

## ЛУННЫЕ СЕЙСМОГРАММЫ МЕТЕОРОИДНЫХ ИМПАКТОВ: СТРУКТУРА, ЭЛЕМЕНТЫ

Танака С. (Ин-т Космич. Иссл., Япония),  
Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. (ИФЗ РАН)

*khavole@ifz.ru*; тел.: 8499 252 21 98

Ключевые слова: *сейсмоакустическая эмиссия, выбросы эмиссии, типизация выбросов, общность лунных и земных выбросов*

Еще на начальных этапах развития нелинейной сейсмологии была сделана успешная попытка перенести земной опыт на изучение лунной сейсмичности, в первую очередь на анализ лунных сейсмограмм. Особенности геологических структур Луны и формы записей сейсмограмм были предпосылкой существования сильного модуляционного эффекта, что обусловило проведение спектрального анализа огибающих сейсмограмм нескольких событий, в результате которого были выявлены периодичности присущие предполагаемому спектру собственных колебаний Луны (СКЛ) [1]. Незначительность длительностей сейсмограмм, которыми располагали авторы, как и их число, ограничило разрешение спектральных пиков и более глубокое изучение Каталога Накамуры. Тем не менее, это позволило при анализе и обработке лунной сейсмичности принимать модель нелинейности процессов сейсмичности на Луне, как и на Земле, что совместно с представлением Луны как мегадетектора внешних полевых и импактных воздействий позволило получить значительные результаты по космогонии и внутреннему строению Луны [2-7]. Другой, более известный пример модуляционного процесса в лунной сейсмичности – это поиск и анализ приливных периодичностей временного ряда лунотрясений [8-10]. В геофизике по аналогии с общей физикой, модуляция в лунной сейсмологии (как и в земной) - изменение по известному закону (закону внешнего воздействия) во времени параметров сейсмического волнового поля. При лунной модуляции - это такие кратковременные высокочастотные сейсмические события, происходящие в результате медленных приливных солнечно-земных периодических воздействий на литосферу Луны. Для нелинейного сейсмического шумового поля Земли возможно спонтанное возникновение модуляции - автогенерация, генератор сухого трения, что также должно наблюдаться на Луне[11]. Вышеуказанные результаты и понимание укрепили принятие не только уже фактически применяемой нелинейной модели Луны, но и существование сейсмоакустических процессов, для выявления места и роли которых были проанализированы наиболее приметные за все время наблюдения две сейсмограммы от ударов метеоритов. 1-й удар - 13 мая 1972г. в 142 км к северу от с/с

«Аполлон 14», диаметр метеорита  $\approx 2$ м.; скорость удара  $\approx 20$ км/с, диаметр кратера  $\approx 100$ м, приборы на с/с «Аполлон 12,14» зашкалены, записи на с/с «Аполлон 15,16» на расстоянии 967 и 1026км соответственно - кондиционны. 2-й удар - 17 июля 1972г., обратная сторона Луны, район кратера «Москва», тротиловый эквивалент 1000т (ТНТ). Более точную сводку данных по ударам см. табл.1.

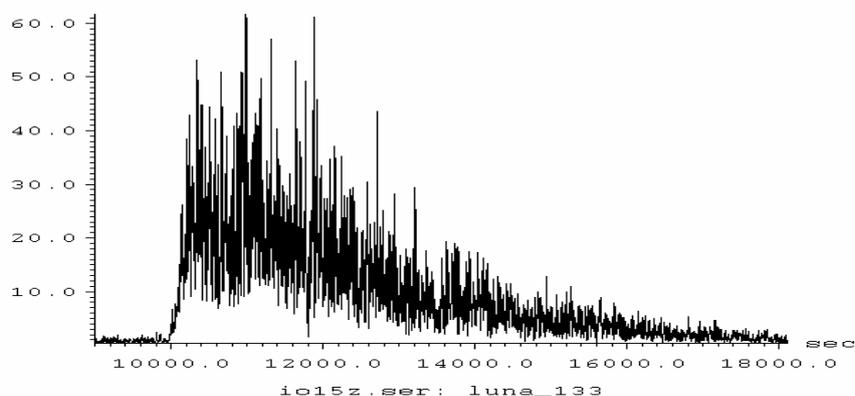
**Таблица 1**

Данные по ударам метеоритов 1972г.

