

УДК 533.91

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ОТКЛИК ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ СТАНЦИИ "МИР"

В. Н. Кунин<sup>1</sup>, В. С. Плешивцев<sup>1</sup>, А. А. Рухадзе, Д. М. Белов<sup>1</sup>

*В работе описаны эксперименты по регистрации низкочастотных радиовозмущений ионосферы Земли, возникших при затоплении станции "Мир" 23 марта 2001 года с 03.30 до 09.00, а также землетрясения в районе Ирано-Иракской границы, произошедшего в тот же день между 09.00 и 10.00. Проведено сравнение зарегистрированных возмущений с возмущениями, возникавшими при вхождении в ионосферу Земли метеорного потока Леониды 17 ноября 1998 г. Показана их подобность с учетом временного масштабирования.*

Операция затопления станции "Мир" может быть рассмотрена как натуральный физический эксперимент с падением антропогенного крупного метеора. Цели этого эксперимента лежат вне рамок физической науки и в настоящей статье не рассматриваются. Эксперимент, несомненно, уникальный и основная задача статьи – сохранить полученные факты. Тем не менее, в конце делаются некоторые выводы.

Перед началом операции по затоплению станция двигалась по орбите с высотой от 219.2 до 188.2 км с периодом 88.4 мин, т.е. находилась в слое  $F$  (на границе слоев  $F_1$  и  $F_2$ ). Следовательно, процесс затопления разворачивался внутри ионосферы, и лишь в последние минуты внутри тропосферы.

Известно, что быстролетающие объекты (метеориты, баллистические ракеты) при вхождении в ионосферу производят крупномасштабные возмущения [1]. Поэтому естественно предположить, что и движение станции "Мир" сопровождалось подобными эффектами при уменьшении высоты от  $h_{max}$  до нуля. Возмущения в ионосферной плазме изменяют параметры трассы распространения электромагнитных волн (ЭМВ) и эти возмущения могут быть обнаружены при регистрации вариаций электромагнитного поля Земли (ЭМПЗ).

<sup>1</sup>Владимирский государственный университет, 600000 г. Владимир, ул. Горького, 87.

В описываемом эксперименте использовался регистрирующий комплекс из четырех частотно-разнесенных приемных каналов  $E_z$  составляющей электромагнитного поля Земли крайне низкочастотного (КНЧ) радиодиапазона.

Напряженность электрической компоненты электромагнитного поля Земли в этом диапазоне является аддитивной суммой ЭМВ атмосфериков от множества грозových разрядов на всем земном шаре (волны этого диапазона в волноводе Земля-ионосфера имеют очень низкий декремент затухания по расстоянию).

Известно, что свойства трассы распространения электромагнитных волн оказывают мультипликативное воздействие на распространяющийся сигнал.

Принимаемый сигнал  $S(t)$  является сверткой излучаемого сигнала  $e(t)$  с передаточной функцией трассы распространения  $h(t)$ :

$$S(t) = e(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} e(t) \cdot h(t - \tau) d\tau.$$

При частотном разнесении амплитудно-частотных характеристик приемников регистрируемые реализации не коррелируют между собой. Однако при возникновении возмущений в атмосфере ее передаточная функция изменяется на частотах возмущения, и все принимаемые реализации оказываются модулированными одной и той же частотой, т.е. становятся коррелированными между собой на этой частоте. Вычисляя глубину взаимной корреляции, мы тем самым получим сведения о частоте и интенсивности возмущения в ионосфере. Поскольку полезный сигнал возникает за счет модуляции естественных вариаций  $E_z$  составляющей (естественных шумов), то по отдельному каналу отношение сигнала к шуму принципиально меньше единицы. Поэтому для обнаружения полезного сигнала требуется многоканальный прием вариаций ЭМПЗ с последующим выделением информации из шумов процедурой совместной корреляционной обработки по ансамблю реализаций.

В качестве критерия оценки многофакторного коэффициента корреляции использовалось произведение мгновенных значений сигналов центрированных (математическое ожидание  $M(x_i) = 0$ ) и нормированных (дисперсия  $\sigma_i^2 = 1$ ) реализаций  $x_i$ .

Действительно, при  $\sigma^2 = 1$ ,  $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = 1$  парный коэффициент корреляции двух центрированных случайных величин  $X$  и  $Y$  принимает вид:

$$r_{xy} = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{\langle xy \rangle - 0}{1 \cdot 1} = \langle xy \rangle.$$

Для четырех каналов полезный сигнал будет являться произведением двух парных коэффициентов корреляции, т.е. произведением четырех чисел. Поскольку при обработке полученной информации расчеты проводились в скользящем, конечном по длительности окне, то мы получаем лишь оценки статистических параметров, т.е. применяемый алгоритм подоптимален.

