

# Вариации баллистического коэффициента КА в ОКП в периоды подготовки сильных землетрясений

В.О. Скрипачев, А.В. Тертышников

*Научно-технологический центр космического мониторинга земли ФГУП «РНИИ КП»  
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32  
E-mail: [skripatchevv@inbox.ru](mailto:skripatchevv@inbox.ru)*

Приведены результаты анализа вариаций баллистического коэффициента низкоорбитальных КА до и после сильных (с магнитудой  $M > 6.5$ ) коровых землетрясений 2000-2006 гг.. Выявлены статистически значимые отклонения баллистического коэффициента КА к моменту сильных землетрясений. Полученные результаты могут быть использованы в космическом сегменте Федеральной Системы Сейсмических Наблюдений и Прогнозирования Землетрясений (ФССН и ПЗ).

В последние годы активно изучаются и обсуждаются вопросы обнаружения предвестников землетрясений из космоса [1]. В [2-7] приведены сведения о возможности их регистрации бортовой научной аппаратурой (БНА) космических аппаратов (КА). Результаты обобщения наблюдаемых предвестников и их проявления в околоземном космическом пространстве (ОКП), а также возможности их регистрации различной БНА приведены в [8, 9], где отмечено низкое исследование предвестников землетрясений между ионосферой и магнитосферой.

Возможна диагностика предвестников сильных землетрясений в характеристиках плотности ОКП по изменению орбит КА и их баллистических характеристиках, оцениваемых наземными радиотехническими средствами.

Диагностика сейсмоорбитальных эффектов перспективна в связи с проектами создания космических систем для прогнозирования сейсмической опасности. Например, в [10] предложено использовать для такой системы орбитальную группировку из 23 КА, из которых 18 должны являться низкоорбитальными (орбиты высотой ~400 км), 4 КА – должны находиться на более высоких солнечно-синхронных орбитах (высота орбит ~1000 км) и 1 КА должен находиться на эллиптической орбите (высота 350-3500 км). Создание такой системы весьма затратно.

Для развития «космической сейсмологии» и проектирования космического сегмента ФССН и ПЗ важно научиться прогнозировать сейсмические условия, связанные, хотя бы, с сильнейшими землетрясениями. Они обуславливают наибольший ущерб и жертвы. Прогноз сильных землетрясений – международная задача, особенно для космических держав.

Проявление предвестниковых сейсмогенных вариаций термодинамических характеристик ОКП должно зависеть от высоты и положения сейсмо-тектонической аномалии. Эту особенность можно исследовать, оценив коэффициент корреляции сейсмоорбитальных эффектов КА на разных высотах. Для этого КА объединялись, в группы по высоте орбиты: среднеорбитальные и низкоорбитальные КА.

В состав среднеорбитальной группы были включены 4 КА (Aqua, Landsat-7, SPOT-5, Terra), а в другую группу включить КА (EROS-1A, Монитор-Э, Quickbird, ORBVUEW-3) (рис. 1). Все эти КА имеют солнечно-синхронные орбиты.

Метод поиска предвестниковых сигналов перед сильными землетрясениями в вариациях орбит базируется на методе «наложения эпох» для достаточно однородных событий. При этом предыдущие исследования [11] показали целесообразность выбора только сильных землетрясений суши.

