

**ПЕРВЫЕ ОЦЕНКИ ВОЗМУЩЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ НАД
СЕЙСМООПАСНЫМИ РЕГИОНАМИ ПО ДАННЫМ БОРТОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА
НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ**
**FIRST ESTIMATIONS OF DISTURBANCES OF THE UPPER ATMOSPHERIC DENSITY
ABOVE SEISMOACTIVE REGIONS ON THE BASE OF MEASUREMENTS BY
SPACEBORNE ACCELEROMETERS**

Е.В. Липеровская¹, В.О. Скрипачев², А.В. Тертъшников²

¹Институт физики Земли РАН, liper@ifz.ru

²НТЦ "Космонит" ОАО "Российские космические системы", skripatchevv@inbox.ru

Precursor effects of earthquakes at various highs of the atmosphere reveal themselves as variations of parameters both of charged component and of neutral component. A few days before strong earthquakes the disturbances of electron density and the temperature of charged particles were noted over and over in the upper atmosphere, so as variations of density of neutral component, which can be registered using the spaceborne accelerometers.

In the proposed work the rows of data of accelerometer "Cactus" from the space craft "Castor" were analyzed using the model of isothermic atmosphere. The days with geomagnetic disturbances were excluded from the analysis. Anomalous disturbances of the atmospheric density on the average 4-5 days before strong crust earthquakes were revealed above seismoactive regions.

The results of searching of seismo orbital effects on the base of observations of objects in the near-Earth's space using the system North American Aerospace Defense (NORAD) are presented. These effects confirm the hypothesis on the disturbances of the neutral component in the near-Earth's space before strong earthquakes.

За несколько суток до сильных землетрясений в верхней атмосфере над сейсмоопасными регионами неоднократно отмечались возмущения электронной плотности и температуры заряженных частиц [1, 2]. Проявление этих эффектов в вариациях плотности верхней атмосферы можно попытаться зафиксировать по наблюдениям за орбитами КА [3] или с помощью бортовых акселерометров, установленных на борту космических аппаратов в ОКП [4].

Активные исследования плотности верхней атмосферы с помощью бортового «сверхчувствительного» акселерометра «Кактус» проводились после запуска французского КА «Кастор» (D-5A). Он был выведен на орбиту 17.05.1975 г. с космодрома Куру для определения аэродинамического торможения, давления солнечных лучей, аномалий гравитационного поля Земли и столкновений с метеорными частицами. Запланированная высота орбиты КА «Кастор» в апогее и перигее 1268 км и 272 км соответственно. Масса КА составляла 76 кг, высота корпуса, имеющего форму 26-гранника и максимальный поперечный размер составляли 0.8 м.

Акселерометр «Кактус» был рассчитан на измерение ускорений в диапазоне 10^{-5} — 10^{-9} g, с точностью $5 \cdot 10^{-10}$ g. Это обеспечивало самый низкий порог измерений по сравнению со всеми другими трехосными акселерометрами, существовавшими в то время. В приборе использовалась сферическая масса диаметром 40 мм из платиново-родиевого сплава, взвешенная в электростатическом поле внутри вакуумированного металлического корпуса. Эксперименты с акселерометром были рассчитаны на шесть месяцев [5].

Для диагностики возможных проявлений сейсмической активности Земли в микроускорениях, фиксируемых акселерометром «Кактус», из каталога Национальной Геологической службы США (USGS) были отобраны 37 землетрясений [6]. Из них несколько событий были объединены в одно, так как координаты эпицентров находились рядом друг с другом и временной интервал между землетрясениями не превышал 24 часов. За счет этого итоговое число анализируемых землетрясений уменьшилось до 24 (Табл. 1).