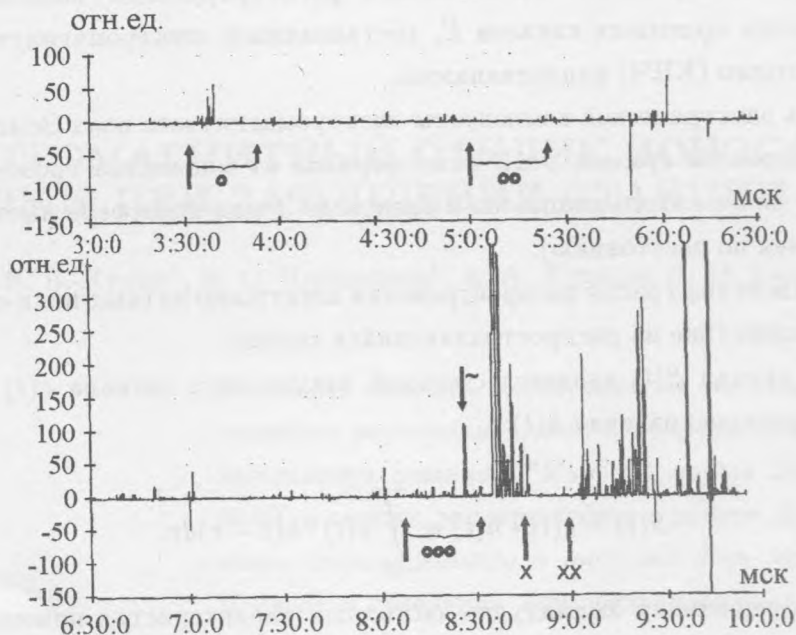


Рис. 1. График скользящего произведения 4-х канальных регистраций вариаций ЭМПЗ на период проведения операции по затоплению станции "Мир" 23 марта 2001 г. На рисунке отмечены:  $\uparrow^\circ$ ,  $\uparrow^{\circ\circ}$ ,  $\uparrow^{\circ\circ\circ}$  – периоды первого, второго и третьего тормозных импульсов; x – момент вхождения станции в плотные слои атмосферы; xx – момент падения станции в Тихий океан;  $\downarrow\sim$  – ионосферный отклик на землетрясение в районе Ирано-Иракской границы,  $M = 5.1$ , глубина 33 км.

На рис. 1 представлен общий вид графика поточечного межканального скользящего произведения  $E_2$  вариаций ЭМПЗ по четырем приемным каналам 23 марта 2001 г. (график нормирован на дисперсию). График содержит весь период проведения операции затопления – с момента начала первого тормозного импульса до падения обломков станции в Тихий океан – и включает в себя моменты прохождения станцией нескольких слоев атмосферы.

Первый тормозной импульс станции (отмечен  $\uparrow^\circ$ )  $t_1 = 3\text{ ч } 31\text{ мин мск.}$ ,  $\Delta t_1 = 21\text{ мин}$ ,  $\Delta v_1 = 9.3\text{ м/с}$ . Тяга двигателя около 1000 Н. Тяга двигателя настолько мала по сравнению с тягой, например МБР, что крупномасштабных возмущений не происходит и на рис. 1 возмущения проявляются очень слабо. Аналогичная картина при втором ( $\uparrow^{\circ\circ}$ ) и третьем ( $\uparrow^{\circ\circ\circ}$ ) торможении, однако эти возмущения проявляются при использовании более крупного масштаба по оси Y.

В 8 ч 44 мин "Мир" спустился до 100 км, тремя минутами ранее он погрузился в слой E, и возникли мощные возмущения ионосферы. Это можно увидеть по большому уровню сигналов на рис. 1 после указанного момента времени.

Значительные по масштабу возмущения ионосферы происходят при прохождении сквозь атмосферу Земли метеорных потоков и отдельных крупных метеоритов. При этом возможны изменения электронной концентрации и химического состава в плазме, например, при горении метеоритного вещества на траектории падения, возбуждение акустико-гравитационных, ударных и магнитогидродинамических волн в различных ионосферных слоях и т.п. [2].