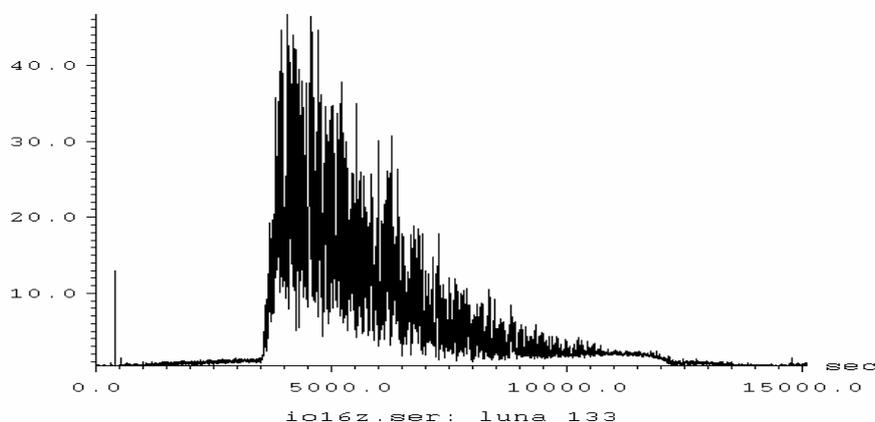
N/ N	Широта (град)	Долгота (град)	Время Дата, час, мин	Время сек	P12	P14	P15	P16	S14	Примечание
1	1.50	-17.10	72.05.13 08.45	39,49 $\pm 1.0$	84,9	72,1	173,5	181,0	97,2	Ориентации главных полуосей эллипсов ошибок дан- ных
2	32.80	137.60	72.07.17 21.50	57,90 $\pm 4.4$	473.7	483.0	418.2	445.8		

Внешне, обе сейсмограммы имеют мало общего с земными традиционными: их длительности на порядки превосходят продолжительности записей даже мощных землетрясений. Лунная запись состоит из практически чистых участков с почти незаметным проявлением сигнала и разнообразных возмущений уровня, относительно значительных и по амплитуде и по длитель-

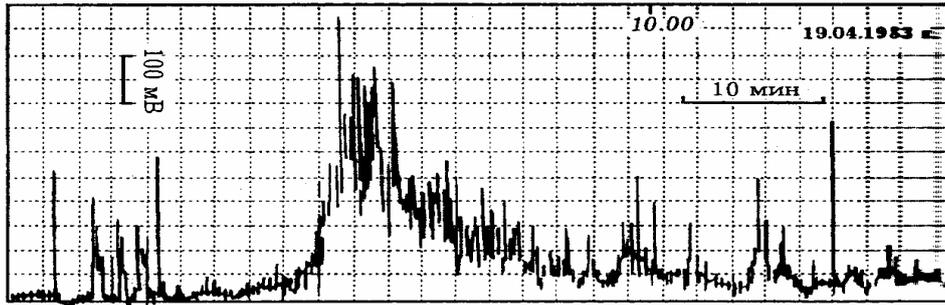
ности; параметры возмущений слабо связаны с моментами их прихода (возникновения). Подобная форма записи сейсмограмм не наблюдается на Земле. Однако, по форме и проявлению возмущений запись сильно напоминает данные по регистрации сейсмоакустической эмиссии близ активного Ашхабадского разлома после Газлийского землетрясения 19.03.1984г., которое сопровождалось продолжительной региональной подвижкой [12]. На Луне аналогично оба метеоритных удара, особенно 1-й, произвели по региону падения и по всей Луне доминирующие основные триггерные воздействия, которые и привели к сбросу потенциальной упругой энергии среды. Формально потенциальная энергия среды Луны - теплового происхождения, которая трансформируется в сейсмические процессы только под внешним воздействием и тектоническими луноотрясениями [9]. Поэтому мощные триггерные воздействия на Земле и на Луне вызывают длительные по времени сейсмоэмиссионные процессы. Но на Земле это происходит только в сейсмоактивных регионах, где эпизодически накапливаются упругие напряжения тектонической природы. Например, в зоне Ашхабадского разлома сейсмическая активизация длилась ~30суток, а на Луне ~ 0.3сут. При этом если бы лунные сигналы регистрировались более чувствительной аппаратурой, то длительности лунных записей возросли бы до 3÷5сут. и зачастую бы были ограничены моментами новых ударов [12,13]. Полагая природу особенностей вышеуказанных записей на Земле и Луне близкой по своим физическим механизмам, сравним их формы (рис.1), при этом используя принятую терминологию и классификацию [12].



