

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

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

---

## **КОСМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ШУМА ПИРАМИДЫ СНОУФРУ (DANSHUR).**

---

### **Аннотация**

Сейсмические шумы и сигналы египетских пирамид и прилегающих структур послужили материалом для исследований по нескольким направлениям, каждое из которых представляет прикладной и фундаментальный интерес. Так, спектральный и спектрально-временной анализы высокочастотных шумов и сейсмоакустической эмиссии и их огибающей выявили достоверные периодичности (пики) соответствующие известным геофизическим и астрофизическим процессам и источникам. В настоящей работе рассмотрен вопрос о регистрации сейсмического отклика пирамиды на излучение пульсаров.

### **Предварительные замечания**

Простота регистрации и информационное изобилие сейсмического шума египетских пирамид способны поразить любого геофизика и сейсмолога, независимо от их глубины владения этим вопросом. Поскольку природа и свойства микросейсм и высокочастотных сейсмических шумов, включая сейсмоакустическую эмиссию, достаточно полно изложены в специализированных изданиях (статьи, монографии), то соответственно рассмотрение результатов будет разбито на несколько частей. Так, сейсмический шум, записанный без выделения огибающей, то есть наиболее традиционным способом, анализируется как два отдельных блока. В спектральном диапазоне 0-6 Гц и диапазоне 0-180 Гц (0 Гц следует понимать достаточно условно, характеристики использованных сейсмоприемников позволяют эффективно регистрировать шум от 2 Гц и более). В диапазоне 0-6 Гц детально анализируются все пики и особенности геофизической среды, а для 0-180 Гц - наиболее подробно рассмотрено всего несколько пиков.

Однако адекватное понимание информативности сейсмического шума невозможно без введения понятия сейсмически активной среды, адаптированной к условиям пирамид.

Сейсмоакустическая эмиссия и модуляционные процессы - новый, но динамично развивающийся раздел нелинейной сейсмологии, несмотря на малые длительности регистрации и отрывочный характер записей, подтвердили свой статус эффективного инструмента познания и несомненно обогатятся новыми особенностями.

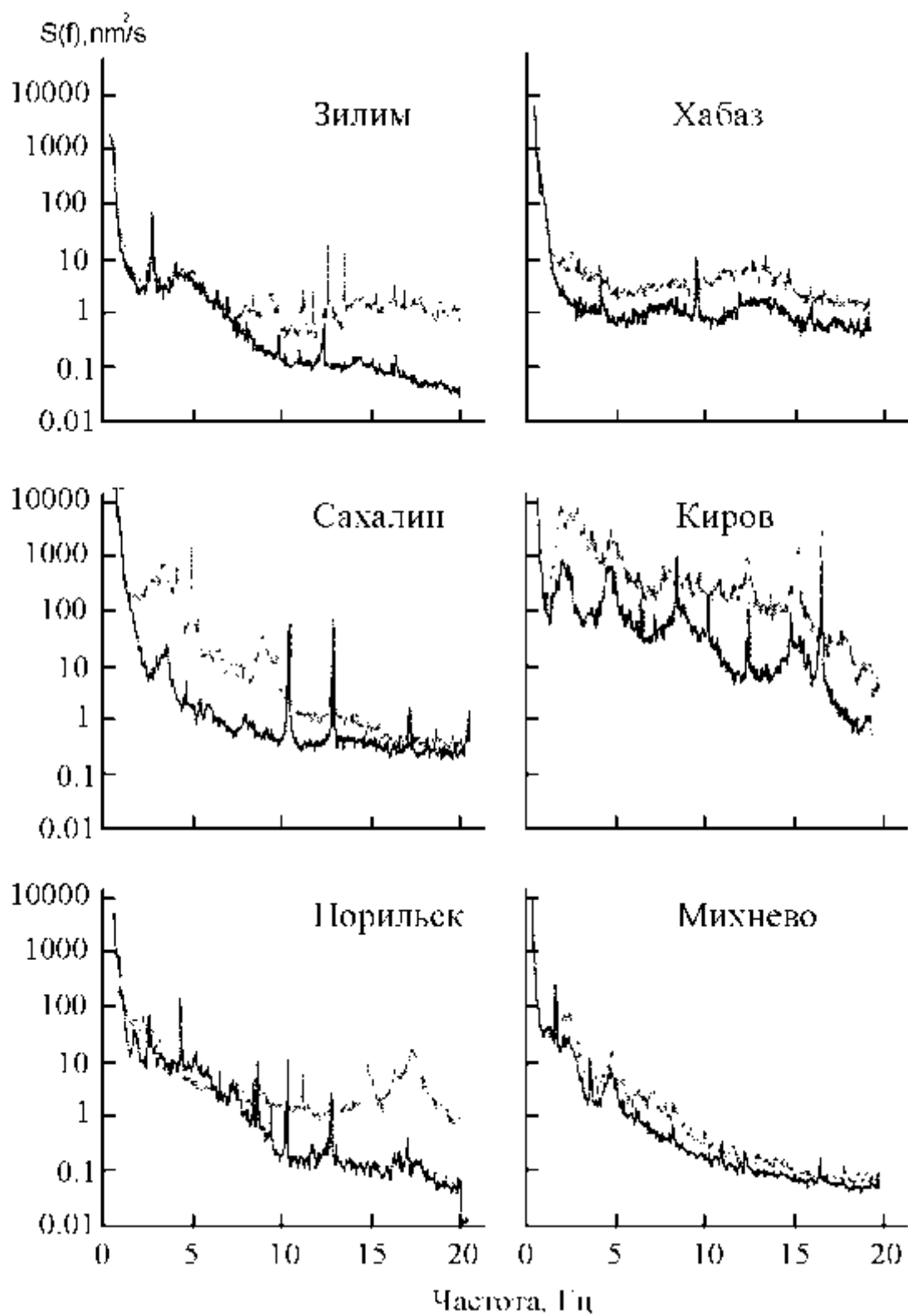
### **1. Сейсмически активная (нелинейная) среда и волновые процессы**

Понятие геологической среды как сейсмически активной возникло и успешно развивается с момента формирования нелинейной сейсмологии как самостоятельного раздела физики [1-3]. Известно несколько конструктивных признаков такой среды. Это - излучение части запасенной внутренней потенциальной энергии в виде сейсмических (акустических) волн широкого диапазона частот (сейсмоакустическая эмиссия - САЭ); параметрическое усиление цуга волн, проходящих через геологическую среду, находящуюся в околокритическом, близком к разрушению состоянии; самосинхронизация и автогенерация волн в объеме среды с дефектами, образующими, например, ансамбль возобновляемых бистабильных элементов (трещин) [4]. В соответствии с этими