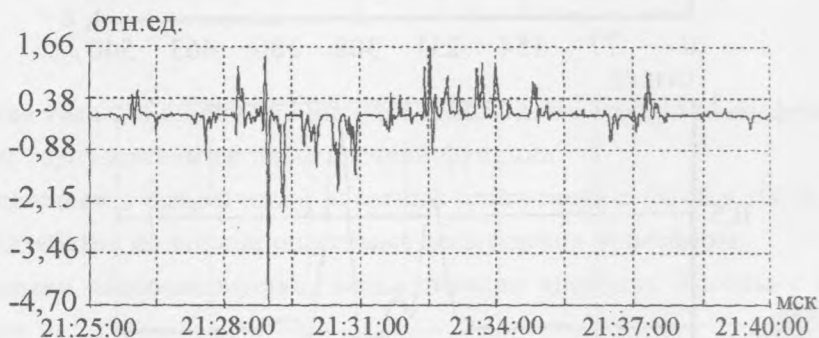


Рис. 2. Образ возмущения ЭМПЗ при вхождении в ионосферу частиц метеорного потока Леониды 17 ноября 1998 в 21:29:00 мск (скользящее произведение 5-ти канальных регистраций).

На рис. 2 представлен образ поточечного перемножения реализаций вариаций ЭМПЗ от пяти приемных каналов, полученный при вхождении метеорита в атмосферу Земли в ночь с 17 на 18 ноября 1998 года при прохождении Земли сквозь метеорный поток Леониды (график нормирован на дисперсию).

Сравним этот результат с образом возмущения ионосферы антропогенным источником, возникшим при проведении операции по затоплению орбитальной станции "Мир". На рис. 3 представлено сопоставление образа возмущений ЭМПЗ при прохождении станции "Мир" слоя *E* ионосферы с усредненным образом возмущений ЭМПЗ при вхождении в ионосферу метеорита (графики нормированы на максимум).

Из рис. 3 видно, что возмущение ионосферы падающей станцией "Мир" подобны возмущениям от метеора. Скорость частиц метеоритного потока "Леониды", движущегося навстречу Земле, достигает 72 км/с, тогда как скорость орбитальной космической станции до вхождения в плотные слои атмосферы не более 7 км/с. Различие в скоростях движущихся объектов учтено на рис. 3 различием масштабов по временной оси.

Наличие трех ступенек на первом импульсе для "Мира" связано, видимо, с тем, что три наиболее крупных фрагмента станции падали довольно компактной группой в авангарде шлейфа из менее крупных фрагментов.

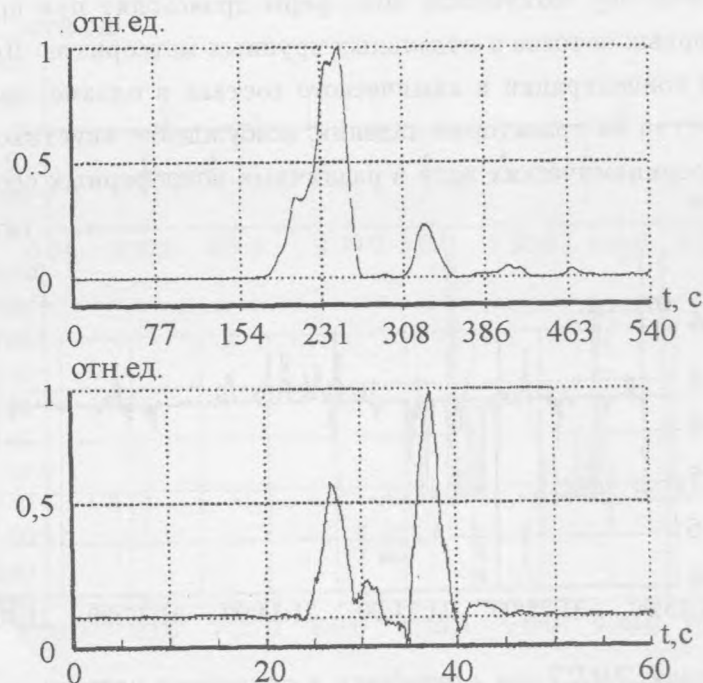


Рис. 3. а) Образ возмущений ЭМПЗ в КНЧ диапазоне при затоплении станции "Мир"; б) Усредненный образ возмущений ЭМПЗ в КНЧ диапазоне при вхождении в ионосферу метеорита.

Из рис. 1 видно, что помимо отклика передаточной функции ионосферы на вхождение станции в слой  $E$  имеется также мощный отклик, возникший через три минуты после падения станции в океан.

