

ВОЗМУЩЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ НАД СЕЙСМООПАСНЫМИ РЕГИОНАМИ ПО ДАННЫМ БОРТОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА «КАКТУС» НА КА «КАСТОР»

А.В. Тертышников, Скрипачев В.О.

According to the data on-board 'supersensitive' accelerometer 'Kaktus' 4 days before major earthquakes, the increase of the average density of the upper atmosphere above the earthquake-prone regions on the perigee and decrease of the average density a day before the earthquake was identified.

Key words: experiment, accelerometer, spacecraft, Atmosphere, density, earthquake and archive

По данным бортового «сверхчувствительного» акселерометра «Кактус» за 4 суток до сильных землетрясений выявлено увеличение среднего значения плотности верхней атмосферы над сейсмоопасными регионом на высоте перигея и уменьшение значения средней плотности за сутки до землетрясения. В 1 сутки после землетрясения всплеск значений средней плотности.

Ключевые слова: эксперимент, акселерометр, КА, атмосфера, плотность, землетрясения, архив.

Введение

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] с помощью систем контроля космического пространства, бортовых навигационных приемников КА, бортовых акселерометров КА [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].

Порядок обработки экспериментальных данных

Для диагностики возможных проявлений сейсмической активности Земли в микроускорениях, зафиксированных 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 сейсмических событий

Номер	Дата	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

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 , которые наносились на карту сейсмоактивного региона.

Анализ результатов

В первом приближении перед указанными землетрясениями отмечались повышенные значения математического ожидания невязок 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».

В полученных результатах была отмечена сильная «пилообразность» как средних значений ρ_0 , так и текущих значений плотности атмосферы ρ . Поэтому рассчитанные значения средних ρ_0 для каждого землетрясения были дополнены интерполированными значениями плотности (рис. 1).