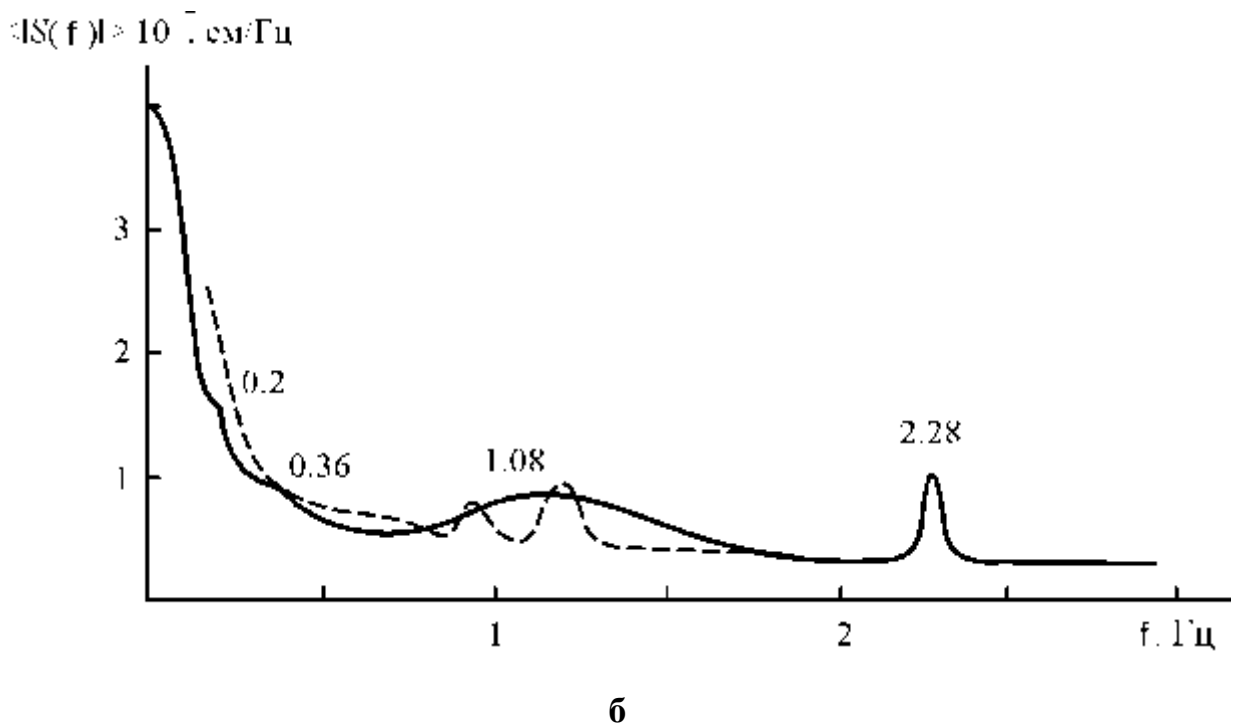
признаками уровень активности среды близ египетских пирамид определяется глобально масштабными факторами - активной тектоникой региона (наблюдается рост сейсмичности) и расположением пирамид вдоль борта гигантского Восточно-Африканского разлома и локальными - нагрузкой среды избыточной массой пирамиды и полями напряжений внутри пирамид; региональными особенностями среды и волновых полей. Экспериментальное доказательство существования САЭ, а точнее, мощности этой составляющей в сейсмических шумах, было доказано эффективностью модуляционного метода и особенностями выявленных периодичностей высокочастотных сейсмических шумов. Доказательство существования и оценка уровня САЭ всего массива блоков пирамиды определились сразу по результатам эксперимента: сейсмический шум внутри массива был выше, чем на внешних поверхностях граней.

В реальном масштабе, то есть для среды на удалении от пирамид в десятки и сотни километров в среде и волновом поле существуют еще два нелинейных механизма, известные ранее, и в данном случае способные играть некоторую роль. Это - эволюция сейсмического спектра или нелинейная трансформация волн, связанная с вязкоупругой реологией фрагментированных геоматериалов, то есть песка пустыни [3], и многочастотное хаотизированное волновое поле техногенного происхождения (работа Асуанской ГЭС) [5, 6].

Хаотизация сейсмического сигнала изучена в части закономерностей формирования активной среды и частотных диапазонов возможного усиления слабых сигналов, а сам механизм имеет прекрасную теоретическую и физическую основу, являясь сейсмической иллюстрацией регулярной и стохастической динамики [7, 8]. То есть многие регионы планеты, имеющие локальные зоны транспортных шумов, охвачены сейсмическими полями техногенных шумов стохастического типа, образованных по следующей схеме. Наиболее мощные источники вибраций либо напрямую (ГЭС, АЭС, ТЭЦ), либо через энергетические установки и преобразователи электроэнергии (комбинаты, промзоны и т.п.), как правило, излучают первичные сейсмические волны на частотах 50, 100, 25 Гц ( $f_0$ ). Однако в спектре шумов мощные линии на указанных частотах ( $f_0^3$ ) наблюдаются только на незначительном удалении от источника (первые десятки км и менее). Из-за сильной нелинейности геологической среды с первых км трассы распространения начинают возникать гармоники и субгармоники от основных частот ( $f_0^3$ ), а с удалением - только субгармоники. Далее происходит еще большее усложнение спектра - образуются волны на суммарно-разностных частотах, причем с участием уже вновь образованных субгармоник. Экспериментальные исследования хаотизации сейсмических вибросигналов, ведущиеся с 1987 г., обнаружили по сравнению с другими физическими системами отличия, например, одновременное удвоение и утроение периода,  $f_0/6$ , теоретически предсказанного ранее [6, 9]. К более общим особенностям спектра хаотизированного сейсмического волнового поля следует отнести нестабильность пиков хаотизации по амплитуде и частоте, причем в низкочастотной области спектра (герцовый диапазон), множество таких нестабильных и недобротных пиков приводит одновременно и к появлению значительной постоянной составляющей [1-3, 5, 6, 9]. Некоторые из этих закономерностей наблюдаются и в других работах по шумам с иными задачами исследования рис.1а, б [10-12]. На рис.1а виден, отмеченный авторами как резонансный, 17-герцовый пик, определяемый хаотизацией  $f_0/3$ ; а на рис.1б хорошо представлена постоянная составляющая герцового диапазона.



а



**Рис. 1 Примеры спектрального представления шумов.**

**а.** Примеры спектральной плотности мощности вертикальных компонент микросейсмических колебаний, зарегистрированных в дневное (светлый график) и ночное (темный график) время в следующих пунктах наблюдения: Зилим, Хабаз, Сахалин, Киров, Норильск, Михнево. Обращает на себя внимание не только изменение амплитуды 17-герцового пика, но и его формы (нелинейный эффект).

**б.** Наблюдаемый микросейсмический фон (сплошная кривая) после накопления фонового сигнала с выхода интерферометра, диапазон 0.1-5 Гц.

Как следует из вышеизложенного, в общем случае хаотизированное волновое поле геофизической среды может быть представлено двумя участками спектра: низкочастотным со значительной постоянной составляющей и недобротными слабыми пиками хаотических частот и высокочастотной частью с мощными изолированными пиками начальной стадии сейсмической хаотизации. Возникающий в такой среде от воздействия внешнего источника (электромагнитного, гравитационного) слабый, но высокочастотный сигнал будет взаимодействовать с хаотизированным волновым полем. В низкочастотной части это взаимодействие из-за постоянной составляющей будет слабо зависеть от частоты сигнала, и последний будет усиливаться за счет синхронизации и затягивания волновой энергии хаотизированной компоненты, относительно равномерно распределенной по этой части спектра. В высокочастотной части спектра усиление сигнала уже будет определяться величиной рассогласования частот сигнала с мощными пиками начальной стадии хаотизации. Однако в обоих случаях хаотизированное сейсмическое поле и нелинейные геологические структуры играют роль сейсмически активной среды. Эффективность этой среды во многом определяется параметрами нелинейности, микроструктурой, эмиссионной активностью, тектоническими процессами [1-3, 6, 5]; теоретическое рассмотрение этого вопроса - предмет многих исследований [4, 7, 8, 13-15]; проблемы хаоса и самоорганизации (солитонные свойства) включены в экспериментальную структуру нелинейной сейсмологии [16].