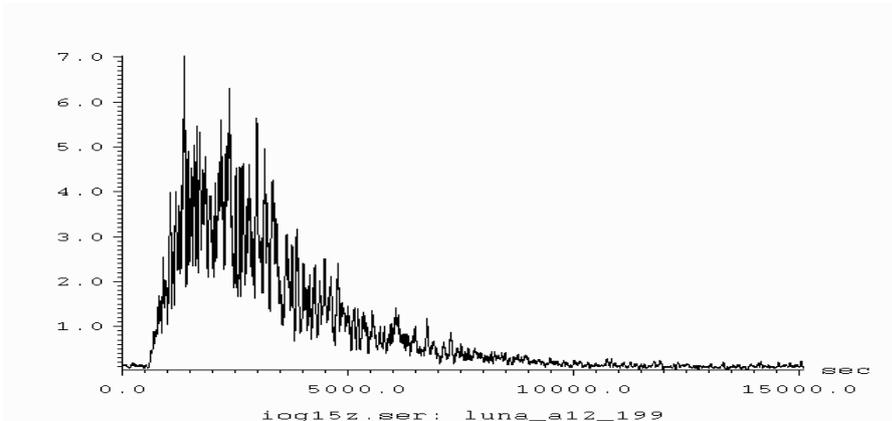
(а) Пример записи амплитудного возмущения огибающей лунной сейсмограммы удара метеорита (Z компонента) на станции «Аполлон 15, 16» 13мая 1972г. Тип возмущения-Крутой передний фронт (КПФ)



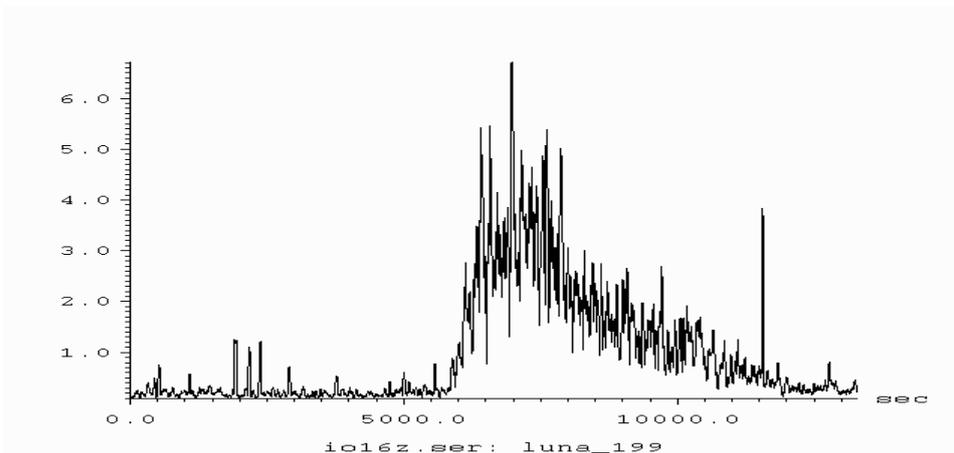
(б) Пример записи амплитудного возмущения огибающей лунной сейсмограммы удара метеорита (Z компонента) на станции «Аполлон 15, 16» 13мая 1972г. Тип возмущения-Крутой передний фронт (КПФ)