Естественно предположить, что этот отклик есть результат возмущения ионосферы акустическими волнами, пришедшими с места удара станции о водную поверхность и ударной волны из тропосферы. Если оценить высоту, на которой возникают возмущения, величиной порядка  $100 \text{ км}$ , то средняя скорость волн оценивается в  $10^5 \text{ м/200с} \approx 500 \text{ м/с}$  и менее.

Понятно, что в рассматриваемых эффектах проявляется не только возмущение ионосферы, но и релаксационные процессы в ней. Авторам не известно, возникают ли подобные эффекты при катастрофах крупных авиалайнеров, что, на их взгляд, вполне вероятно.

Заметим, что при получении результатов, указанных в статье, использовалась методика, разработанная ранее для регистрации электромагнитных предвестников землетрясений [3], так как подготовка и протекание землетрясения также сопровождается ионосферными возмущениями. Во время проведения эксперимента на границе Ирана-Ирака произошло землетрясение на глубине  $33 \text{ км}$  с магнитудой  $M = 5.3$ . На рис. 1 пик, отмеченный стрелкой

( $\downarrow$ ) в 8 ч 27 мин, возникает через 3 мин после главного удара, т.е. время, необходимое для прихода возмущающих волн в ионосферу, совпадает с тем же временем при ударе "Мира" о воду. Это совпадение времен задержки можно считать косвенным доказательством акустической природы возмущений ионосферы при нестационарных высокоэнергетических процессах на поверхность земли. Естественно, что это предположение по результатам лишь одного эксперимента. Задержка в отклике ионосферы от начала облучения ее с земли инфразвуком оценивается в работах [4, 5] в 4-5 минут, что также согласуется с результатами настоящей работы.

#### Выводы:

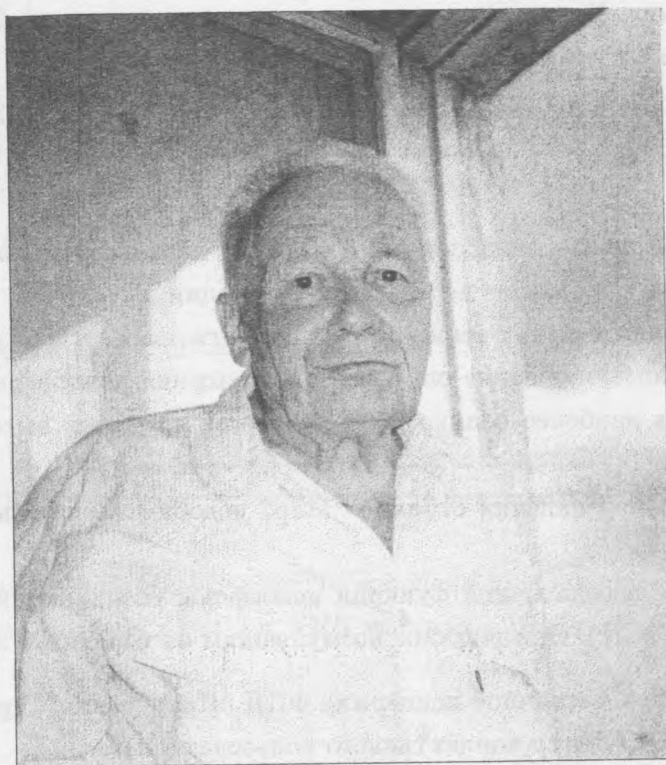
1. Движение тела без изменения высоты полета даже внутри ионосферы не приводит к крупным возмущениям ее передаточной функции.
2. При включении и выключении ракетных двигателей с тягой в 100 кГс происходят мелкомасштабные, но вполне ощутимые возмущения ионосферы.
3. Возмущения наиболее велики, когда станция проходит высоты с максимальным градиентом  $n_e$ .
4. Возмущения при падении станции "Мир" подобны возмущениям от естественных метеоров.
5. Возмущения передаточной функции ионосферы возникают и при ударе крупного тела о землю (воду). Они подобны возмущениям от взрывов и землетрясений.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП "Интеграция", проект N Б0001; РФФИ – проект N 00-05-72020и (Центр коллективного пользователя).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карлов В. Д., Козлов С. И., Ткачев Г. Н. Космические исследования, 18, N 2, 266 (1980).
- [2] Бауэр В. И., Рид Дж., и др. Распределение электронов в верхней атмосфере, перевод с англ. М., Мир, 1969, с. 520.
- [3] Kunin V. N., Pleshivtsev V. S., and Dmitrieva E. V. Gravitation & Cosmology, 5, N 4, 343 (1999).
- [4] Kotsarenko N. Ya., Soroka S. A., Kosheva ya S. V., and Koshov y V. V. Physica Scripta, 59, 174 (1999).
- [5] Кошовий В. В., Сорока С. О. Космічна наука і технологія, 4, N 5/6, 3 (1998).