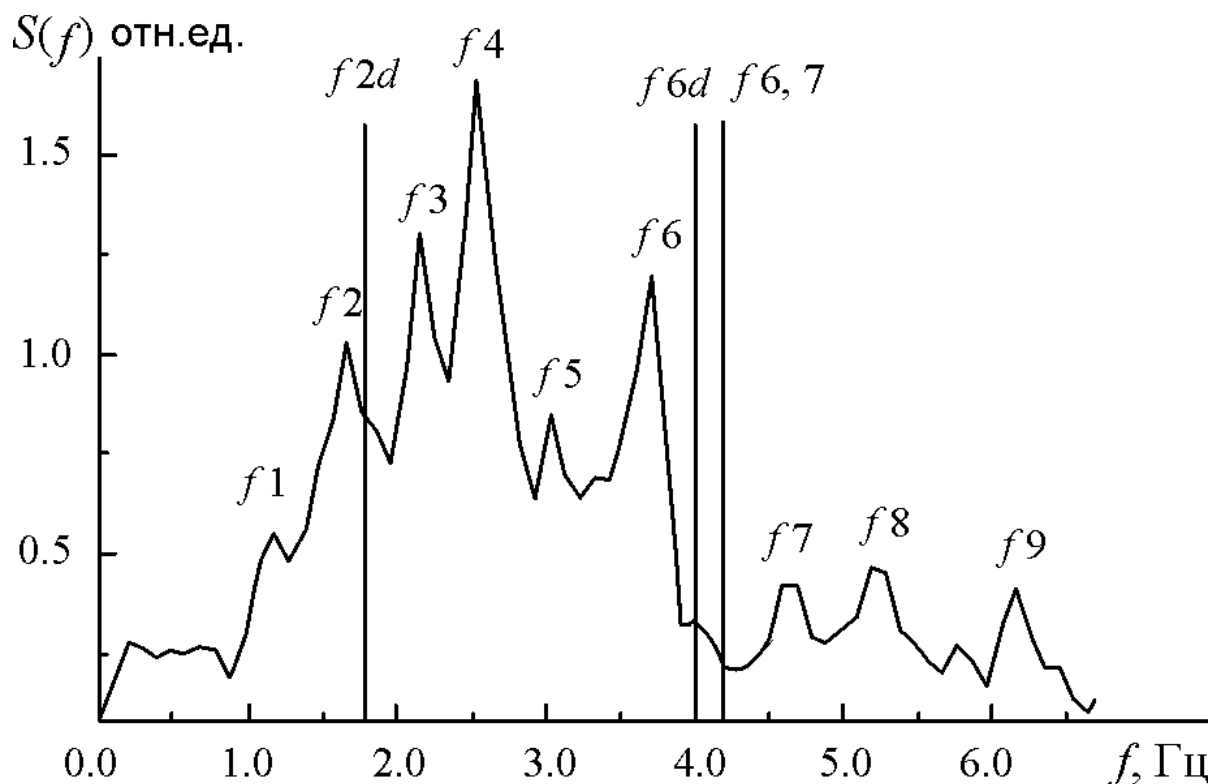
Итак, при анализе записей сейсмического шума пирамид необходимо иметь в виду существование нескольких типов сейсмически активной среды, включающей:

1. Сейсмоакустическое эмиссионное поле массива пирамид;
2. Сейсмоакустическое эмиссионное поле среды близ и в первую очередь под пирамидой;
3. Сейсмоэмиссионные процессы от воздействия активных тектонических подвижек региона, лунно-солнечных приливов и т.д.;
4. Хаотизированное сейсмическое волновое поле региона.

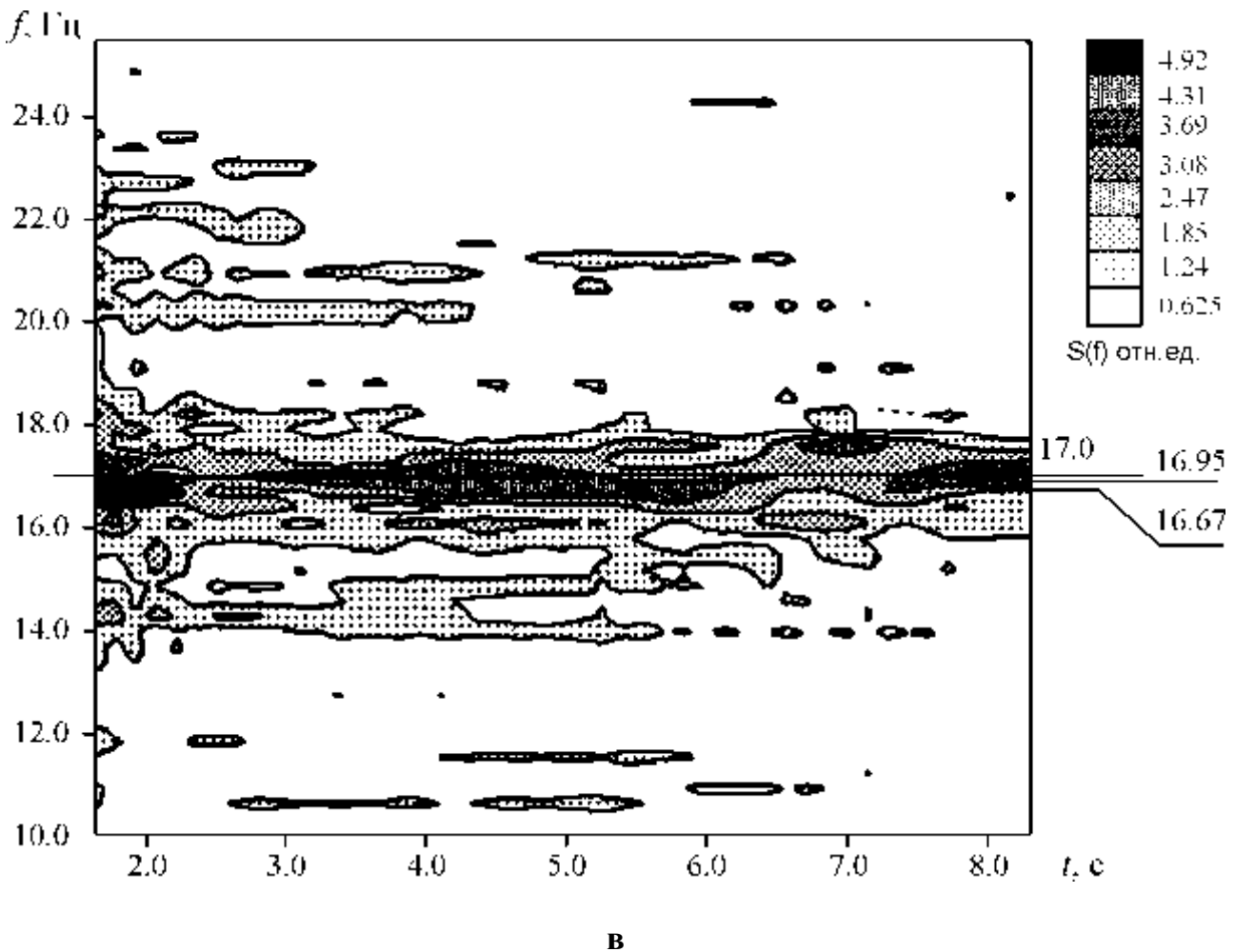
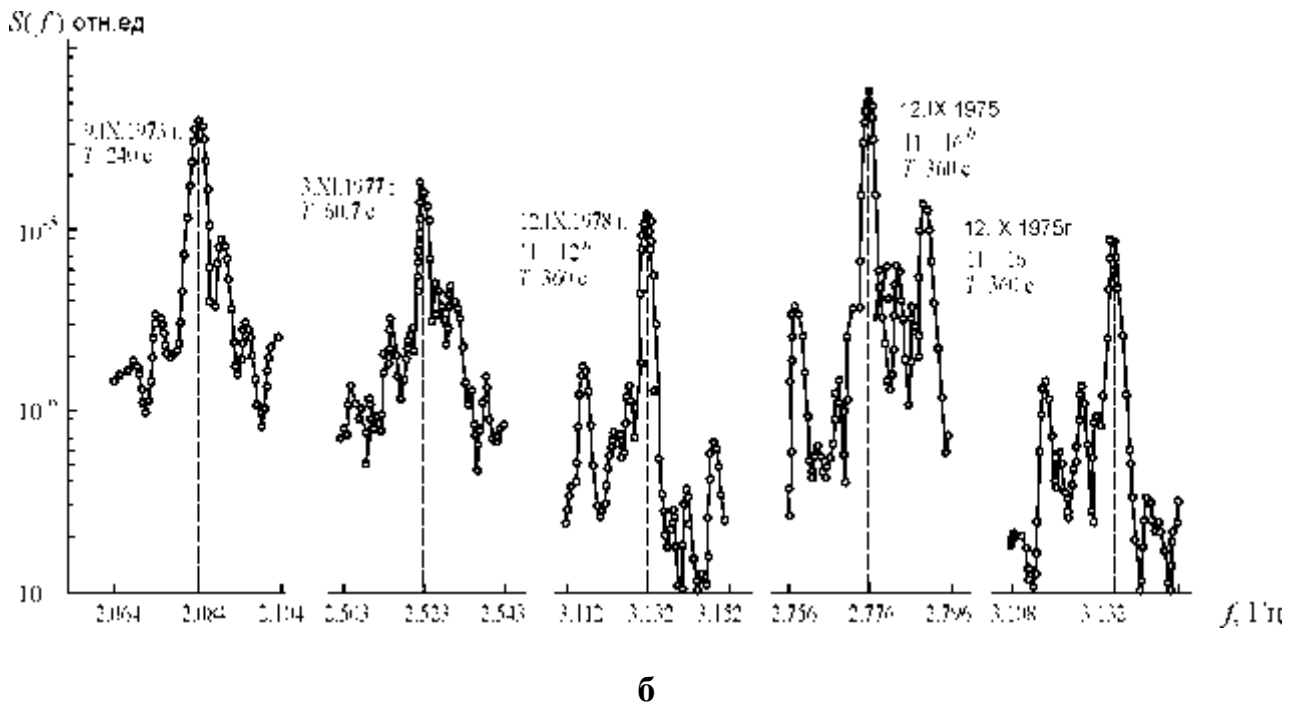
### Анализ сейсмических шумов Ломаной пирамиды Снофру. Дахшур.