Таблица 1 – Перечень используемых событий

Номер	Дата, 1975 г	Число землетрясений	Широта, град	Долгота, град	Глубина, км	Магнитуда
1	8.07	1	29.46	-113.35	33	6.5
2	20.07	5	-7.00	155.00	49	7.9-6.1
3	30.07	1	-10	123.80	16	6.1
4	6.08	1	-2.47	146.04	33	6.3
5	11.09	1	6.99	-104.28	33	6.4
6	24.09	1	-20.53	-173.99	33	6.5
7	24.09	1	-11.96	-14.49	33	6.1
8	29.09	1	-0.48	124.7	23	6.1
9	30.09	3	-4.93	102.2	33	6
10	3.10	2	30.30	62.33	11	6.7
11	7.10	1	0.9	-26.77	33	6.7
12	11.10	2	-24.5	-175.15	9	7.8
13	20.10	1	-16.26	-177.43	33	6.5
14	21.10	2	11.71	121.75	33	6.1
15	26.10	1	6.58	126.83	50	6.1
16	28.10	1	-22.86	-70.51	38	6.3
17	31.10	1	12.54	125.99	50	7.6
18	25.11	1	-9.15	156.7	33	6.1
19	29.11	1	19.33	-155.02	5	7.2
20	30.11	1	10.56	145.9	32	6.6
21	9.12	1	-14.79	-173	33	6.4
22	17.12	1	5.28	95.91	17	6.2
23	19.12	1	-11.75	164.8	33	6
24	26.12	1	-16.26	-172.47	33	7.8

В первом приближении перед указанными землетрясениями отмечались повышенные значения математического ожидания невязок (Рис. 1) между результатами расчета оценок плотности верхней атмосферы с использованием данных бортового акселерометра «Кактус» и модели ГОСТ 25645.166-2004 «Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов ИСЗ».

При выборе данных акселерометра «Кактус» применялись следующие критерии: по широте и долготе измерения проводились в диапазоне ± 5 градусов от координат эпицентра и по дате в диапазоне ± 7 суток. При этом отборе число анализируемых событий уменьшилось до 13. (№№ 3, 4, 5, 6, 8, 9, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 23). Для них были построены карты пространственного распределения наблюдений плотности верхней атмосферы бортовым акселерометром.

В расчетах использовалась модель изотермической атмосферы, в которой зависимость плотности воздуха ρ от высоты представляется в виде [7]:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{h-h_1}{H}\right), \quad (1)$$

где H – высота однородной атмосферы, равная высоте некоторого фиктивного столба однородной атмосферы, плотность которого всюду равна ρ_0 на высоте перигея h_1 .

С помощью (1) рассчитывались значения ρ_0 для анализируемых данных.

В большинстве анализируемых случаев геомагнитная обстановка была спокойной и значения геомагнитных индексов $K_p < 4$, за исключением землетрясения №17, когда наблюдалось повышенное значение индекса $K_p = 5.89$, что могло оказать влияние на плотность атмосферы. Поэтому это землетрясение было исключено из дальнейшего анализа.

С помощью метода наложения эпох были полученные обобщенные портреты изменения $\rho_0(h, t)$ над сейсмоопасным регионом. Дисперсии рассчитанных данных приведены на Рис. 2.

В полученных результатах за 1-6 суток до сейсмического события отмечены повышенные значения оценок плотности и их дисперсии. В первые сутки после землетрясения проявляется всплеск значений средней плотности и ее дисперсии.