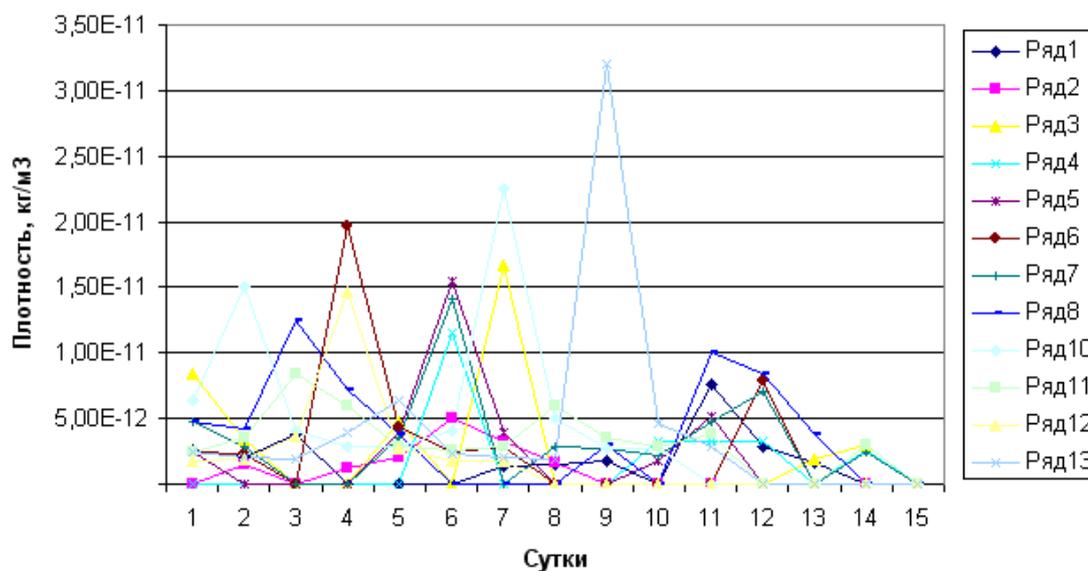
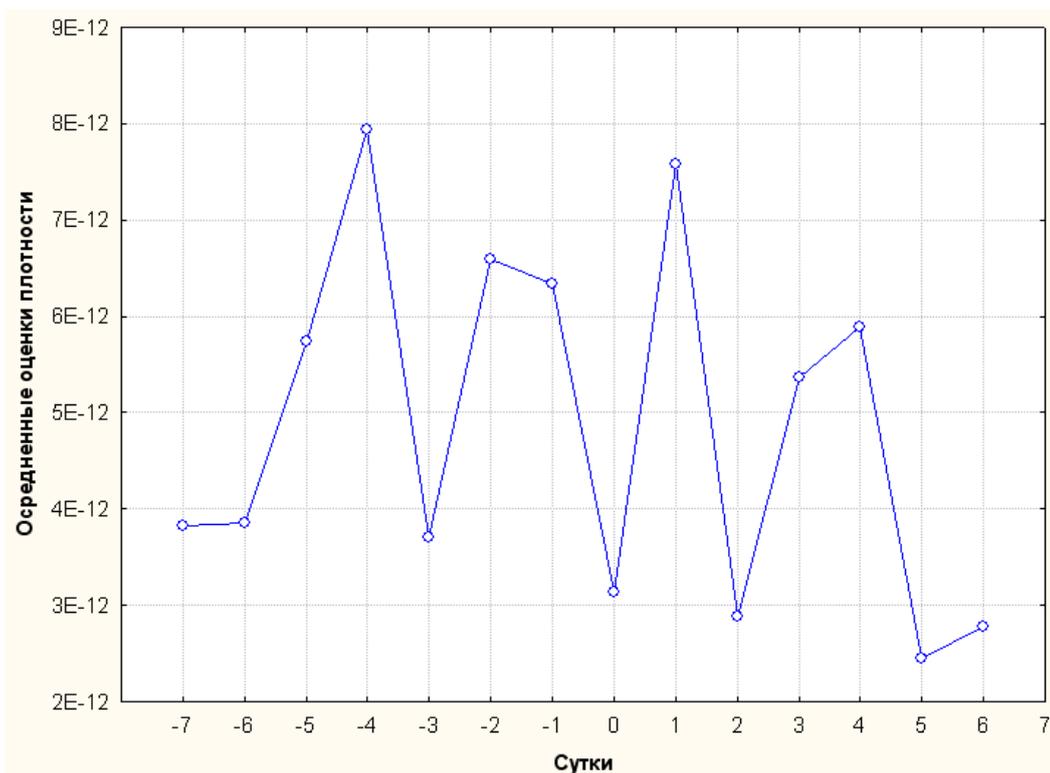


Рис. 1 Изменение среднесуточных значений ρ_0 над сейсмоопасными регионами без учета землетрясения № 17. Землетрясение в 8 сутки.

В большинстве анализируемых случаев геомагнитная обстановка была спокойной и значения геомагнитных индексов $K_p < 4$. Только при 17 землетрясении наблюдалось повышенное значение индекса $K_p = 5.89$, что могло оказать влияние на плотность атмосферы. Поэтому это землетрясение было исключено из дальнейшего анализа.

Статистические характеристики анализируемых рядов представлены на рис. 2. За 4 суток до сейсмического события наблюдается увеличение среднего значения плотности и дисперсия значений средней плотности. Уменьшение значения средней плотности за сутки до землетрясения может быть проявлением эффекта «сейсмического затишья». В 1 сутки после землетрясения всплеск значений средней плотности и ее дисперсии может быть обусловлен произошедшим землетрясением.