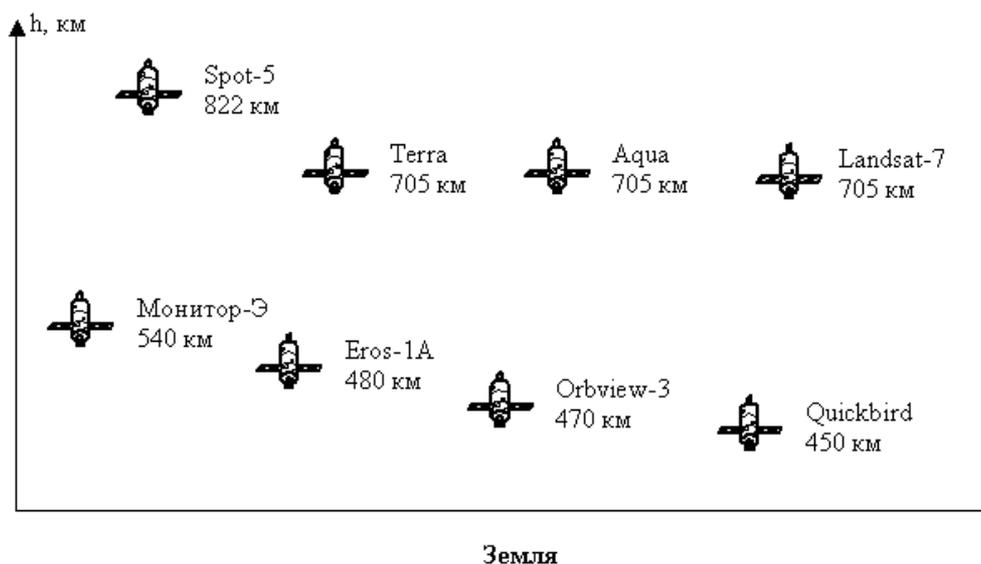


Рис. 1. Состав орбитальных группировок КА в ОКП

Отбор сейсмических событий осуществлялся по данным USGS National Earthquake Information Center (<http://eqint.cr.usgs.gov/neic>). Интервал наблюдения каждого сейсмического события составил 31 сутки (20 суток до и 10 суток после реперной даты – сильного (с магнитудой  $M \geq 6.5$ ) корового землетрясения суши, с глубиной гипоцентра не более 30 км. Выбранные отрезки не должны перекрываться.

В соответствии с этими ограничениями с 1.01.2000 по 30.01.2007 удалось отобрать 19 сильных коровых землетрясений суши (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики землетрясений

№	Дата	Широта, $\varphi$	Долгота, $\lambda$	Глубина гипо- центра, $Z$	Магнитуда, $M$
1	17.06.2000	63.97	-20.49	10	6.80
2	04.08.2000	48.79	142.25	10	7.10
3	06.10.2000	35.46	133.13	10	7.40
4	06.12.2000	39.57	54.80	30	7.50
5	14.11.2001	35.95	90.54	10	8.00
6	03.02.2002	38.57	31.27	5	6.50
7	22.06.2002	35.63	49.05	10	6.50
8	08.09.2002	-3.30	142.95	13	7.80
9	23.10.2002	63.51	-147.91	4	6.70
10	21.05.2003	36.96	3.63	12	6.90
11	27.09.2003	50.04	87.81	16	7.50
12	28.08.2004	-35.17	-70.53	5	6.50
13	15.11.2004	4.70	-77.51	15	7.20
14	22.02.2005	30.75	56.82	14	6.50
15	05.12.2005	-6.22	29.83	22	7.20
16	08.10.2005	34.54	73.59	26	7.70
17	22.02.2006	-21.32	33.58	11	7.50
18	20.04.2006	60.95	167.09	22	7.60
19	22.05.2006	60.77	165.74	16	6.70

Для указанных временных отрезков относительно выбранных событий (табл. 1) были собраны данные наблюдений за оценками наблюдаемого наземными радиотехническими средствами среднесуточного баллистического коэффициента КА ( $K_b$ ) и значениями индексов геомагнитной активности  $K_p$  (индекс  $K_p$  вычисляется по  $K$ -индексам, определенным на 12 среднеширотных обсерваториях [14]). При этом для каждого КА получилось разное количество землетрясений: Aqua (Дата запуска 04.05.2002) – 12, EROS-1A (05.12.2000) – 15, Landsat-7 (15.04.1999) – 19, Монитор-Э (26.08.2005) – 5, ORBVVIEW-3 (26.06.2003) – 9, Quickbird (18.10.2001) – 15, SPOT-5 (24.03.1998) – 13, Terra (18.12.1999) – 19.

При обработке использовался прием типизации собранных данных, язык программирования Interactive Data Language (IDL), а также программный пакет Statistica for Windows. Использование приема типизации обусловлено необходимостью повышения однородности сравниваемых данных о тенденции баллистического коэффициента с различных КА. Типизация заключалась в переводе значения  $K_b$  в значения 1, если предыдущее значение меньше и 0 в остальных случаях.

Обобщенные портреты для выбранных группировок КА представлены на рис. 2.