#### *Низкочастотная часть сейсмических шумов*

В соответствии с концептуальными представлениями сейсмически активной среды рассмотрим низкочастотную часть спектра сейсмических шумов (0-6.5 Гц), записанных на южной грани Ломаной пирамиды Снофру (рис.2а,б,в).



а



**Рис.2 Сопоставительный анализ низкочастотных шумов.**

**а.** Низкочастотный участок спектра сейсмических шумов пирамид Снофру.  $S(f)$  - спектральная плотность,  $f$  - частота;

**б.** Спектральное представление микросейсмического фона (шума) в диапазоне 1-3 Гц. Квазигармонические составляющие (Н. Плескач);

в. Спектрально-временное представление изменения мощности сейсмического шума на южной грани Ломаной пирамиды в диапазоне 10-25 Гц. Линии на 16.95 и 16.67 Гц - частоты посылки радиоимпульсов от пульсара PSR 1913+16 и субгармоники ( $f_0/3$ ) сейсмического сигнала от Асуанской ГЭС, соответственно.

$t$  - текущее время в с;  $f$  - частота, Гц; анализ с применением спектрального окна 33%.

Часть спектра, примыкающая к нулю (0-1 Гц) имеет малую амплитуду из-за характеристики сейсмоприемника, приводящей к подавлению сигнала в этом диапазоне. Данные о фактически всех пиках спектра рис.2 как главной особенности представлены в табл. 1, где  $f$  - частота,  $T$  - период,  $A$  или  $(S(f))$  - амплитуда пика.

**Таблица 1.** Пики низкочастотной части спектра

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f$ , Гц	1.1716	1.6602	2.1484	2.5391	3.0273	3.7109	4.6875	5.1758	6.1523
$T$ , с	0.8533	0.6024	0.4655	0.3938	0.3303	0.2695	0.2133	0.1932	0.1625
$A$ , отн. ед.	0.55	1.025	1.30	1.68	0.85	1.20	0.41	0.45	0.39

Около 25 лет назад рассматриваемому диапазону шумов уделялось значительное внимание в связи с теоретическими и экспериментальными работами по поиску сейсмического отклика Земли на гравитационно-волновое излучение пульсаров в основном сосредоточенное в этом диапазоне [17-19]. К сожалению, эти исследования базировались на гуковских представлениях об идеальной среде, понятия регулярной и стохастической динамики, как и нелинейной сейсмологии отсутствовали, поэтому к настоящему времени эти работы представляют чисто исторический интерес. Однако тогда, после вспышки интереса к исследованиям сейсмических шумов, направление было признано бесперспективным, и последующие наблюдения спектральных пиков от более высокочастотных пульсаров не спасло положения [20-22], возникло неясное "табу" на сейсмические методы. Последнее отчасти сыграло положительную роль, начались исследования по нелинейной сейсмологии.

Приступая к анализу спектра (рис.2), следует иметь в виду следующее.

1. Электромагнитное излучение пульсаров, взаимодействуя со сложной структурой верхних слоев атмосферы и магнитными полями, проводящими участками в земной коре и сейсмоакустическими эмиссионными и электромагнитными источниками геологических структур и массива пирамиды, способно через пондеромоторные эффекты вызывать сейсмические волны на основной частоте пульсара с периодом  $P_0$  (с).

2. Поскольку сечение захвата электромагнитного излучения в этом случае на много порядков ( $\sim 40$ ) превосходит сечение гравитационных волн с периода  $P_0/2$ , то в первоначальной стадии рост и формирование спектра сейсмического шума в нелинейной сейсмически активной среде проявляется в появлении и росте спектральных пиков на периодах  $P_{01}, P_{02}, \dots, P_{0i}, \dots, P_{0n}$ .

3. В нелинейной, а тем более сейсмоактивной среде существует сильная взаимосвязь между основным тоном и первой гармоникой, на первом унтертоне (удвоение периода  $P_0/2$ ); то есть из-за такого взаимодействия энергетический вклад в спектральные пики на периодах  $P_0$  и  $P_0/2$  определяются электромагнитным и гравитационным излучениями одновременно.

4. На участках спектра, где различие в периодах  $P_{0i}; P_{0i\pm 1}$  соответствует 2-3-му знаку (рис. 2), из-за упомянутых свойств среды происходит синхронизация и появление пиков на новых смещенных частотах [5, 15], а форма этих пиков обычно не соответствует резонансной - несимметрична, с мощным основанием, срезанной вершиной; более длительная запись может выявить структуру такой вершины как набор парциальных пиков с флуктуирующими во времени амплитудами [23] (рис.2б).

5. Возникшие подобным образом участки спектра квазистабильны и перестраиваются от незначительного внешнего воздействия регионального типа; например, волновое поле от местного землетрясения полностью разрушило даже классическую картину хаотизации сигнала ГЭС [1], а перестройку структуры пика хаотизации могут вызвать приливные деформации.

6. Возникновение и последующее доминирование по амплитуде пика с периодом синхронизации  $T_{ic}^s$ , затягивающего несколько волн с  $P_{0i\pm 1,2}^s$ , определяется несколькими факторами: различием парциальных частот синхронизации ( $P_{0i}$ ) группы пульсаров синхронизации, их числом  $n$  и уровнем когерентности; мощностью электромагнитного  $W_{э.м.}$  (например, плотностью потока на частоте 400 МГц) и гравитационного излучения  $W_{ГР.}$  (производная периода  $\dot{P}_0$ ) каждого пульсара [24].

7. Проявление электромагнитного и гравитационного воздействия на участок спектра сейсмических шумов следует оценивать не только и не столько по совпадению значений сейсмических пиков с набором  $P_0$  и  $P_0/2$ , но и по коэффициентам корреляции между сглаженными участками спектра и функциями  $n = n(T_i); W_{э.м.} = W_{э.м.}(T_i); W_{ГР.} = W_{ГР.}(T_i), T_i = P_{0i}$ .