К 90-летию СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ  
КОНСТАНТИНА ВАСИЛЬЕВИЧА ВЛАДИМИРСКОГО



Константин Васильевич Владимирский родился 13 апреля 1913 г. в Петрограде (ныне Санкт-Петербург) в семье врача. В школе учился в Москве. В 1931 г. окончил общеобразовательную школу № 7 Хамовнического района в Кривоарбатском переулке. Сразу после окончания школы поступил на работу в Институт химической обороны (ИХО), где работал лаборантом у крупного специалиста по органической химии Алексея Николаевича Панченко, затем – лаборантом на физико-математическом факультете МГУ, в магнитной лаборатории. В 1933 – 1938 гг. учился на физико-математическом факультете МГУ, который окончил по кафедре магнетизма. В том же 1938 г. поступил в аспирантуру Физического факультета МГУ к известному советскому физика академику Николаю Сергеевичу Акулову, под руководством которого занимался теорией ферромагнетизма. Кандидатскую диссертацию "К теории технического намагничения" на звание кандидата физ.-мат. наук защитил в 1941 г. до начала Великой Отечественной войны. После окончания аспирантуры был распределен на работу в Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), где работал в период с 10.01.1941 по 27.04.1944 гг. В годы Великой Отечественной войны был эвакуирован в гор. Новосибирск,

работал в Новосибирском филиале ЦАГИ, занимался различными вопросами аэродинамики, в том числе разработкой предкрылков самолета, что спасло жизнь многим нашим летчикам.

По возвращении в Москву в 1944 г. (27.04.1944 г.) К. В. Владимирский поступил учиться в докторантуру Института физических проблем АН СССР к академику Л. Д. Ландау, затем был переведен в Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН), где закончил докторантуру под руководством академика М. А. Леонтовича. Учителями К. В. Владимирского были выдающиеся советские физики: Н. С. Акулов, Л. Д. Ландау, С. И. Вавилов, М. А. Леонтович.

Работать в ФИАНе К. В. Владимирский начал с 01.03.1947 г., где продолжает работать по настоящее время. В 1947 г. он опубликовал в Журнале экспериментальной и теоретической физики (ЖЭТФ) работу по теории двойникования кристаллов, которая открывает огромный список литературы исследований, получивших широкое развитие в современной металлургии. В 1947 г. он начал исследования в новой области физики – ядерном магнитном резонансе. Им был выполнен большой цикл работ по экспериментальному и теоретическому изучению ЯМР. В 1974 г. он защитил докторскую диссертацию "Вопросы динамики в ядерном магнитном резонансе".

Особенностью дарования К. В. Владимирского является энергичная и увлеченная работа в самых разнообразных направлениях современной физики.

В период 70 – 90-х годов К. В. Владимирский провел численные эксперименты в изучении устойчивости генерации на асимметричной неоднородно уширенной линии, изучал стохастические режимы генерации мазеров и их предельные циклы. В период 1994 – 1998 гг. им теоретически изучались проблемы рассеяния медленных нейтронов на связанных протонах. Начиная с 1985 г., он плодотворно работает в другой области физики – изучении рассеяния радиоволн на турбулентной околосолнечной плазме. В результате этих работ им было обнаружено новое, не предсказанное теорией явление – существование в солнечном ветре протяженной, трансзвуковой области, в которой реализуется специфический режим смешанного течения потоков плазмы. В цикле работ по физике солнечного ветра К. В. Владимирским были проведены исследования пространственного расположения критической звуковой точки потока, результаты локализации критической точки в области 10 – 20 солнечных радиусов существенно отличаются от более ранних оценок – 5 солнечных радиусов. В настоящее время им проводятся исследования струйной структуры потоков солнечного ветра и их источников в солнечной короне.

К. В. Владимирский на протяжении 30 лет работал Ученым секретарем докторского квалификационного Ученого совета ФИАН. Он участвовал в работе многих международных конференций, в том числе, в Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, 1955 г., Женева, Швейцария.