

ГЕОМАГНЕТИЗМ
И
АЭРОНОМИЯ

1996

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА

показывает, что модельный профиль температуры для выбранного интервала высот хорошо согласуется с экспериментальной зависимостью.

В свою очередь, для описания процессов на высотах, отвечающих росту температуры, напомним, что при $|z - z_0| \ll h$ соотношение (9) сводится к линейной температурной зависимости

$$T = T_0 + \frac{mg}{\kappa} (H_0 - h) \frac{(z - z_0)}{h}. \quad (12)$$

Формулу (12) можно использовать для аппроксимации реального температурного профиля несколькими плоскопараллельными слоями. Там, где температура растет с высотой, эти слои должны иметь толщину Δz , много меньшую, чем высота однородной атмосферы, поскольку $\Delta z \ll h \ll H_0$ (см. (12)). Отметим, что для областей, в которых температура убывает с высотой этих ограничений на толщину, слоев нет.

В каждом слое с температурной зависимостью (9), уравнение (5) записывается в виде

$$\frac{\partial^4 u_z}{\partial t^2 \partial x^2} - \frac{1}{h} \frac{\partial^3 u_z}{\partial t^2 \partial z} + \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{g}{h} \right) u_z = 0, \quad (13)$$

формально совпадающем с уравнением для внутренних гравитационных волн, записанным для несжимаемой изотермической атмосферы.

Таким образом, даже при наличии высотного хода температуры модель, основанная на температурной зависимости (9), позволяет успешно искать решение задачи для структуры поля u_z в виде неоднородных плоских волн. Дисперсионные свойства этих волн определяются не высотой однородной атмосферы, а масштабом h . В областях, где температурная зависимость (9) хорошо аппроксимирует реальный высотный ход температуры (фактически это относится ко всей области падения температуры с высотой и к достаточно узким слоям в области ее роста), можно ввести постоянные по всему слою фазовую и групповую скорости волн. В каждом слое не зависят от высоты частота Бранта — Висселя, кинетическая энергия волны и ее поток энергии по вертикали.

The research described in this publication was made possible in part by Grant № NOM000 from the International Science Foundation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Госсард Э. Э., Хук У. К. Волны в атмосфере // М.: Мир, 1978. 532 с.
2. Григорьев Г. И., Савина О. Н. О механизмах генерации акустико-гравитационных волн в изотермической атмосфере // Неустойчивости и волновые явления в системе ионосфера — термосфера. Горький: ИПФ АН СССР, 1989. С. 26—40.
3. Friedman J. P. Propagation of internal gravity waves intermally stratified atmosphere // J. Geophys. Res. 1966. V. 71. № 4. P. 1033—1054.
4. Greenfield R. J., Harkrider D. G. Acoustic-gravity wave calculations in a layer with a linear temperature variation // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1971. V. 26. № 1—4. P. 323—339.
5. Lindzen R. S. Internal gravity waves in atmospheres with realistic dissipation and temperature. 1. Mathematical development and propagation into the thermosphere // Geophys. fluid dyn. 1970. V. 1. № 3. P. 303—355.
6. Einaudi F., Hines C. O. WKB approximation in application to acoustic-gravity waves // Canad. J. Phys. 1970. V. 48. № 12. P. 1458—1471.
7. Григорьев Г. И. Преломление акустико-гравитационных волн в слое с линейным профилем температуры // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1976. Т. 12. № 1. С. 100—103.
8. Schmidlin F. J. Repeatability and measurement uncertainty of the United States meteorological rocketsonde // Handbook for MAP. Urbana, University of Illinois. 1981. V. 2. P. 10—20.

Нижегородский государственный
технический университет

Поступила в редакцию
07.12.94
После доработки
16.08.95

УДК 550.388.2

© 1996 г. А. М. Гоков, А. И. Гритчин

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОШУМОВ В ДИАПАЗОНЕ 2—4 МГц ВО ВРЕМЯ УДАЛЕННЫХ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С помощью метода частичных отражений исследован эффект землетрясений во временных характеристиках радиошумов на частотах $f = 2—4$ МГц в зависимости от мощности, удаленности от пункта наблюдения, места (под водой, на суше) и глубины землетрясения.