Примечание: Отметим также, что поиск пиков  $P_0/2$  во всех известных экспериментах - следствие модели пульсара с одной горячей точкой, но введение модели с двумя горячими симметрично расположенными точками (запретов на такую модель нет) исключает из рассмотрения в первом приближении сигналы на  $P_0/2$ .

Предварительно в соответствии с вышеизложенным для анализа пиков низкочастотной части спектра (рис.1), табл. 1, по данным [24] была составлена табл. 2 пульсаров, отвечающих требованиям синхронизации периодов  $P_{0i}$ , и их некоторых параметров. В соответствии с опытом по синхронизации сейсмических вибросигналов [5, 16] в табл. 2 введены данные пульсаров, периоды  $P_0$  которых отличаются от значений пиков табл. 1 на  $\Delta t \approx \pm 0.01$  с. Тем самым, каждому спектральному пику (рис. 1) образована группа пульсаров (число пульсаров  $n$ ), определяемая  $\Delta t$ . Для каждой из групп по данным таблиц 1, 2 определены: средние значения периодов  $\bar{P}_0$ , разности  $\Delta \tau$  между  $\bar{P}_0$  и периодом спектрального пика; суммарные плотности  $\Sigma W_{э.м.}$  потока электромагнитного излучения и для некоторых - производные  $\Sigma \dot{P}_0$  ( $\dot{P}_0$  - характеризует гравитационное излучение). То есть сделана попытка найти соотношение между спектральными пиками низкочастотной части спектра сейсмических шумов пирамиды и участком гистограммы распределения пульсаров по периодам [24]. Результаты сведены в табл. 3.

**Таблица 2.** Параметры пульсаров с периодами  $P_{0i}$ , отличающимися от значений спектральных пиков табл. 1 во 2-3-м знаках



Спектральный пик, с	Пульсар, PSR	Период $P_0$ , с	Плотность потока $W_{э.м.}$ на 400 МГц	Расстояние, КПС
1	2	3	4	5
0.8533 $f_1=1.1718$ Гц	0820+02	0.8648	22	0.9
	0953-52	0.8621	29	3.9
	1309-55	0.8492	16	5.3
	1358-63	0.8427	34	3.4
	1503-51	0.8407	5	2.3
	1558-50	0.8642	47	5.7
	1648-42	0.8440	98	18
0.6024 $f_2=1.6602$ Гц	1941-17	0.8411	6	2.2
	1729-41	0.6279	9	7.6
	1813-26	0.5929	30	5.1
	1818-04	0.5980	170	1.5
	1844-04	0.5977	75	4.5
	1857-26	0.6122	120	1.5
	1911+11	0.6009	5	2.4
0.6024	1919+14	0.6181	17	2.8
0.6024	0403+61	0.5946	30	0.9
0.4655 $f_3=2.1484$ Гц	0254-53	0.4477	17	0.6
	0626+24	0.4767	30	2.7
	1030-58	0.4642	14	13
	1159-58	0.4528	23	5.6
	1323-58	0.4779	120	11
	1353-62	0.4557	???	14
	1436-63	0.4596	21	4.6
	1510-48	0.4548	9	2
	1641-45	0.4550	375	4.9
	1718-02	0.4777	24	2.8
	1718-32	0.4771	60	4.6
	1756-22	0.4609	20	5.5
	2305+55	0.4750	23	1.7
0.3938 $f_4=2.5391$ Гц	0559-05	0.3959	17	0.4
	1240-64	0.3884	110	14
	1609-47	0.3823	17	6.0
	1642-03	0.3876	440	0.2
	1745-13	0.3941	25	4.0
	1813-36	0.3870	22	3.7
	1839+09	0.3813	22	1.9
	1910+10	0.4093	2	4.0
	1913+10	0.4045	30	7.5
	1937-26	0.4028	8	2.0
	2024+21	0.3981	3	3.6
2148+63	0.3801	25	4.9	
1	2	3	4	5
0.33032 $f_5=3.0273$ Гц	0449+55	0.3408	40	0.6
	0611+22	0.3349	21	3.5
	1110-65	0.3342	19	8.0
	1600-49	0.3274	44	5.1
	2048-72	0.3413	29	0.6
	2123-67	0.3257	7	1.3

	2310+42	0.3494	55	0.6
0.2695 $f_6=3.7109$ Гц	0136+57	0.2725	45	2.3
	0905-51	0.2535	35	1.2
	0.950+08	0.2530	500	0.1
	1143-60	0.2733	17	3.1
	1317-53	0.2797	18	3.8
	1451-68	0.2633	350	0.3
	1556-57	0.2570	110	2.3
	1806-53	0.2610	12	1.7
	1914+09	0.2702	15	1.9
	1930+20	0.2682	7	6.2
0.2133 $f_7=4.6875$ Гц	0743-53	0.2148	23	2.5
	1221-63	0.2164	47	3.2
	1929+10	0.2265	130	0.05
0.19321 $f_8=5.1758$ Гц	0.656+64	0.1955	40	0.2
	1055-52	0.1971	80	1.1
	1556-57	0.1944	20	6.8
	1557-50	0.1925	???	9.0
	1821-19	0.1893	52	8.6
	1915-13	0.1946	50	2.9
0.16254 $f_9=6.1523$ Гц	0355+54	0.1563	56	1.5
	0740-28	0.1667	195	2.0
	1449-64	0.1794	231	2.6
	1541-52	0.1785	23	1.3
	1804-08	0.1637	53	4.4

**Таблица 3.** Сопоставление некоторых параметров спектральных пиков шума пирамиды и пульсаров в полосе периодов 0.8-0.1 с

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$T, c$	0.8533	0.6024	0.4655	0.3938	0.3303	0.2695	0.2133	0.1932	0.1625
$A, \text{отн. ед.}$	0.55	1.025	1.30	1.68	0.85	1.20	0.41	0.45	0.39
$\bar{F}_0, c$					0.3362				
$n$	8	8	13	12	7	10	3	6	5
$\Sigma W_{\text{ш}}, \text{МГц}$	240	460	720	700	215	1090	200	240	550
$\Sigma \dot{F}_0$					61.60				
$T \cdot \Sigma \dot{F}_0$					- 0.0059				

К сожалению, табл. 3 отражает не все особенности групп пульсаров табл. 2 как источников излучения, влияющих на форму спектра шумов (рис.2а). Поскольку каждая группа рассматривается как кооперативный источник, излучение которого воздействует на литосферу в том числе и на регион пирамид, то в дальнейшем необходимо учитывать: распределение пульсаров группы по небесной сфере; первичные коэффициенты когерентности для излучений, появление которых возможно до подхода к Земле, и вторичных, наиболее существенных, возникающих в нелинейной и сейсмически активной геологической среде; поправку на удаленность пульсаров для потока гравитационного излучения ( $\dot{F}$ ).

Однако и в представленном виде сопоставление параметров сейсмического шума и групп пульсаров в табл. 3 и спектре рис.2а свидетельствуют об устойчивом соответствии этих параметров и подтверждают предположение о заметном вкладе космического воздействия в низкочастотные спектральные пики шумов пирамиды Снофру. Подъемы общего уровня спектра также характерны. Наиболее мощная часть находится в диапазоне периодов 0-1 с (из-за характеристики аппаратуры этот столообразный участок незначительной амплитуды, уменьшен в десятки раз) и соответствует максимальному числу известных пульсаров, а в целом гистограмма периодов пульсаров, если допустить появление 2-й гармоники сейсмических шумов периодов в диапазоне 0-1с и/или излучения на  $P_0/2$  отображена и во второй постоянной части - подъеме спектра в диапазоне частот 1-4 Гц.