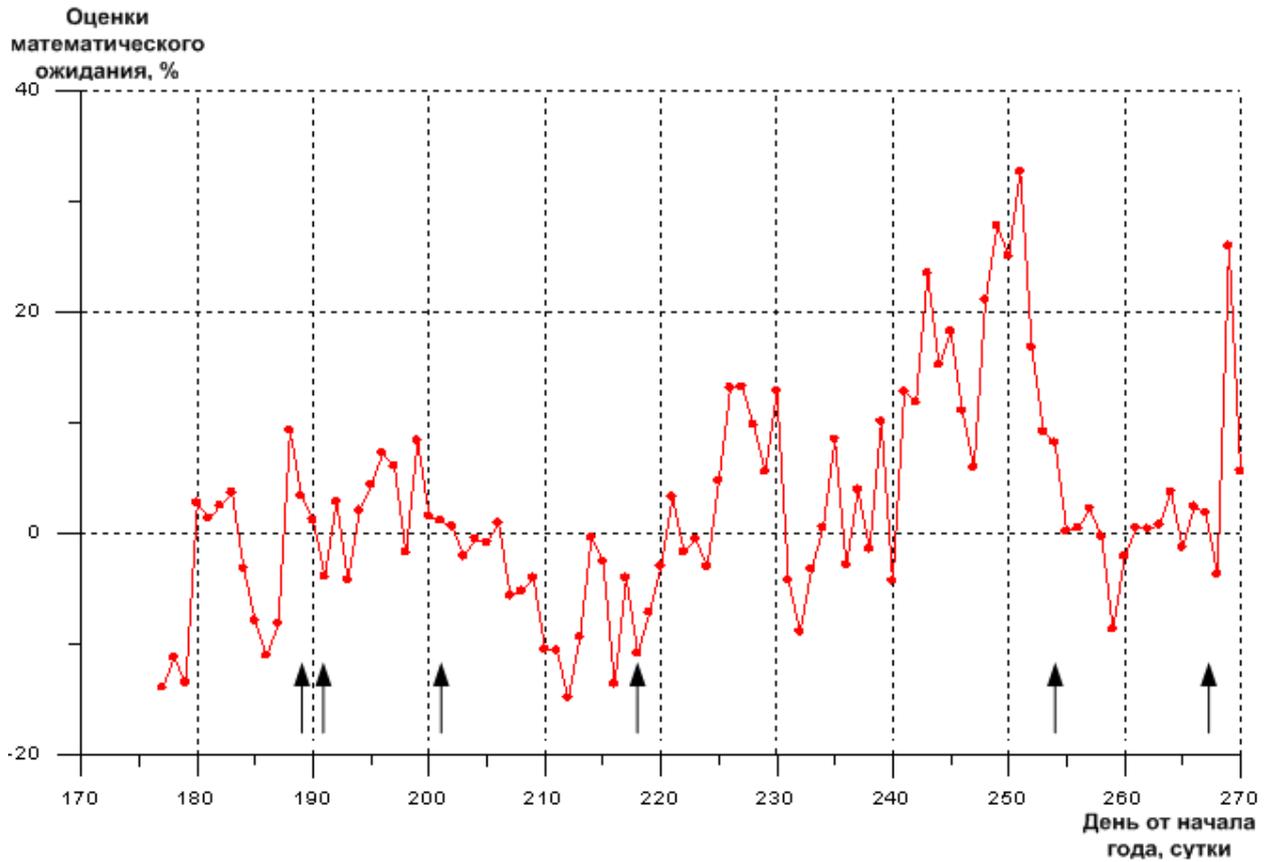


Рис. 1 – Изменения оценок математического ожидания невязок измеренной акселерометром плотности атмосферы от модельной (ГОСТ) по номерам суток от начала 1975 г. для диапазона высот 270...420 км. Стрелками отмечены дни землетрясений

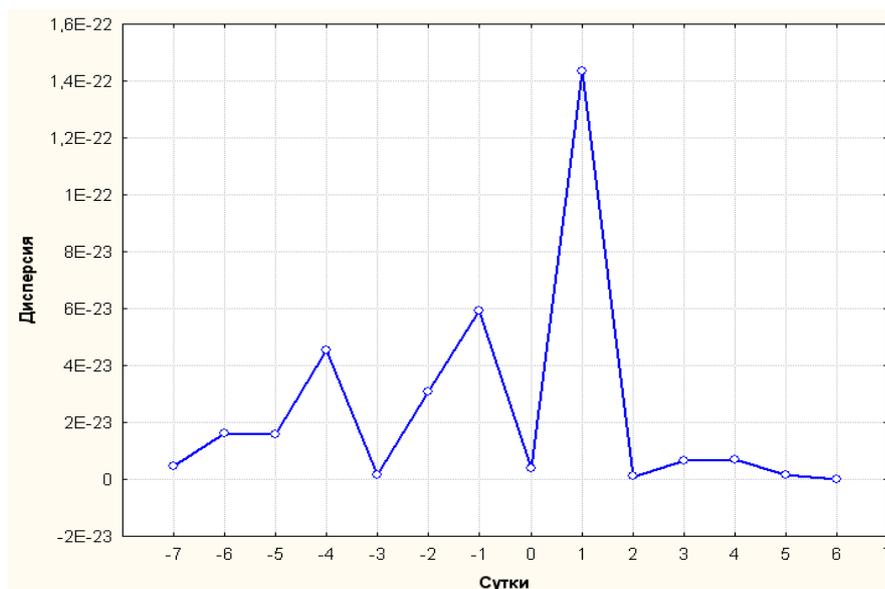


Рис. 2 – Изменение осредненных оценок дисперсии над сейсмоопасными регионами. 0 – сутки землетрясения