Изучение электромагнитных явлений, связанных с сейсмической активностью, является актуальной задачей. За последние два десятилетия неоднократно наблюдались и анализировались эффекты возмущений естественного электромагнитного поля Земли в периоды землетрясений. Среди них следующие эффекты: свечение атмосферы [1]; квазистационарные возмущения атмосферного электрического потенциала [2]; усиление интенсивности электромагнитного излучения на расстояниях до тысяч километров от эпицентра (см., например, [3, 4]); изменения критических частот и высотных профилей концентрации электронов N в E - и F -областях ионосферы [3—6]. Известна также реакция ионосферы на воздействие акустико-гравитационных волн, возникающих при землетрясениях [6, 7]. Широко изучается проникновение низкочастотных и очень низкочастотных электромагнитных полей от сейсмических источников в ионосферу и магнитосферу (см., например, [8, 9]). В работе [10] по измерениям методом частичных отражений впервые обнаружено увеличение в несколько раз интенсивности радишумов на частотах $f = 2—4$ МГц во время (в течение примерно 3—5 мин) некоторых сильных удаленных землетрясений. В настоящей работе на базе данных, полученных в Харьковском госуниверситете методом частичных отражений во время более 180 землетрясений разной интенсивности, изучено поведение радишумов на частотах $f = 2—4$ МГц в эти периоды.

Экспериментальная техника и методика исследований

Измерения частично отраженных сигналов и радишумов выполнены на аппаратуре [11] вблизи г. Харьков ($\varphi = 49,5^\circ N$) в период 1983—1994 гг. Основные параметры комплекса: рабочие частоты $f = 2—4$ МГц, длительность зондирующих импульсов $\tau_0 = 25$ мкс с частотой повторения $F = 1—10$ Гц. Амплитуды ${}^n A_{o,n}$ радишумов (2—6 выборки, которые производились между излучением зондирующих импульсов) и частично отраженных сигналов $A_{o,n}$ обыкновенной «о» и необыкновенной «и» поляризации (с 15 высотных уровней, начиная с 45 или 60 км через 3 км) регистрировались на перфоленту или магнитную ленту для последующей компьютерной обработки. Длительности регистраций ${}^n A_{o,n}(t)$, выполненные в различные времена года и суток, были от 20 мин до суток и более. Для последующего анализа проведена частичная статистическая обработка временных массивов ${}^n A_{o,n}(t)$: путем усреднения ${}^n A_{o,n}$ за 30 или 60 с получены массивы (таблицы, графики) ${}^n A_{o,n}^2(t)$ (черта сверху — знак усреднения). Для каждой регистрации вычислены временные зависимости $a_{o,n}(t) = \frac{{}^n A_{o,n}^2(t)}{\langle {}^n A_{o,n}^2 \rangle}$ на интервале времени 20 мин (± 10 мин относительно момента землетрясения: здесь $\langle {}^n A_{o,n}^2 \rangle$ — среднее значение ${}^n A_{o,n}^2(t)$ на этом промежутке времени), которые использованы при анализе данных с помощью метода наложения эпох.

Общее число землетрясений, происшедших на суше и под водой с энергией $E \geq 10^{11}$ Дж, на удаленностях $R > (1—15) \cdot 10^3$ км и глубине $h = 1—100$ км, составило более 180, из них с $E \geq 10^{12}$ Дж (магнитуда по шкале Рихтера $M \geq 5$) — 115. Сведения о землетрясениях взяты из Каталогов землетрясений, издаваемых МЦД РАН.

Анализ и обсуждение экспериментальных результатов

Проанализированы изменения экспериментальных значений ${}^n A_{o,n}(t)$ во время 65 землетрясений с энергией $E < 10^{12}$ Дж, происшедших на различных удаленностях R от пункта наблюдений на суше и под водой при глубине землетрясений $h \geq 1—100$ км. Изменение интенсивности радишумов (увеличение ${}^n A_{o,n}(t)$ в несколько раз) отмечено в 6 случаях ($R \leq 10^3$ км, $h \leq 40$ км, $M = 4,5—4,8$), что составило менее 10% (землетрясения произошли на суше).

Рассмотрим экспериментальные данные, полученные при землетрясениях с $E \geq 10^{12}$ Дж ($\sim 10^{13}—10^{15}$ Дж). Пример временных зависимостей ${}^n A(t)$ во время землетрясений разной интенсивности, происшедших на суше, приведен на рис. 1. На рис. 2 изображены временные зависимости $\langle a_{o,n}(t) \rangle$ интенсивности радишума, нормированные на свое среднее значение за сеанс в 20 мин во время землетрясений. Момент землетрясения отмечен стрелкой. При построении зависимости $\langle a_{o,n}(t) \rangle$ использован метод наложения эпох, число реализаций $a_{o,n}(t)$ составило 115 (82 землетрясения на суше, остальные — под водой). Видно, что в момент землетрясения (примерно за 1 мин до и 2—4 мин после) имеет место увеличение $\langle a_{o,n}(t) \rangle$ (${}^n A_{o,n}(t)$). Отметим, что длительность фронтов во «всплесках» (возрастании) ${}^n A_{o,n}(t)$ составляет $\sim 10—30$ с. Такие возмущения в околоземной плазме, приводящие к наблюдаемому изменению ${}^n A_{o,n}(t)$, могут инициироваться высыпанием высокоэнергетических частиц вследствие изменения геоэлектрических полей, вызываемого землетрясением.