Этот же диапазон шумов был изучен методом спектрально-временного анализа (СВАН) (рис.2в). СВАН ранее к поиску космического воздействия в сейсмических шумах не применялся, а с другой стороны, оказался действенным инструментом при поиске нелинейных эффектов, в частности синхронизации сейсмических сигналов [5, 15]. Более подробное рассмотрение СВАН сейсмических шумов в диапазоне 0-8 Гц (рис.2в) и его сопоставление с ранее полученными СВАН диаграммами анализа поведения и эволюции во времени гармонических сейсмических сигналов в нелинейной и/или сейсмически активной среде выделяют много общих характерных черт, присущих процессам хаоса и самоорганизации в нелинейной сейсмологии [5].

В первую очередь эти процессы реализуются через механизм синхронизации и десинхронизации. То есть пики на спектре шумов, даже наиболее мощные, например на частоте 2.5 Гц, сформировавшись на прямой В-А', существуют ограниченное время со 2-й по 3-ю секунду записи (рис.2а). После этого энергия пика распределяется в широкой полосе частот (от 3-й секунды до 4.5) и затем затягивается с 5.5 по 6.8 секунды текущего времени на пик ~2 Гц (на спектре рис.2а пик отсутствует, а на СВАНе рис.2в - заметен). Далее, постоянно усиливаясь, пик дрейфует вдоль линии А-А' к более высоким частотам и вновь достигает частоты  $f \sim 2.5$  Гц. С учетом данных табл. 3 полоса частот, где наиболее интенсивно наблюдаются амплитудно-частотные изменения и взаимодействия, соответствует группам пульсаров с максимальным  $\Sigma W_{\text{м}}$ .

Другой элемент изучения сейсмического шума - сопоставительный анализ спектральных линий на частотах  $f'_2 = 1.8$  Гц,  $f'_6 = 4$  Гц и  $f'_{6.7} = 4.2$  Гц, которые либо находятся в окрестности мощных пиков ( $f_2, f_4$ ), но один ( $f'_2$ ) еще и на спектральном поднятии в диапазоне 1-4 Гц, а другой -  $f'_6$  - на границе этого поднятия (рис.2а). Третья линия удалена от поднятия на 0.2 Гц и соответствует фоновому уровню спектра рис.2а. Эти же линии как трассы постоянных частот обозначены на СВАНе (рис.2в). Для выделенных частот  $f'_2, f'_6, f'_{6.7}$  сделана выборка по методике табл. 2 групп пульсаров и представлена в табл. 4.

**Таблица 4.** Сопоставление некоторых параметров спектральных пиков шума пирамиды и пульсаров.

Центральный период спектральной линии, с	Пульсар, PSR	Период $P_0$ , с	Плотность потока $W_{э.м.}$ на 400 МГц	Расстояние, КПС
0.5555 $f'_2 = 1.8$ Гц	0403-76	0.5452	19	0.8
	0450-18	0.5489	55	1.6
	0808-47	0.5471	46	5.7
	0.919-41	0.5454	63	0.6
	0.904-74	0.5495	11	2.0
	1322-66	0.5430	28	8.2
	1749-28	0.5625	1300	1.0
	1834-10	0.5627	30	10
	1921+17	0.5472	2	4.3
	2016+28	0.5579	290	1.0
0.2500 $f'_6 = 4.0$ Гц	0540+23	0.2459	30	2.9
	0905-51	0.2535	35	1.2
	0.950+08	0.2530	500	0.1
	1451-68	0.2633	350	0.3
	1556-44	0.2570	110	2.3
	1806-53	0.2610	12	1.7
	1930+20	0.2682	7	6.2
	0540+23	0.2459	30	2.9
0.2381 $f'_{6.7} = 4.2$ Гц	1719-37	0.2361	25	3.0
	1754-24	0.2340	-	5.1
	1922+20	0.2377	4	8.0
	2324+60	0.2336	41	3.4

Сопоставляя данные табл. 2-4, положений спектральных линий  $f'_2$ ,  $f'_6$ ,  $f'_{6.7}$  на спектре и СВАНе (рис.2а, в), необходимо отметить следующее. Линия  $f'_2$ , относящаяся к максимуму распределения пульсаров по периодам, проходит через наиболее мощную часть поднятия уровня спектра; по числу пульсаров ( $n=10$ ) и суммарной мощности  $\Sigma W_{э.м.}$  (1844) превосходит или сопоставима с другими группами пульсаров (табл. 3). Но с изменением параметров среды и условий синхронизации вполне может стать основой нового спектрального пика, определяемого периодом, например PSR 1749-28 или PSR 2016+28. Возможность такого наблюдения прослеживается на СВАНе с 3 по 5 секунды наблюдения. Линия  $f'_6$  также относится к максимуму распределения пульсаров, но у более крутопадающей границы и проходит также на границе спектрального поднятия (рис.2а), имеет  $n=7$  и  $\Sigma W_{э.м.} = 1044$ , что предполагает возможность формирования по тем же причинам спектральный пик на периоде пульсара PSR 0950+08 (на СВАНе поблизости линии возникают устойчивая зона интенсивных колебаний с 7-й секунды от начала наблюдения).

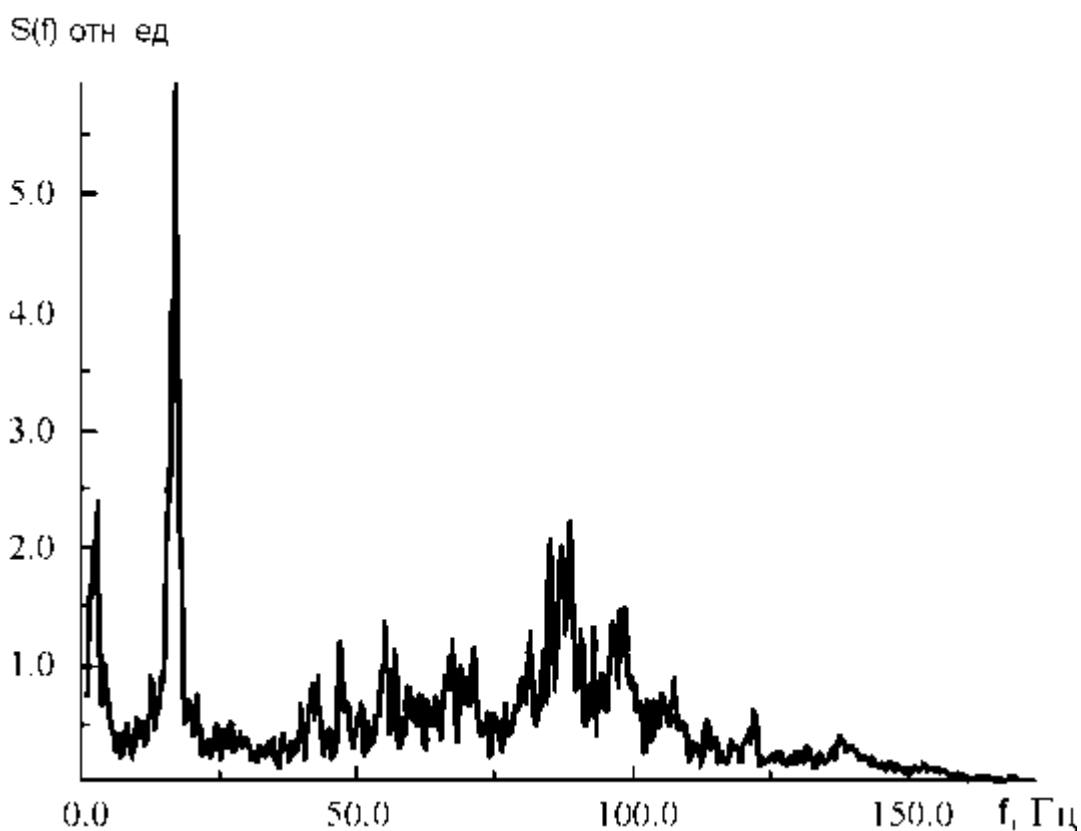
Линия  $f'_{6.7}$  связана со склоном крутопадающего максимума распределения пульсаров и вне мощного подъема уровня спектра (рис.2а) имеет уже при  $n=6$ ;  $\Sigma W_{э.м.} = 230$  и может еще при благоприятных условиях сформировать слабый пик на периоде PSR 1929+10, однако, это будет неустойчивое образование.