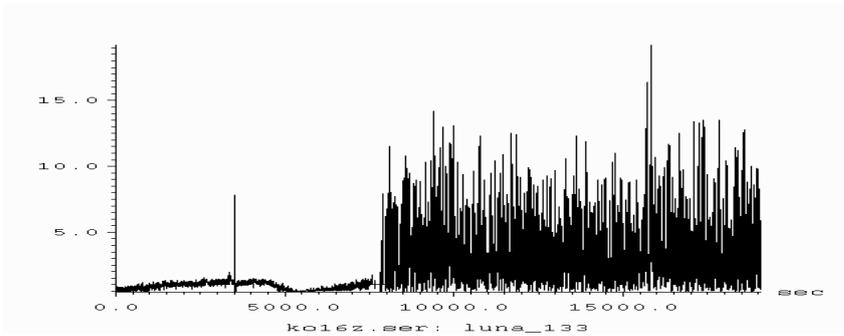
(в) Пример записи амплитудного возмущения огибающей сейсмограммы (записи) сейсмоакустических шумов на специально оборудованном пункте регистрации близ Ашхабадского разлома. Тип возмущения-Крутой передний фронт (КПФ)



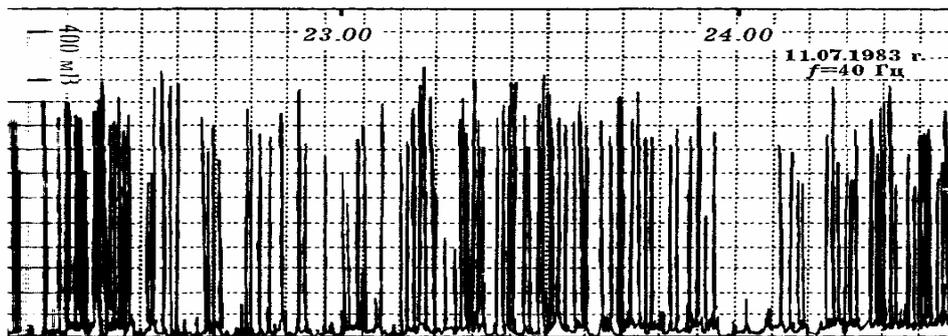
(г) Пример записи амплитудного возмущения огибающей лунной сейсмограммы удара метеорита (Z компонента) на танции «Аполлон» 15; 17, июля 1972г. Тип возмущения - Колоколообразная форма (КФ)



(д) Тот же процес, что и на рис.1(г), запись на станции «Аполлон» 15. Тип возмущения - Колоколообразная форма (КФ)



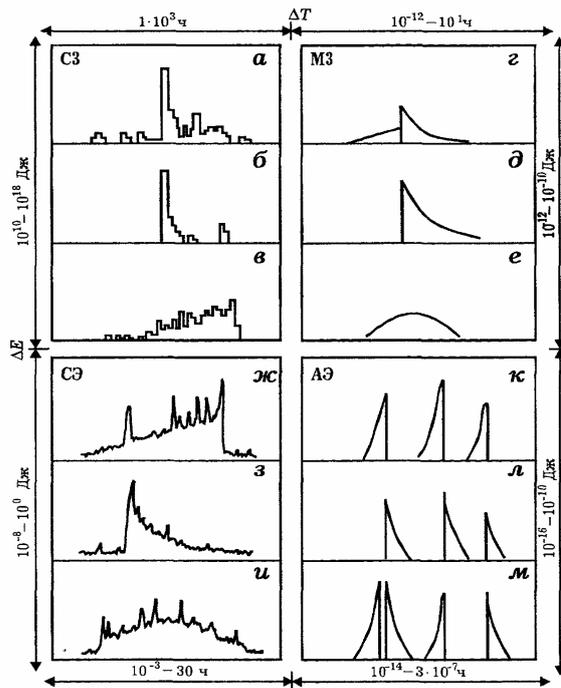
(e) Пример записи участка – возмущения амплитуды огибающей сейсмограмм на Луне 17 июля 1972г Тип возмущения – Дискретно – линейчатый участок (ДЛУ)