С другой стороны, хорошо известно, что при определенных условиях в плазме возбуждаются магнитогидродинамические (МГД) волны [12—13]. Их скорость V равна альвеновской V_A . Для ионосферы и магнитосферы $V_A \sim 10^2—10^4$ км/с. При $R \sim 10^4$ км время запаздывания отклика составит $\Delta t \sim 100—1$ с. Таким образом, с помощью этих волн могут переноситься возмущения, которые, вероятно, регистрировались нами в изменениях ${}^n A_{o,n}(t)$. Если предположить этот механизм передачи возмущения, то можно объяснить увеличение $\langle a_{o,n} \rangle$ в течение 3—4 мин после землетрясения различными задержками Δt (при одинаковых V) при разных удаленностях R от места землетрясения.

В таблице приведены количественные данные об изменениях интенсивности радишумов в

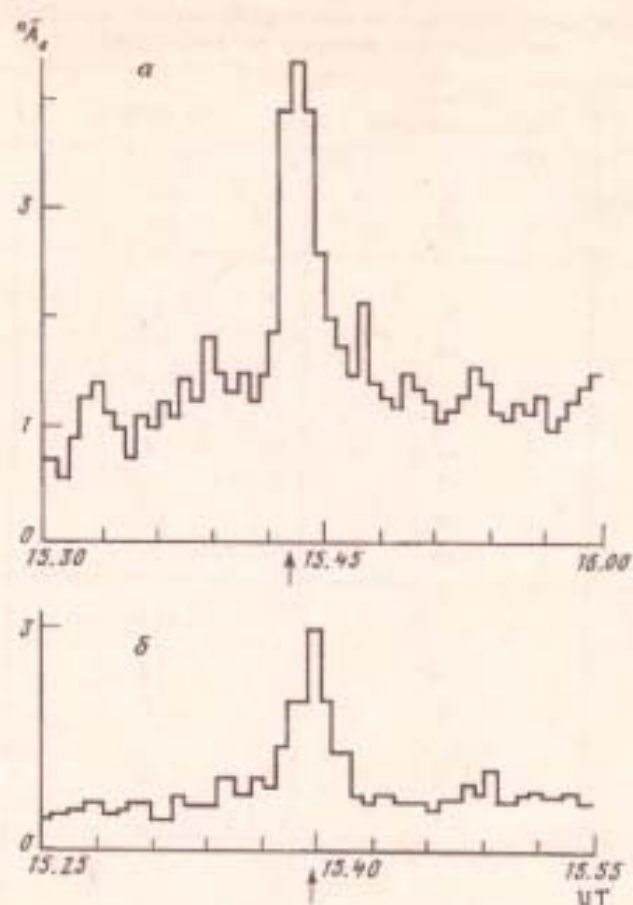


Рис. 1. Временные зависимости усредненных за 1 мин амплитуд радиозумов по время сильных удаленных землетрясений (момент землетрясения отмечен стрелкой): *a* — 31 августа 1984 г., $\varphi = 17,97^\circ \text{ S}$, $\lambda = 172,5^\circ \text{ E}$, $h = 33 \text{ км}$, $E = 10^{14} \text{ Дж}$, $f = 2,31 \text{ МГц}$; *b* — 29 сентября 1986 г., $\varphi = 10,6^\circ \text{ N}$, $\lambda = 57,1^\circ \text{ E}$, $h = 3 \text{ км}$, $E = 5 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$, $f = 2,2 \text{ МГц}$

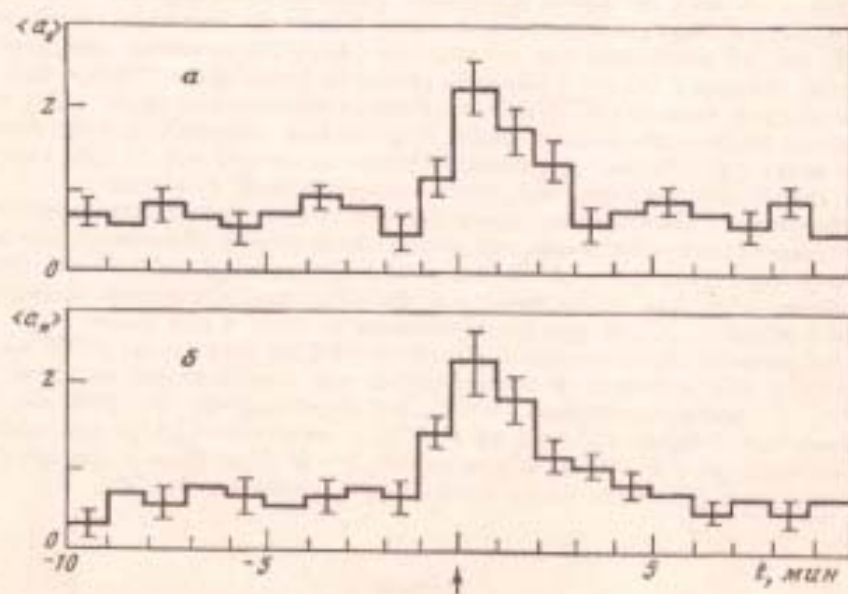


Рис. 2. Временные зависимости интенсивности радиозума для обыкновенной (*a*) и необыкновенной (*b*) поляризации, нормированных на свое среднее за сеанс в 20 мин во время землетрясений (момент землетрясения отмечен стрелкой) и полученные наложенном эпюх

Количественные характеристики реакции радионумеров диапазона 2—4 МГц на удаленные мощные землетрясения

Событие «да»: + «нет»: —	Общее число событий	на суше	под водой
+	58	49	9
-	57	33	24
<hr/>			
$h_s > 50$ км			
+	8	4	4
-	16	9	7
$h_s < 50$ км			
+	50	45	5
-	41	24	17
$h_s < 10$ км			
+	18	17	1
-	15	7	8
<hr/>			
$R \leq 1000-3000$ км,			
$h_s < 50$ км			
+	10	10	—
-	3	3	—
$h_s > 50$ км			
+	1	—	1
-	1	1	—
<hr/>			
$R > 3000$ км			
$h_s < 50$ км			
+	39	36	3
-	40	21	19
$h_s > 50$ км			
+	7	4	3
-	14	7	7

диапазоне частот 2—4 МГц во время удаленных мощных землетрясений. Наличие «выскачка» (увеличения) ${}^A A_{0,n}(t)$ в момент землетрясения отмечено знаком «+», отсутствие — знаком «-». Видно, что в общем случае (когда учитывались регистрации ${}^A A_{0,n}(t)$, полученные при землетрясениях на суше и под водой) реакция в ${}^A A_{0,n}(t)$ отмечается немногим более, чем в 50% случаев (50,4%). При землетрясениях на суше «выскачка» в ${}^A A_{0,n}(t)$ наблюдается сравнительно часто: ~60% случаев, а при землетрясениях под водой — значительно реже: 27% случаев. Аналогичная классификация данных проведена для мелко- ($h < 50$ км) и глубокофокусных землетрясений ($h > 50$ км), а также для поверхностных ($h < 10$ км) землетрясений. Результаты приведены в таблице.

Для мелкофокусных и поверхностных землетрясений на суше вероятность появления возмущения в ${}^A A_{0,n}(t)$ («выскачка») существенно выше, чем для глубокофокусных. И наоборот, при землетрясениях под водой возмущения в ${}^A A_{0,n}(t)$ в 1,5—3 раза чаще наблюдались при $h > 50$ км, чем при $h < 50$ км и $h < 10$ км. Кроме того, для глубокофокусных землетрясений характерна примерно одинаковая вероятность возмущений в ${}^A A_{0,n}(t)$ при землетрясениях на суше и под водой.

Отдельно рассмотрены землетрясения с $R \leq 1000-3000$ км (для случая $h > 50$ км данных почти нет) и $R > 3000$ км (см. таблицу). В первом случае для землетрясений на суше вероятность W возмущений ${}^A A_{0,n}(t)$ достаточно высока: ~77%. Во втором случае ($R > 3000$ км, $h < 50$ км) W несколько меньше для событий на суше ($W = 63\%$) и мала ($W = 13,6\%$) для землетрясений под водой. Для землетрясений с $h > 50$ км в этом случае $W = 35\%$, на суше и под водой. В целом для $R > 3000$ км вероятность появления возмущений ${}^A A_{0,n}(t)$ составляет $W < 50\%$.

Выводы

1. При землетрясениях с энергией $E < 10^{12}$ Дж изменения во временном ходе ${}^A A_{0,n}$ наблюдаются редко (< 10% случаев).
2. При землетрясениях с $E \geq 10^{12}$ Дж, происходящих как на суше, так и под водой, в момент

землетрясения и в течение 2—4 мин после него наблюдается резкое увеличение в несколько раз уровня радиопомех на частотах $f = 2—4$ МГц с вероятностью $W = 30—77\%$ (для различных условий).

3. Вероятность появления возмущения во времени ходе "А_с" во время сейсмического толчка при землетрясениях на суше в 1,5—4 раза больше, чем при подводных землетрясениях.

4. Один из возможных механизмов переноса возмущений от землетрясений на глобальные расстояния — МГД-волны, которые могут возбуждаться и распространяться в ионосферной плазме со скоростью $V \sim 100$ км/с.

В заключение считаем приятным долгом поблагодарить Н. А. Сергееву за помощь в получении сведений о землетрясениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитные предвестники землетрясений/Сб. под ред. Садовского М. А. М.: 1982. 89 с.
2. Банчиковский В. Ф. Изменения градиента электрического потенциала атмосферы как один из возможных предвестников землетрясений//Тр. Геофиз. ин-та. 1954. № 25. 192 с.
3. Голберт М. Б., Моргунов В. А., Аронов Е. Л. О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности//Дока. АН СССР. 1979. Т. 248. № 5. С. 1077.
4. Голберт М. Б., Гершензон И. И., Гурфельд И. Л. и др. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу/Препринт ИФЗ АН СССР. 1981. № 12. 18 с.
5. Липеровский В. А., Алимов О. А., Голберт М. Б. и др. Исследование F-области ионосферы перед землетрясением//Изд. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 12. С. 77.
6. Егоров Д. А., Елизарьев Ю. П., Новиков В. М. и др. Эффекты сильных землетрясений в ионосфере Земли//Геоматематика и аэронавтика. 1990. Т. 30. № 4. С. 680.
7. Гарман К. П., Гогов А. М., Гритчин А. И. и др. Исследование реакции нижней ионосферы на удаленные мощные землетрясения//Радиотехника. Харьков. 1990. Вып. 95. С. 52.
8. Молчанов О. А. О проникновении низкочастотных электромагнитных полей от сейсмических источников в магнитосферу Земли/Препринт ИЗМИР АН СССР. 1988. № 56 (810). 37 с.
9. Даркина В. И., Мигулин В. В., Молчанов О. А. и др. Статистические особенности возбуждения низкочастотных излучений в верхней ионосфере над районами землетрясений/Препринт ИЗМИР АН СССР. 1987. № 16 (705). 17 с.
10. Гогов А. М., Гритчин А. И., Дорохов В. Л. и др. О влиянии возмущений околоземной плазмы на параметры зондирующих частично отраженных сигналов//Тез. докл. Всес. конф. «Физика космической плазмы». Ерван. 1989. С. 134.
11. Гритчин А. И., Дорохов В. Л., Концевая Л. Г. и др. Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений//Вест. Харьк. ун-та. Радиофизика и электроника. 1988. № 318. С. 52.
12. Руденко Г. В. Возбуждение ионосферного МГД-волновода подземными токами в зоне подготовки землетрясений//Геоматематика и аэронавтика. 1985. Т. 25. № 5. С. 799.
13. Овчинников А. О. Аналитический расчет возбуждения ионосферного МГД-волновода магнитным диполем//Геоматематика и аэронавтика. 1987. Т. 27. № 5. С. 778.

Харьковский государственный
университет

Поступила в редакцию
27.12.94
После доработки
19.06.95

УДК 551.510.532

© 1996 г. С. И. Каллов, Н. В. Смирнова

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, ВОЗНИКШЕГО ПРИ ЗАПУСКЕ СИСТЕМЫ «СПЕЙС ШАТТЛ», НА СТРАТОСФЕРНЫЙ ОЗОН

Предложен новый механизм воздействия запусков ракет на стратосферный озон, связанный с ослаблением УФ-излучения при его прохождении через долгоживущее искусственное образование, возникающее на больших высотах. Показано, что в таких условиях должен наблюдаться рост O_3 .

1. При движении ракеты через стратосферу высокотемпературный факел ракетного двигателя и возникающая головная ударная волна, а также продукты сгорания толкающих установок, распространившиеся от траектории полета на большие расстояния, приводят к разрушению озона O_3 . С разной степенью полноты для жидкотопливных и твердотопливных ракет подобного рода воздействия