  $K$  не простая задача, так как, например, необходимо учитывать влияние собственных колебаний массива всей пирамиды на прилегающие структуры.

### Отклик пирамиды Снофру на импульсные зондирующие воздействия

Другой активный сейсмический эксперимент, проведенный на пирамиде Снофру, (схема ударов, рис. 1Г; записи ударов и их комментариев, см. [ ]) при своей простоте должен был дать и простые по форме записи импульса в случае модели массива пирамиды как сплошной среды. То есть все удары не зависимо от их направления ( $P_1, P_2, P_3$ ) должны незначительно различаться между собой. Как это следует из рис. [ ], удары по блоку, выполненные по направлениям  $P_1$ - $P$  схемы рис.1Г, значительно различаются по форме записи. Это противоречит как модели сплошной среды, так и, казалось бы, дискретно-периодической, но спектры этих ударов объясняют многое (рис. 2а,б). Спектр вертикального удара с направлением  $P_1$  (рис.2а) содержит группу из трех пиков с частотой  $\sim 127$  Гц и малой амплитудой, основной пик на 175 Гц с амплитудой на порядок превышающей амплитуды групповых, и едва заметный - на 270 Гц. Спектр горизонтального удара ( $P_2$ ) обогащен пиками в большем диапазоне частот: 65, 78, 89, 97, 103, 110, 116, 137, 270 Гц (рис.2б). По числу пиков в принципе спектр вертикального удара (направление  $P_3$ ) незначительно превосходит спектр другого ( $P_1$ ): 123, 127, 130, 175, 184, 228, 270 Гц, но соотношение их амплитуд и добротности различаются существенно (рис.2б). Очевидно, что все спектры в основном определяются геометрическими параметрами блоков и степенью связанности, нагрузкой этих блоков (рис.1Г), и что все это соответствует модели дискретно-периодической структуры египетских пирамид. Геометрия одиночного блока, характеристика его материала и формы собственных колебаний в первом приближении описываются набором частот: трех продольных ( $f_1^{np}, f_2^{np}, f_3^{np}$ ), двух изгибных ( $f_1^{u32}, f_2^{u32}$ ) и одной крутильной ( $f_1^{kp}$ ) (рис. 1Г,а). В общем случае определим их как частоты блока  $f^E$ , которые одновременно являются граничными по верхней частоте пропускания упругого сигнала [28, 43]. Одновременно отметим, что форма и степень нагружения блока, его местонахождение в массиве пирамиды (у боковой поверхности или в глубине), также отражаются в спектре импульса; необходимо иметь ввиду и факт существования нескольких типоразмеров блоков в зависимости от места их укладки (у пирамиды Снофру внутри массива они могут быть в 2 раза короче).

В рамках вышеизложенного рассмотрим все спектральные пики, полученные при обработке записей ударов с направлениями  $P_1, P_2, P_3$  (рис.1Г). При скорости продольной волны в блоке 1200 м/с наиболее вероятно, что общая для всех ударов частота 270 Гц и наблюдаемые при вертикальных ударах 127, 175 Гц определяют набор  $f^{np}$  и соответственно размеры блоков в 2.2 и 3.5 м; изолированный, незначительный по

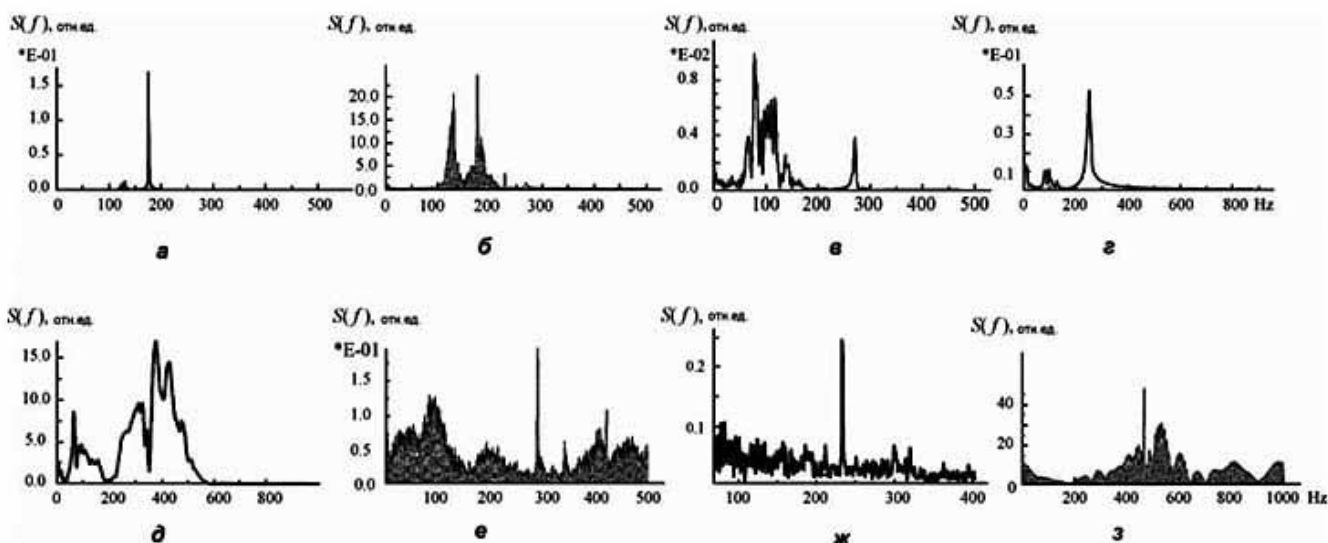
амплитуде, но добротный пик на 228 Гц, может определяться 3-м характерным размером блока (рис.2б). Группы пиков в области 127 Гц, слабых при ударе  $P_1$ , и мощных при  $P_3$ , вероятно, одной природы и связаны, как и окружающие добротный пик на 175 Гц, с колебаниями соседних блоков, также как и пики на 123 и 130 Гц, близкие к пику на 127 Гц (рис.2а,б). Горизонтальный удар, направленный вглубь массива пирамиды, возбудил колебания наибольшее количество блоков (частот), часть из которых может относиться к изгибным в горизонтальной плоскости (рис. 2б); в таком случае отсутствующий пик на 175 Гц тоже относится к изгибной моде, но в вертикальной плоскости, а постоянная шумовая часть спектра в диапазоне 0-65 Гц отражает реверберационные процессы прилегающего к зоне удара массива пирамиды. С другой стороны, пики в диапазоне 65-137 Гц грубо соответствуют 2-м, 3-м субгармоникам от ранее зарегистрированных пиков, а также отвечают размерам больших блоков и пустот внутри массива пирамиды (рис.2в). Добротность и амплитуда спектральных пиков в зависимости от направления ударов  $P_{1,2,3}$  сильно варьируются, что в первую очередь отражают особенности связи блока с остальным массивом, его нагружением и механическими характеристиками.

### Дахшур. Красная пирамида; вертикальный удар

Спектральный анализ вертикального удара в центре восточной грани пирамиды на высоте ~5 м выявил достоверные пики на 8.86, 80.0, 95.0, 127.0, 248.0 Гц (рис.2Г). Исходя из прежних сейсмических скоростей для продольных волн и в соответствии с полученным рядом частот, имеем линейные размеры ~102.0, 7.0, 6.0, 5.0, 2.5 м. То есть массив пирамиды сложен из более крупных блоков по сравнению с пирамидой Сноуфру и более однороден по размерам. Последнее снизило рассеяние и затухание сейсмических волн, верхнюю частоту фильтрации, что с учетом отсутствия изломов боковых граней, позволило наблюдать пик на 5.86 Гц, определяемый высотой пирамиды (102 м).

### Медум. "Неправильная" пирамида; внутренние и внешние удары

Внутри пирамиды, в нижней камере, было проведено три удара. Первый удар по полу камеры с направлением  $P_1$ , с применением "мягкого" ударника мощностью ~7.5 кгм/с; второй и третий - по боковым стенам камеры с направлением  $P_1$  и  $P_2$  (горизонтальный) и мощностью 1.0 кгм/с.



**Рис.2а.** Энергетический спектр вертикального удара сверху; Южная грань пирамиды Снофру, Дахшур; направление  $P_1$  (рис. 1Г)

**Рис.2б.** Спектр вертикального удара снизу по тому же блоку; направление  $P_3$

**Рис.2в.** Энергетический спектр горизонтального удара по боковой поверхности того же блока; направление  $P_2$

**Рис.2г.** Спектр удара; Красная пирамида

**Рис.2д.** Спектр удара внутри пирамиды в Медуме

**Рис.2е.** Спектр вертикального удара (Медум)

**Рис.2ж.** Спектр горизонтального удара (Медум)

**Рис.2з.** Спектр вертикального удара по северо-восточному углу, (Медум).

Спектры всех ударов в камере значительно отличаются от предыдущих (Снофру, Красная), что отчасти следовало ожидать. Сейсмические волны от импульса, возбуждаемого внутри массива пирамиды, как от точечного источника фактически сразу распространяются объемно в трехмерной дискретно-периодической среде, в то время как удар (импульс) по внешней поверхности (границе) вводит сейсмическую энергию в полупространство. Соответственно у спектров ударов в камере появляется постоянная составляющая с некоторыми особенностями для каждого типа импульса (рис.2д-ж). Постоянная составляющая спектра вертикального удара по полу камеры определяет размытость мощных пиков - подъемов уровня, исчезающего на границе  $\sim 600$  Гц - верхней частоты пропускания. Из-за близости камеры к приповерхностным нагруженным общим весом пирамиды структурам, вероятно, ощутим вклад их сейсмоэмиссионных процессов, приводящих к подъему уровня постоянной составляющей спектра шумов и отсутствию тонкой структуры пиков (рис.2д). На фоне размытых пиков на частотах 90.0, 305.0, 374.0, 412.0 Гц есть узкий пик на 61.5 Гц - следствие первого отражения от приповерхностной структуры на глубине  $\sim 10$  м и более. Часть размытых пиков, вероятно, связана со структурными особенностями основания пирамиды и/или ниже расположенными пустотами на глубинах 1-7 м, то есть этот удар носил зондирующий характер.

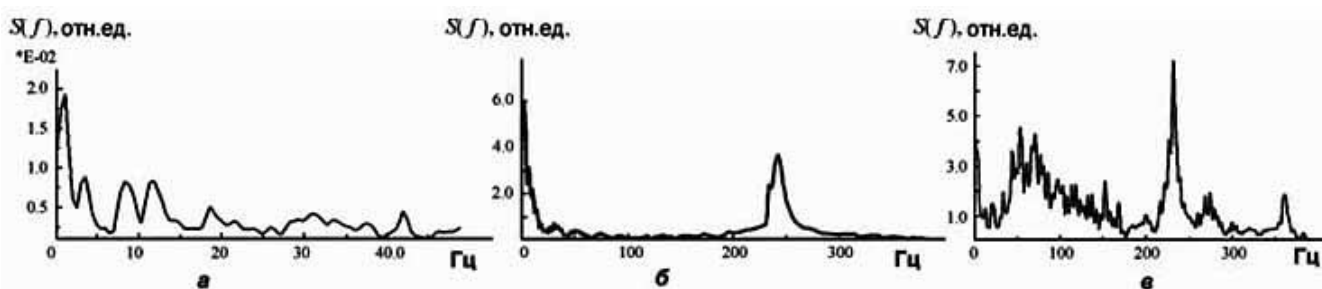
Постоянные составляющие спектров ударов вертикального ( $P_1$ ) и горизонтального ( $P_2$ ) по вертикальной стене камеры внутри пирамиды различны (рис. 2е,ж): для удара  $P_2$  характерен тренд составляющей в область высоких частот; составляющая вертикального  $P_1$ , также, как и в случае зондирующего удара (рис.2д) носит возмущенный, почти квазипериодический вид. Однако, если форма постоянной составляющей спектра зондирующего удара определяется в первую очередь отражениями от приповерхностных структур и сейсмоэмиссионными процессами последних, то возмущения постоянной составляющей вертикального удара по стене камеры, то есть по массиву пирамиды, отражают сейсмические осцилляции этого массива как единого целого. За исключением отсутствия подъема в области 200 Гц (рис.2е) в остальном для обоих вертикальных ударов наблюдается: либо согласованное поднятие постоянной составляющей и/или существование общих пиков. Эти пики размыты для зондирующего и добротны для удара по стене камеры (массива пирамиды) (рис.2д, е). Множество различных пиков на спектре горизонтального удара незначительно по амплитуде, убывающей с ростом частоты, и содержит только два низкочастотных пика на  $\sim 308$  и 320 Гц, появляющихся при вертикальных ударах. Исключение составляет высокочастотный пик значительной амплитуды на 232 Гц (рис.2ж). Контрастность этого пика по отношению ко всему спектру, вероятно, объясняется колебаниями ближайшего к месту удара блока, в целом же этот спектр, как волновой отклик всего массива пирамиды, отвечает модели с дискретно-периодической структурой.

Эксперименты по выбору волновой модели пирамиды органично связаны с неразрушающими методами поиска внутренних сейсмических неоднородностей массива

пирамиды - камер, коридоров, каналов. История создания пирамиды в Медуме достаточно неопределенна, а ее внутреннее строение исследовано, в отличие от остальных не столь тщательно. Поэтому для отработки поискового сейсмического метода были проведены пробные зондирующие горизонтальные удары по массиву северо-восточного угла пирамиды. Наблюдались случаи аномальной реверберации в форме квазигармонического сигнала на частоте 465 Гц. Поскольку этот удар  $P_2$  наносился близ ребра грани, то есть не по полупространству, его спектр носит отчасти обобщающий характер (рис.2з) и имеет признаки уже ранее полученные при анализе других спектров (рис.2д-ж). Несомненно, этот пик отражает колебания некой резонансной высокодобротной системы, например, блока. Но этот блок одновременно колеблется и на второй гармонике от аномально высокодобротного пика на 232 Гц (рис.2ж). При этом горизонтальные удары со столь непохожими спектрами (рис.2ж,з) объединяет только их тип -  $P_2$ . Поэтому обнаружение в этих условиях двух связанных высокодобротных резонансов, совпадающих до 3-го знака по частоте, предъявляют слишком жесткие невыполнимые требования к объяснению (модели) этого результата существованием где-то в массиве пирамиды резонирующего блока. Более реальной альтернативой является существование внутренней полости или канала. Учитывая, что места нанесения ударов  $P_2$  значительно разнесены по вертикали, реально предположить - соотношение высота-ширина канала равно 2.

### Некоторые импульсные исследования на плато пирамид Гизе

Одновременно с исследованиями по фокусировке и зондированию глубины фундамента в районе пирамид Гизе был получен спектр записи зондирующего сигнала, зарегистрированного на вершине малой пирамиды, расположенной подле пирамиды Менкаура, напротив Южной грани (рис.3а), а затем спектры ударов по Южной грани (рис.3б, в). Спектр рис.3а содержит сложный набор недобротных пиков двух диапазонов: низкочастотного - 1.3, 3.4, 8.3, 11.7, 18.5 Гц и высокочастотного - 41.0, 77.0, 111.0, 129.0 Гц. Мощный зондирующий удар и сейсмоэмиссионное поле зоны пирамид Гизе допускают передачу колебаний пирамиды Менкаура на малую пирамиду, а их фокусировка на вершине малой способствует их регистрации.



**Рис.3 а.** Спектр зондирующего сигнала, записанного на вершине малой пирамиды близ пирамиды Менкаура. **б.** Спектр вертикального удара (2.0, 241.0 Гц), пирамида Менкаура (Микерина). **в.** Спектр горизонтального удара, пирамида Менкаура.

Поэтому целесообразно совместное рассмотрение спектра сигнала на малой пирамиде (рис.3а) и спектров сигналов, записанных на основании Южной грани пирамиды Менкаура после вертикального (рис.3б) и горизонтального (рис.3в) ударов по блоку грани. Спектр вертикального удара с направлением  $P_1$  (рис. 1Г) имеет несколько характерных особенностей (рис.3б): мощное поднятие - пик в диапазоне 230-260 Гц; гладкий слабовозмущенный низкий уровень без пиков с мощной низкочастотной частью в области 2.0 Гц с незначительными пиками и спадающей к 20 Гц.

Спектр горизонтального удара с направлением  $P_2$  (рис.1Г) имеет некоторые общие особенности со спектрами других горизонтальных ударов (рис.2в,ж): многочисленные пики в диапазоне до 300-350 Гц; подъем постоянной составляющей с понижением частоты и доминирующей пик на высоте 232 Гц. В целом на основе этого спектра можно составить частотный ряд: 20.5, 33.2, 44.0, 53.7, 70.3, 77.0, 86.0, 96.6, 113.0, 118.0, 132.0, 136.0, 152.0, 168.0, 232.0, 268.5, 274.0, 360.3 Гц.

Сопоставляя общий вид спектров (рис.3б,3в) отметим, что один из них (рис.3б) более характерен для сплошного массива, а другой (рис.3в) - для дискретно-периодического. Возможно, это отличие от исследований в Медуме и Дахшуре отражает новое свойство пирамиды Менкаура. Несколько пиков (рис.3а,3в) различаются на несколько процентов или совпадают (77 Гц), что можно объяснить однотипностью характерных размеров их блоковой структуры и/или передачей-приемом колебаний от большой пирамиды к малой. Все три спектра имеют заметную низкочастотную часть (рис.3а-в), примыкающую к нулевой частоте с пиками в герцовом диапазоне. Это свидетельствует в пользу существования постоянных колебаний пирамид как связанных осцилляторов, а возможно и системы: поле пирамид - приповерхностные геологические структуры. Так, при падении груза ~20 кг с высоты ~3 м зарегистрирован пик на частоте 1.3 Гц, возможно соответствующий пульсациям этой системы. Если принять пирамиды Гизе за четвертьволновые резонаторы, то при скорости продольной волны в массиве м/с и средней высоте 110-120 м имеем основную частоту вертикальных колебаний 3.5-4.0

Гц, первую субгармонику 1.7-2 Гц, вторую гармонику 7.0-8.0 Гц (рис.3б).

Обращает внимание наиболее мощный пик на 232 Гц (рис.3в), аналогично проявляющийся и у пирамиды в Медуме (рис.2ж), как и его вторая гармоника (рис.2з). Наиболее простое объяснение - это следствие ударов по резонирующим блокам боковых граней пирамид Менкаура и Медумской. Однако при этом необходимо соблюдение следующих условий: блоки должны быть взяты из одной выработки карьера, являясь частью массивов пирамид, находиться в равных условиях по нагружению, а их характерные размеры совпадать с точностью до долей сантиметра. Другой вариант объяснения - как и в случае медумской пирамиды, существование близ поверхности грани внутренних полостей или камер одинакового размера.