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами работы [3]. По данным регулярных наблюдений за характеристиками движения космических объектов наземными радиотехническими комплексами, входящими в систему воздушно-космической обороны Северной Америки (NORAD).

Было выявлено, что за две недели до землетрясений нарастают вариации торможения низкоорбитальных КА, а за 3-6 суток до сильных коровых землетрясений с эпицентрами на суше торможение низкоорбитальных КА в верхней атмосфере усиливается [3]. Наличие этих эффектов и выявленных аномалий по данным акселерометра «Кактус» подтверждает гипотезу о возмущениях нейтральной компоненты в околоземном космическом пространстве перед сильными землетрясениями.

Таким образом, в результате обработки данных о микроускорениях с бортового акселерометра «Кактус» впервые выявлено:

1. Повышенная плотность верхней атмосферы над сейсмоопасным регионом за 1-6 суток до сильного тектонического землетрясения;
2. В первые сутки после землетрясения проявляется всплеск значений средней плотности и ее дисперсии.
3. Вариации плотности атмосферы над сейсмоопасным регионом через двое суток после землетрясения резко уменьшаются.

Авторы благодарны профессорам Липеровскому В.А. и Волкову И.И. за полезные советы и внимание к полученным результатам.

Литература

1. Липеровский В.А. Мейстер К.-В., Липеровская Е.В., Похотелов О.А. Модели связей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и Аэрономия, 2008, № 4. С. 54.
2. Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000.
3. Чернявский Г.М., Тертышников А.В., Скрипачев В.О. Вариации торможения космических аппаратов в верхней ионосфере перед сильными землетрясениями // Доклады академии наук, 2009, том 424, № 4.
4. К. Мое, М. М. Мое. The high-latitude thermospheric mass density anomaly: A historical review and a semi-empirical model // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. vol. 70, Issue 5, 2008. p.794.
5. Ежегодник БСЭ 1976г [Электронный ресурс] /<http://epizodsspace.narod.ru/bibl/ejeg/1976/76.html>.
6. National Earthquake Information Center – NEIC. [Электронный ресурс] /<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
7. Инженерный справочник по космической технике / Под ред. Солодова А.В. – М.: Воениздат, 1977. 430 с.

ACOUSTIC-GRAVITY MODEL OF THE LITHOSPHERE-ATMOSPHERE- IONOSPHERE COUPLING BEFORE EARTHQUAKES АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО- ИОНОСФЕРНОЙ СВЯЗИ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Meister C.-V.¹, Hoffmann D.H.H.¹, Liperovsky V.A.²

¹Technische Universit Darmstadt, Schlossgartenstr. 9, Darmstadt

²Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences,
Bol'shaya Gruzinskaya str. 10, Moscow

Развивается многожидкостная магнитогидродинамическая теория конверсии акустико-гравитационных волн в электромагнитные с учетом широтных профилей плазменных параметров и электромагнитных полей в атмосфере и ионосфере и с учетом конечной электропроводности. Сделан вывод, что на высотах E-области ионосферы над сейсмоактивными регионами Альвеновские волны и волны Фарлей-Бунемановского типа могут возбуждаться за несколько дней до сильных землетрясений.

Introduction. In some of the models of lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling before earthquakes it is assumed that atmospheric acoustic and acoustic-gravity waves are generated several days before earthquakes in earthquake

preparation zones and propagate from the Earth's surface through the atmosphere up to ionospheric altitudes [1, 2]. There, due to collisions between the neutral and charged particles, disturbances of the charged particle densities are possible. In the ionospheric E-layer, atmospheric acoustic and acoustic-gravity waves