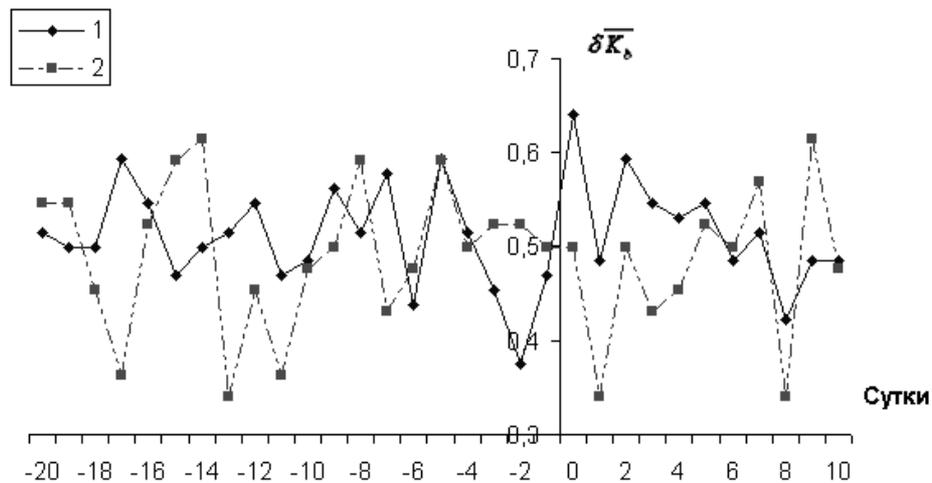


Рис. 2. Обобщенный портрет тенденций  $\delta K_b$  баллистического коэффициента КА  
1 – для среднеорбитальных КА; 2 – для низкорбитальных КА

В полученных результатах за несколько суток до землетрясения можно отметить нарастание низкочастотных вариаций в тенденциях баллистического коэффициента среднеорбитальных КА и увеличение торможения за ~5 суток до сильного землетрясения.

Для низкорбитальных КА этот эффект проявляется хуже, возможно из-за большего влияния высокочастотных вариаций среды ОПК. Синхронизация тенденций торможения КА в -5 сутки может быть обусловлена статистически значимым (по критерию Пирсона при уровне значимости  $P > 0.05$ ) увеличением  $K_p$  индекса в -6 сутки (рис. 3).

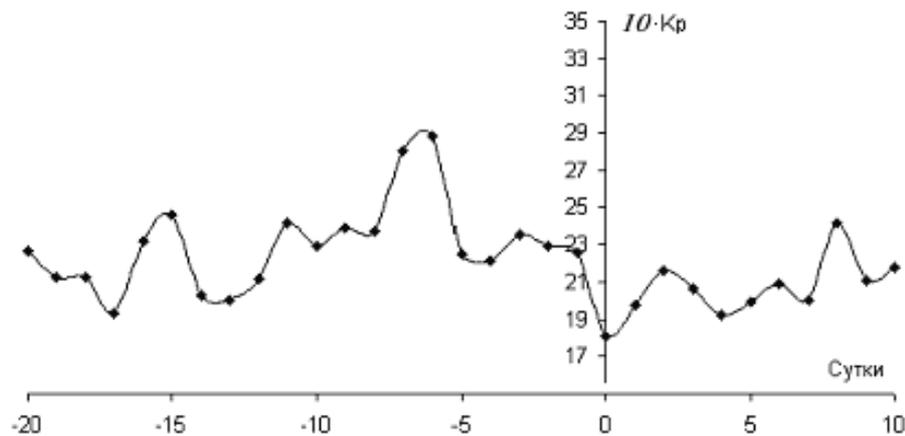


Рис. 3. Осредненное изменение  $K_p$  индекса (0 – сутки с землетрясением)

Коэффициент корреляции между  $K_p$  и  $K_b$  для используемых КА оказался близким к нулю. Коэффициенты корреляции  $\gamma$  между среднесуточными баллистическими коэффициентами КА нижнего и среднего ярусов представлены на рис. 4.