(ж) Пример записи участка - возмущения амплитуды огибающей (записи, Z-компонента) сейсмоакустических шумов на специально оборудованном пункте регистрации близ Ашхабадского разлома. Тип возмущения - Дискретно - линейчатый участок (ДЛУ)

**Рис.1(а-ж).** Типы амплитудных возмущений лунных сейсмограмм и записей – сейсмограмм в сейсмоактивных регионах Земли: сходства и различия (z-компонента)

Наибольшее сходство имеют типы форм возмущений - сигналов с передним крутым фронтом (рис.1а-б). Подобный тип сигнала для Луны наиболее распространен, его природа, вероятно, обусловлена хрупким разрушением и/или срывом зацеплений бортов макротрещин или разломов, особенно для случая автогенерации в геологической среде с внутренним сухим трением. Сходство прослеживается не только в крутизне фронта и последующем плавном падении амплитуды сигнала, но и появлении очень слабого подъема шумового уровня перед фронтом с выбросами и возникновением тенденции к модуляции уровня ниспадающей части сигнала. Нередки лунные сигналы и колоколообразной формы (рис.1з-е), их отличия от земных незначительны (рис.1е, ж). Огибающие КФ сигналов содержат и дискретно - линейчатые выбросы. Наблюдаются возмущения огибающей, обусловленные тенденцией к автогенерации, а также временные последовательности сигналов [12]. Колоколообразная форма, по всей видимости, связана с трансформацией первичного сигнала при его прохождении через нелинейную диссипативную среду и может обладать солитонными признаками. Также встречающиеся дискретно-линейчатые сигналы на записях лунных и земных событий имеют особенности-линейчатые выбросы на лунных сейсмограммах по амплитуде превосходят сглаженное основание сигнала в 2-3 раза, в то время как земные до 10 раз. В случае развитой блочности и фрактальности геологической среды, энергонасыщенности и активизации местной сейсмичности часто наблюдают проявление сейсмической автогенерации вплоть до появления квазигармонического сигнала [11], что характерно для многих лунных сейсмограмм [14, 15]. Пока для лунной сейсмичности не типична только одна форма сигнала - с крутым задним фронтом, а характерные времена сигналов согласуются с ранее полученными данными (рис. 2а-м).



**Рис. 2 (а - м).** Сравнение форм сигналов – выбросов огибающей записей различных процессов выделения упругой потенциальной энергии: (а, б, в) – формы совокупности землетрясений [Моги, 1963]; (г, д, е) моделирование сейсмического режима; (ж, з, и) – типы меандров сейсмической эмиссии; (к, л, м) – акустическая эмиссия

Это указывает на космогоническое единство физических механизмов поведения геофизической среды. Выше приведенные материалы по записям сейсмической эмиссии близ Ашхабадского разлома в Туркмении по амплитуде лежат в диапазоне  $10^{-8} - 10^{-12}$  м /Гц., а амплитуда лунных сигналов - в диапазоне  $10^{-8} - 5 \cdot 10^{-11}$  м /Гц, что свидетельствует о единой физической картине указанных волновых полей.