В целом, все вышеизложенные особенности импульсного сейсмического исследования пирамид наиболее логично интерпретируются и объединяются в рамках дискретно-периодической структурной модели пирамиды.

## Выводы

1. Пирамиды по форме и даже функционально как гигантские фокусирующие сейсмические системы имеют много близких аналогов в экспериментальной и технической физике, технике и природе.

2. Египетские пирамиды, исходя из общих физических и сейсмических представлений, допустимо рассматривать как концентраторы и/или фокусирующие сейсмическое волновое поле системы, то есть как уникальный геофизический прибор.

3. Эксперименты с импульсным воздействием на отдельные блоки боковых граней и в камерах внутри массива пирамид как концентраторов выявили радикальные отличия от их известных, почти совпадающих по форме и функциям аналогов.

4. Коэффициент усиления сейсмических волн импульсного типа по амплитуде для малых пирамид достигает величины 10, что противоречит теории акустических концентраторов.

5. Затухание и рассеивание сейсмических импульсов в массиве пирамиды не описывается закономерностями сплошной или геологической среды.

6. Согласно экспериментам волновая модель пирамиды - дискретно-периодическая фокусирующая структура с полосовой фильтрацией.

7. Формализм описания волновых процессов в пирамиде должен базироваться на уравнениях Матье, Фоккера - Планка и т.п. с учетом сейсмоакустических процессов в массиве.

8. Спектры отклика пирамиды на импульсное воздействие носят сложный характер, имеют общие закономерности; существуют сверхдобротные спектральные линии.

9. Одно из объяснений добротных линий - существование не всегда известных внутренних камер или каналов.

10. У некоторых пирамид значения добротных линий совпадают до третьего знака (Медумская, Менкаура).

## Литература

1. Детектор: Заявка на изобретение, N 1612603/26-25 от 21.01.1971 г.
2. Чувствительный элемент: Заявка на изобретение, N 1605615/26-25 от 29.12.1970 г.
3. Установка для регистрации гравитационных волн: Заявка на изобретение, N1659568/26-25 от 05.05.1971 г.
4. Датчик гравитационных волн: Заявка на изобретение, N1648365/26-25 от 26.04.1971г.
5. Установка для исследования гравитационного излучения: Заявка на изобретение, N 1861249/26-25 от 22.12.1972 г.
6. Способ регистрации продольных колебаний гравитационной антенны: Заявка на изобретение, N 1752515/26-25 от 21.02.1972 г.
7. Способ повышения чувствительности аппаратуры, регистрирующей колебания Земли: Заявка на изобретение, N 1825870/26-25 от 21.08.1972 г.
8. Установка для регистрации гравитационных волн: Заявка на изобретение, N 2088385/26-25 от 23.12.1974 г.
9. Физическая акустика / Под ред. У.Мезона. Т. 1, ч. Б. М.: Мир, 1967. С. 339-358.
10. Источники мощного ультразвука / Под ред. Л.Д.Розенберга. М.: Наука, 1967. С. 377.
11. Ультразвук. М.: Сов. энциклопедия, 1979. С. 400.
12. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Явление модуляции высокочастотных сейсмических шумов Земли: Диплом на открытие N 282 Госкомизобретений СССР. М., 1983. 1 с.
13. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Модуляция региональных высокочастотных сейсмических шумов. М.: ИФЗ АН СССР, 1985. 147 с. (Деп. в ВИНТИ, N 1161-85.)
14. Хаврошкин О.Б. Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 286.
15. Khavroshkin O.B., Tsyplakov V.V. Nonlinear seismology: Experimental structure // Nonlinear acoustics at the beginning of the 21th century / Ed. Oleg V. Rudenko, Oleg A. Sapozhnikov. 16<sup>th</sup> ISNA. Vol. 1. M., 2002. 622 p.
16. Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Новые проблемы внеземной сейсмологии // Проблемы геофизики XXI века / Под ред. А.В.Николаева. Кн. 2. М.: Наука, 2003. С. 281-323.
17. Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Особенности огибающих гистограмм длительностей импактных лунных сейсмограмм // Очерки геофизических исследований: К 75-летию ОИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН. М.: ОИФЗ РАН, 2003. 474 с.

18. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Явление гравитационного излучения: Заявка на открытие, N ОТ-8703 от 15.03.1974 г.
19. *Климантович Ю.Л.* Статистическая теория открытых систем. Т. 1. М.: ТОО "Янус", 1995. 622 с.
20. *Станюкович К.П., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Детектирование гравитационных волн от пульсаров // *Астроном. циркуляр.* Бюро астрономических сообщений АН СССР. 1974. N 824. 3 с.
21. *Станюкович К.П., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Аномальный характер спектра высокочастотных микросейсм // *Проблемы теории гравитации и элементарных частиц.* М.: Атомиздат, 1977. Вып. 8. С. 214-217.
22. *Попов В.Ф., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Особенности высокочастотных микросейсм в полосе 13-14 Гц. *Ibid.* С. 217-219.
23. *Bonazzola S., Chevreton M.* On possible improvements of gravitational antennae. *Observatoire de Meudon, Meudon (France), 1992.*
24. *Лаврентьев Г.Я.* Гравитационный резонансный детектор с двумя степенями свободы // *Письма в ЖЭТФ.* 1969. Т. 10. С. 459-499.
25. *Брюллюэн Л., Породи М.* Распространение волн в периодических структурах. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 457 с.
26. *Каудерер Г.* Нелинейная механика. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 777 с.
27. *Хаврошкин О.Б.* Сейсмическая нелинейность. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 110 с.
28. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Аппаратурно-методические основы экспериментальной нелинейной сейсмологии // *Сейсм. приборы.* М.: ОИФЗ РАН, 2003. Вып. 39. С. 43-71.
29. *Николаевский В.Н.* Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 447 с.
30. *Лихтенберг А., Либерман М.* Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984. 528 с.
31. *Рабинович М.И., Трубецков Д.И.* Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
32. *Арнольд В.И.* Личное сообщение. 1987.
33. *Урдуханов Р.И., Хаврошкин О.Б.* Хаотизация сейсмических вибросигналов: Препр. ИФЗ АН СССР. М., 1987. N 9. 18 с.
34. *Яковлев А.П., Дубров М.Н.* Спектрально-временная структура высокочастотных микродеформаций мощных электрических машин // *Физические основы сейсмического метода.* Нетрадиционная геофизика. М.6 Наука, 1991. С. 170-178.
35. *Кишкина С.Б.* Особенности микросейсмического фона в разных районах России // *Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли.* М.: ИДГ РАН, 2003. Кн. 1. С. 142-152.
36. *Дубровский В.А.* Связь фона микросейсм с космическими объектами и гравитационные волны. *Ibid.* С. 268-274.
37. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн. М.: Наука, 1979. 383 с.
38. *Ланда П.С.* Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980. 359 с.
39. *Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. М.: Наука, 1971. 850 с.
40. *Dyson E.J.* // *Astrophys J.* 1969. Vol.156, N 529.
41. *Wigging R.A., Press F.* // *Geophys. Res.* 1969. Vol. 74, 5351.
42. *Sodeh D., Ben Menahem A., Meidav M.* Possible detection of gravitational waves from pulsars: Preprint TAUP-270-72. 1972.
43. *Плескач Н.К.* Квазигармонические колебания микросейсмического фона в диапазоне частот 1-5 Гц // *Докл. АН СССР.* 1977. Т. 232, N 3. С. 558-561.



44. *Манчестер Р., Тейлор Дж.* Пульсары. М.: Мир, 1980. 202 с.

45. Khavroshkin O.B., V.V. Tsyplakov, D.G. Pavlov. Geophysical fields and signals of some Egyptian pyramids.