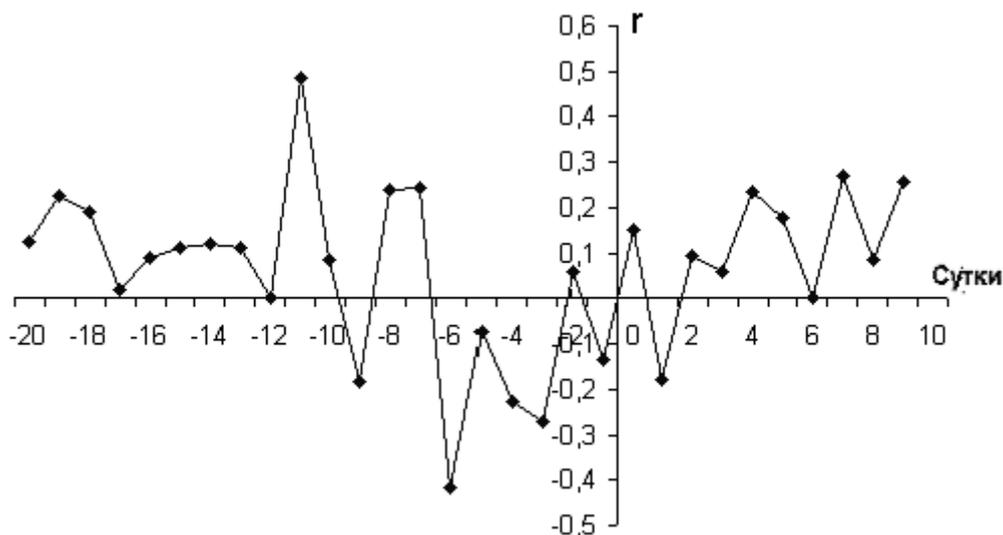


Рис. 4. Изменение коэффициента корреляции между среднесуточными вариациями  $K_b$  среднеорбитальных и низкоорбитальных КА (0 сутки – землетрясение)

За 10-11 суток до сильных землетрясений суши проявляется тенденция к уменьшению коэффициента корреляции со значительной амплитудой вариаций. За ~5 суток до землетрясения происходит разворот тенденции и нарастание мощности высокочастотных вариаций, что соответствует модели подготовки тектонического землетрясения [12].

Статистически значимыми по критерию Пирсона при уровне значимости  $P \geq 0.05$  являются выбросы коэффициента корреляции за 11 суток и за 6 суток до землетрясения. Эти два сигнала могут быть связаны с последующим периодом повышенной сейсмической опасности. Накануне и в сутки землетрясения коэффициент корреляции  $\gamma \rightarrow 0$ .

Таким образом, за ~10 и 5 суток до сильных коровых землетрясений суши проявляется тенденция синхронизации торможения КА на низких и средних орбитах. Для низкоорбитальных КА изменчивость  $\delta \overline{K_b}$  больше чем для среднеорбитальных.

Выявленные эффекты можно использовать для прогнозирования повышенной сейсмической опасности в комплексе с предвестниками землетрясений, регистрируемыми бортовой научной аппаратурой КА ДЗЗ.

## Литература

1. Тертышников А.В. Предвестники землетрясений и особенности их регистрации. СПб.: ВИ-КА. 1996. 128 с.
2. Pulinets S.A., Boyarchuk K.A., Hegai V.V., Kim V.P. and Lomonosov A.M. Quasielectrostatic Model of Atmosphere-Thermosphere-Ionosphere Coupling // Adv. Space Res., 2000, 26, No. 8. Pp. 1209-1218.
3. Vershinin E.F., Buzevich A.V., Yumoto K., Saita K., Tanaka Y. Correlations of seismic activity with electromagnetic emissions and variations in Kamchatka region, in Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes/ Edited by M. Hayakawa - Tokyo Terra Scientific Publishing Company, 1999, Pp. 513-517.

4. Гохберг М.Б., Гуфельд И.П., Добровольский И.П. и др. Электромагнитные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1982. 68 с.
5. Hayakawa M., Molchanov O.A. Effect of earthquakes on lower ionosphere as found by subionospheric vlf propagation// Adv. Space Res. 2000, 26, No. 8, Pp. 1273-1276.
6. Гинзбург Е.А., Мальшев А.Б., Прошкина И.П., Пустоветов В.П. Корреляция сильных землетрясений с вариациями потока частиц радиационного пояса // Геомагнетизм и аэрономия, 1994. Т. 34. №3. С. 60-66.
7. Литеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.А. Ионосферные предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 304 с.
8. Чернявский Г.М., Скребушевский Б.С., Скрипачев В.О. Бортовая аппаратура космических аппаратов мониторинга предвестников землетрясений // Исследования Земли из космоса, 2004. №6. С.50-58.
9. Платонов В.В., Тертышников А.В. Перспективы мониторинга сейсмических условий из космоса // Исследовано в России, 2007. № 31. С. 300-309.
10. Бучаченко А.Л., Ораевский В.Н., Похотелов О.А., Сорокин В.Н., Страхов В.Н., Чмырев В.М. Ионосферные предвестники землетрясений // Успехи физических наук, 1996. Т.166. №9. С.1053-1059.
11. Тертышников А.В. Вариации торможения космического аппарата «Монитор-Э» перед сильными землетрясениями 2005-2006 гг. // Исследования Земли из космоса, 2004. №5.
12. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.