Таким образом, на частотах  $f_{гр}^3 4.5$  Гц начинается зона неустойчивой синхронизации сейсмических волн от малого количества источников  $n$ ; свыше 10 Гц, по всей вероятности, кооперативные эффекты не проявляются, и космическое воздействие в сейсмических шумах может существовать только в виде отдельных изолированных пиков.

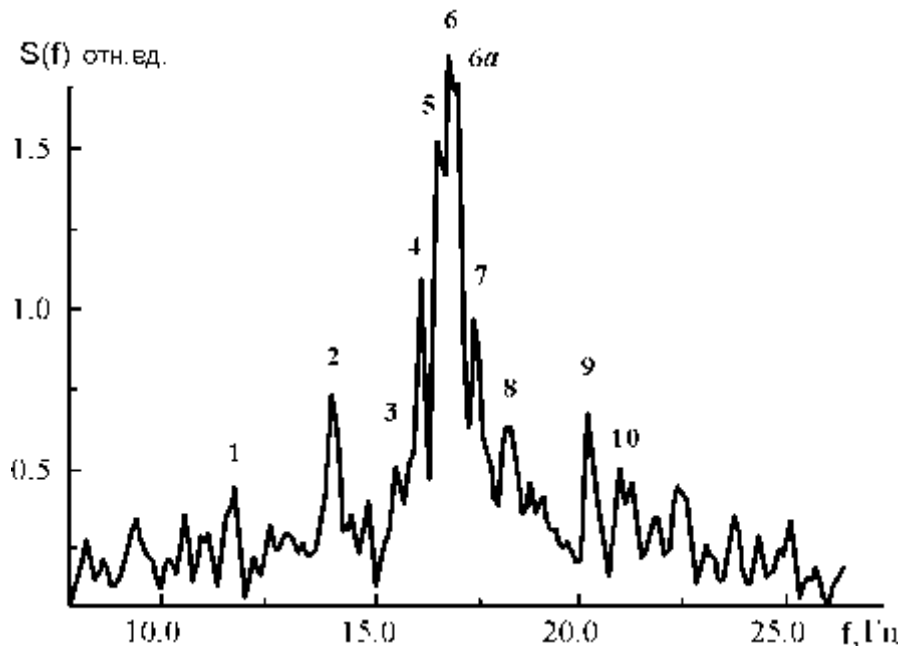
## 2. Высокочастотная часть сейсмических шумов. Общее рассмотрение

Достаточно условно микросейсмы или сейсмические шумы на частотах свыше 10 Гц можно считать высокочастотными. Одно из общих свойств сейсмических шумов - почти квадратичный закон падения мощности с ростом частоты, хотя, начиная с 30-40 Гц, кривая начинает выполаживаться. Реально спектры высокочастотной части шумов часто содержат пики, как правило, техногенного происхождения.

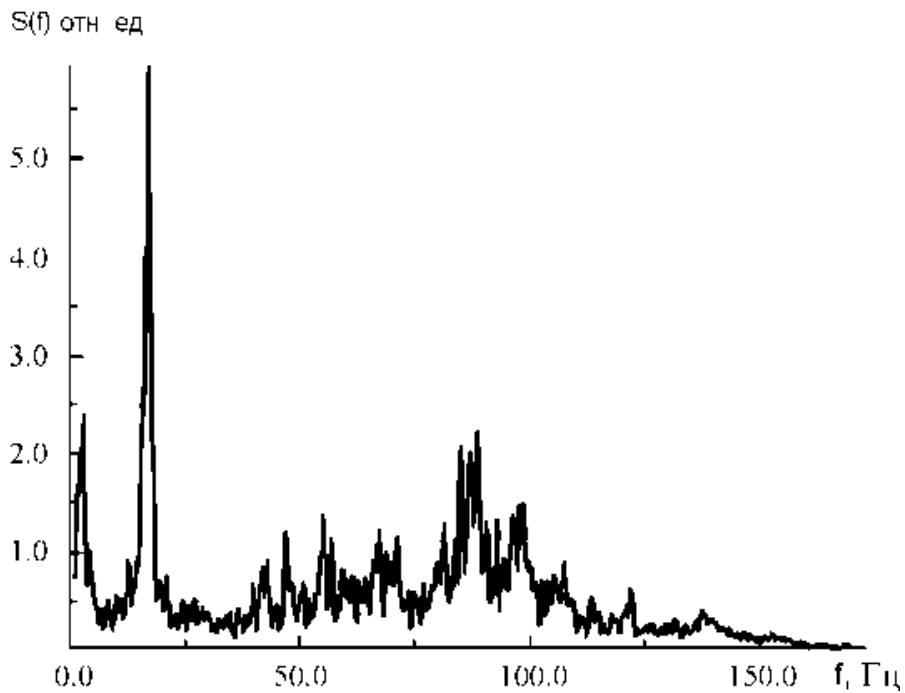
Поэтому особенности спектра сейсмических шумов пирамиды Снофру должны были бы отвечать общему случаю, но в действительности это оказалось не так (рис.3а).



а



**б**



**в**

**Рис.3 Спектры высокочастотной части шумов пирамиды**

**а.** Спектр сейсмических шумов пирамиды Сноуфру (Ломаной) в диапазоне 0-150Гц.;

**б.** Пик на 17 Гц; период (частота) квантования - 2 мс; длительность регистрации - 4 с; точное значение пика 16.8457 Гц.;

**в.** Пик на 17 Гц; период (частота) квантования - 5 мс; длительность регистрации - 10 с. Значения пиков 1-10 в Гц: 1 - 11.72, 2 - 14.06, 3 - 15.63, 4 - 16.21, 5 - 16.6, 6 - 16.8945, 7 - 17.48, 8 - 18.26, 9 - 20.21, 10 - 21

Пики и постоянная часть спектра в диапазоне 0-8 Гц рассмотрены в предыдущем разделе; пик в окрестности 17 Гц и ранее отмечался некоторыми исследователями, но его доминирующее значение наблюдается впервые. Далее, с 40 Гц и до 90-100 Гц заметен рост постоянной составляющей с множеством пиков и максимумом в области 85-90 Гц. То есть спектр (рис.3а) имеет особенности, ожидаемые для промышленного центра, но не для полупустынной местности, на расстоянии ~40 км от города Каира и сотен километров от наиболее мощного источника промышленных шумов - Асуанской ГЭС. Поэтому наиболее реальным объяснением особенностей спектра следует признать существование мощного фона сейсмической эмиссии как самой пирамиды, так и геологической среды под пирамидой; при этом уровень эмиссии внутри структурной части пирамиды, как показали измерения, превосходит сигнал на ее внешней боковой грани. Так что пики спектра (рис.3а), по всей вероятности, несут информацию о собственных резонансах пирамиды, доминирующих частотах сейсмоэмиссионного процесса в блоках пирамиды и о периодичностях сейсмической эмиссии в геологических структурах под основанием пирамиды.

Дешифровка и изучение такого сложного по структуре и механизмам излучения набора частот - самостоятельная научная задача.

### **3. Спектральный пик в окрестности 17 Гц - результирующая нескольких физических механизмов**

Физические процессы, существующие близ пирамиды Снофру и в самой пирамиде - сейсмическая и сейсмоакустическая эмиссия особенно внутри массива пирамиды; поле хаотизированных, изменяющихся во времени сейсмических волн от промышленных источников, в том числе пик на частоте ~17.0 Гц как субгармоника  $f_0/3$  от 50 Гц (Асуанская ГЭС); собственные резонансы пирамиды как объекта, описываемого уравнениями Матье и Фоккера-Планка.

Для сейсмического шума на частоте ~17.0 Гц существует еще одна особенность - существование космического источника, пульсара PSR 1913+16 с периодом  $P=0.059$  с (16.95Гц), излучение которого также воздействует на геологическую среду и пирамиду. Это воздействие по амплитуде на много порядков уступает предыдущим процессам, но несоизмеримо выше по стабильности частоты.

17-герцовый пик наблюдался исследователями и ранее, и в некоторых случаях отождествлялся с процессами развитой хаотизации мощного первичного 50-герцового сигнала от ГЭС (рис.2б). К настоящему времени, даже используя нецеленаправленные исследования микросейсм или сейсмических шумов, аномальный характер этого пика, как правило, хорошо заметен (рис.1а). Но только у египетской пирамиды Снофру получен спектр шумов, где пик на частоте 17 Гц доминирует (рис.3а). Это позволяет проанализировать его наиболее тщательно. С этой целью рассмотрим этот пик, полученный по спектрам записи разного типа: при частоте квантования 2 мс и длительности реализации (регистрации) 4 с (рис.3б); и при квантовании 5 мс и длительности реализации 10 с (рис.3в). Динамику состояния волнового поля на частоте 17 Гц и в прилегающих диапазонах частот ( $\pm 7$  Гц) представим по СВАН - диаграмме (рис.2в).

Сопоставление спектров (рис.3б,в) даже с учетом различных длительностей реализаций и периодов квантования вызывает трудности в объяснении их различий: при в 2.5 раза меньшем периоде квантования спектр рис. 16 более гладкий, а отношение амплитуды пика к усредненному уровню спектра в окрестности  $\sim 9$  Гц составляет 12; у спектра, имеющем исключительно изрезанную структуру, это соотношение  $\sim 7$ , а сам пик

у значения  $\sim 17$  Гц имеет тонкую структуру. Для объяснения этих особенностей необходимо признать важную роль того факта, что спектры получены по реализациям, зарегистрированным в различное время. Это следует и из анализа СВАН (рис.2в): частота максимального значения пика (без учета участков-сателлитов) изменяется в текущем времени в пределах от 16.5 Гц до 17.5 Гц, а амплитуда - от 1.8 до 4.9 отн. ед., то есть  $\sim 3$  раза. В общем, локальная динамика этого участка волнового поля сейсмических шумов лежит в пределах 16-18 Гц. Вероятно, в этих же пределах могут находиться один из резонансов пирамиды и флуктуации промышленной частоты (и сейсмического сигнала) от Асуанской ГЭС ( $f_0/3=16.67$  Гц,  $f_0^i=50$  Гц). И только слабый сигнал от PSR 1913+16 имеет стабильную частоту 16.95 Гц. Как следует из СВАН (рис.2в), при текущем времени от 1.5-2.5 с, 3-6 с и 7.5-8.5 с, эпизодически происходит захват и синхронизация сейсмического шумового сигнала в полосе 16.5-17.2 Гц на частоту  $\sim 16.95$  Гц, то есть усиление слабого сигнала космического происхождения от пульсара PSR 1913+16 за счет недобротного регионального сигнала и резонанса пирамиды. Это же подтверждают и пики рис.3б,в : так точное значение пика отличается от частоты PSR 1913+16 в 4-м знаке, у этого же пика при сглаживании появляется наклонная срезанная вершина, две точки которой принимают значения 16.601 и 17.09 Гц. Оба значения только в 4-м знаке отличаются от  $f_0/3$  и от частоты пульсара, соответственно. Тонкая структура другого пика на частоте 17 Гц (рис.3в) содержит подпики на 16.6 Гц (5) и 16.89 Гц (6), которые также отличаются от техногенного и космического пиков в 4-м знаке. Таким образом, результаты спектрального и спектрально-временного анализа находятся в хорошем согласии.

## Выводы

1. Сейсмоакустическая эмиссия пирамид и прилегающих геологических структур формирует значительную часть сейсмического шума и благоприятствует поиску и изучению внешних регулярных воздействий.
2. Сейсмический шум пирамиды Снофру - нелинейный по своей природе и его структура обладает повышенной чувствительностью к внешним воздействиям.
3. Различным участкам спектра сейсмического шума присущи отличные по физической природе механизмы их формирования.
4. Низкочастотная часть спектра отражает кооперативные процессы воздействия и взаимодействия энергии сейсмических шумов собственно пирамиды и среды и внешнего космического воздействия большинства известных пульсаров.
5. Изолированные пики более высокочастотной части спектра сейсмических шумов, в первую очередь на частоте  $\sim 17$  Гц, также определяются несколькими энергетическими механизмами, а анализ такой структуры пика выявляет воздействие космического излучения пульсара PSR 1913+16 и техногенной компоненты на  $f_0/3$  ( $f_0^i=50$  Гц).
6. Поиск космического воздействия в сейсмических шумах необходимо вести не только и не столько по совпадению частоты спектральных пиков шумов с частотами пульсаров, а наблюдением и доказательством существования нелинейной природы сейсмических шумов, физических механизмов их существования и воздействия на эти шумы внешнего космического источника.
7. Необходима разработка модели пульсара с двукратным излучением электромагнитного импульса за 1 оборот.
8. Пирамиду Снофру эффективно использовать как геофизический инструмент для поисковых, фундаментальных и прикладных исследований.



## Литература

1. *Хаврошкин О.Б.* Сейсмическая нелинейность. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 110 с.
2. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Аппаратурно-методические основы экспериментальной нелинейной сейсмологии // Сейсм. приборы. М.: ОИФЗ РАН, 2003. Вып. 39. С. 43-71.
3. *Николаевский В.Н.* Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 447 с.
4. *Климантович Ю.Л.* Статистическая теория открытых систем. Т. 1. М.: ТОО "Янус", 1995. 622 с.
5. *Хаврошкин О.Б.* Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии. М.: ОИФЗ РАН, 1999. С. 286.
6. *Урдуханов Р.И., Хаврошкин О.Б.* Хаотизация сейсмических вибросигналов: Препр. ИФЗ АН СССР. М., 1987. N 9. 18 с.
7. *Лихтенберг А., Либерман М.* Регулярная и стохастическая динамика. М.: Мир, 1984. 528 с.
8. *Рабинович М.И., Трубецков Д.И.* Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984. 432 с.
9. *Арнольд В.И.* Личное сообщение. 1987.
10. *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.
11. *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.
12. *Дубровский В.А.* Связь фона микросейсм с космическими объектами и гравитационные волны. Ibid. С. 268-274.
13. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П.* Теория волн. М.: Наука, 1979. 383 с.
14. *Ланда П.С.* Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980. 359 с.
15. *Блехман И.И.* Синхронизация динамических систем. М.: Наука, 1971. 850 с.
16. *Khavroshkin O.B., Tsyplakov V.V.* Nonlinear seismology: Experimental structure // Nonlinear acoustics at the beginning of the 21st century / Ed. Oleg V. Rudenko, Oleg A. Sapozhnikov. 16<sup>th</sup> ISNA. Vol. 1. M., 2002. 622 p.
17. *Dyson E.J.* // Astrophys J. 1969. Vol.156, N 529.
18. *Wigging R.A., Press F.* // Geophys. Res. 1969. Vol. 74, 5351.
19. *Sodeh D., Ben Menahem A., Meidav M.* Possible detection of gravitational waves from pulsars: Preprint TAUP-270-72. 1972.
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. *Плескач Н.К.* Квазигармонические колебания микросейсмического фона в диапазоне частот 1-5 Гц // Докл. АН СССР. 1977. Т. 232, N 3. С. 558-561.
24. *Манчестер Р., Тейлор Дж.* Пульсары. М.: Мир, 1980. 202 с.