а)



б)

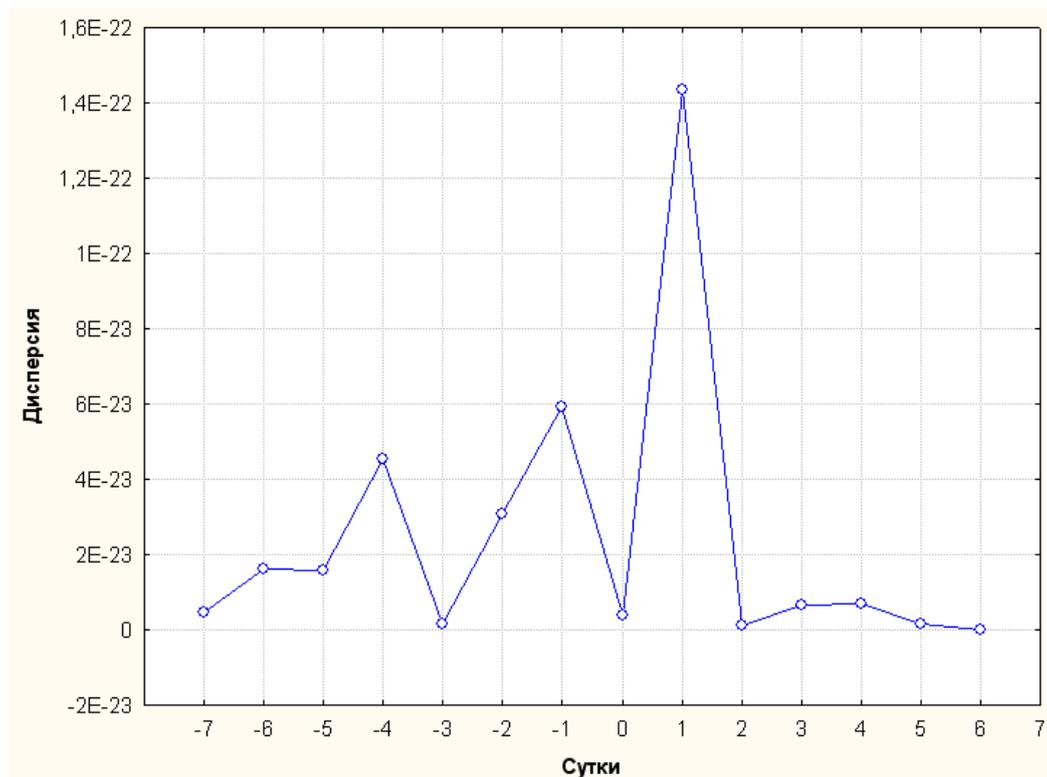


Рис. 2 – Изменение осредненных оценок плотности (2а) и дисперсии (2б) над сейсмоопасными регионами. 0 – сутки землетрясения

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами [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.

Заключение

В результате обработки данных о микроускорениях французского КА «Кастор» на высоте перигея выявлено:

1. Повышенная плотность верхней атмосферы над сейсмоопасным регионом за 4 суток до сильного тектонического землетрясения;
2. Увеличение значений средней плотности атмосферы над сейсмоопасным регионом на следующие сутки после землетрясения;
3. Низкие значения дисперсии в вариациях плотности атмосферы над сейсмоопасным регионом через двое суток после землетрясения.

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

Литература

1. *Тертышников А.В.* Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. – СПб.: ВИКА, 2000.
2. *Тертышников А.В., Липеровская Е.В., Скрипачев В.О.* Первые оценки возмущений плотности верхней атмосферы над сейсмоопасными регионами по данным бортового акселерометра на космическом аппарате/ Материалы V международной конференции "Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений" 2 - 7 августа 2010 г. с. Паратунка, Камчатский край. – Паратунка, 2010. С. 394-397.
3. *Тертышников А.В., Чернявский Г.М., Скрипачев В.О.* Вариации торможения космических аппаратов в верхней ионосфере перед сильными землетрясениями // Доклады академии наук, 2009, том 424, № 4.
4. *Мое К., Мое М. М.* 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. <http://epizodsspace.narod.ru/bibl/ejeg/1976/76.html>.
6. National Earthquake Information Center – NEIC. /<http://earthquake.usgs.gov/regional/neic/>.
7. Инженерный справочник по космической технике / Под ред. Солодова А.В. – М.: Воениздат, 1977. 430 с.