## Выводы

1. Лунные сейсмограммы как записи сейсмического сигнала (события) обычно состоят из одного или нескольких участков (частей), длительность и количество которых связано с энергией первичного события.
2. Большинство частей имеют характерные формы, подобные формам выбросов сейсмоакустической эмиссии на записях сейсмоэмиссионного шума на Земле, особенно в сейсмоактивных зонах и в период активизации ближайших разломов.
3. Лунные участки записей сейсмограмм, как и сейсмоэмиссионные выбросы наземных записей огибающих сейсмоакустических шумов удовлетворяют таблично типизированным формам сигналов, присущим процессам микро- и макроразрушения и пластической деформации твёрдого тела и горных пород, и характеризуются сходным диапазоном частот и энергий.
4. Анализ лунных сейсмограмм обычными методами геометро - лучевой сейсмологии имеет принципиальные ограничения, но возможна их модификация с привлечением методов и эффектов нелинейной сейсмологии.

## Литература

1. Галкин И.Н., Николаев А.В., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. О периодичности коды лунных сейсмограмм // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980. № 7. С. 82-85.
2. Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Информативность каталога лунной сейсмичности // ДАН. 2001. Т. 377. №5. С. 687-692.
3. Khavroshkin O.B., Tsyplakov V.V. Meteoroid stream impacts on the Moon: information of duration of seismograms // Proc. Conf. "Meteoroids 2001" (ESA SP-495) // Noordwijk. The Netherlands: ESA Publ. Division. 2001.
4. Khavroshkin O.B., Tsyplakov V.V. Temporal structure of meteoroid stream and lunar seismicity according to Nakamura's catalogue // Proc. Conf. "Meteoroids 2001" (ESA SP-495) // Noordwijk. The Netherlands: ESA Publ. Division. 2001.

5. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Особенности огибающих гистограмм длительностей импульсных лунных сейсмограмм // Очерки геофизических исследований: К 75-летию Объединенного института физики Земли им. О.Ю.Шмидта // М.: ОИФЗ РАН. 2003. С. 465-471.
6. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В., Попереченко Б.А., Бережной А.А., Шевченко В.В.* Изменения микроволнового радиоизлучения в результате падения "Lunar Prospector" // Докл. РАН. 2001. Т. 376. № 2. С. 247-249.
7. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Газопылевые потоки как самостоятельный космогонический фактор. Геофизические исследования: Сб. науч. тр. // Институт физики Земли РАН. – М.: ИФЗ РАН. 2005. Вып. 2. 159с.
8. *Sadeh D.* Possible sidereal period for the seismic lunar activity // Nature. 1972. V. 240. No 17. P.139.
- Chapman W.B. et al.* Moonquake predetermination and tides // Icarus. 1974. V. 21. No 4. P. 427-436.
9. *Авсюк Ю.Н., Галкин И.Н.* Триггерный механизм приливных лунотрясений: модель наведенной сейсмичности: Наведенная сейсмичность // М.: Наука. 1994. С. 186-198.
10. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Экзогенная сейсмичность Луны: поиск и изучение космогонической составляющей.  
URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/scpub-4.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/scpub-4.pdf)
11. *Каррыев Б.С., Курбанов М.К., Николаев А.В., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Динамический режим сейсмической эмиссии: хаос и самоорганизация // Докл. АН СССР. 1986. Т.290. №1. С. 67-71.
12. *Хаврошкин О.Б.* Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии // М.: ОИФЗ РАН. 1999. 286с.
13. *Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В.* Аппаратурно-методические основы экспериментальной нелинейной сейсмологии // Сейсмические приборы // М.: ОИФЗ РАН. 2003. вып.39. С. 43- 70.
14. *Латем Г., Накамура И., Дорман Дж., Дьюнебье Ф. и др.* Результаты пассивного сейсмического эксперимента по программе "Аполлон": Космохимия Луны и планет. АН СССР. NASA // М.: Наука. 1975. С. 209-310.

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)*

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2009/informbul-1\\_2009/planet-23.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/planet-23.pdf)

*Опубликовано 1 сентября 2009 г.*

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна*