

Регистрация инфразвука от Витимского болида 24 сентября 2002 г.

О. И. Шумилов, Е. А. Касаткина, Е. Д. Терещенко, С. Н. Куличков*, А. Н. Васильев

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, 184209 Апатиты, Россия

*Институт физики атмосферы РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 24 декабря 2002 г.

Приводятся результаты экспериментального обнаружения инфразвукового сигнала от взрыва в атмосфере болида 24 сентября 2002 г. в районе р. Витим, Иркутская обл. (57.9N, 112.9E). Инфразвуковой сигнал был зарегистрирован тремя пространственно разнесенными микробарографами, принадлежащими Полярному геофизическому институту (ПГИ) КНЦ РАН, Апатиты (67.6N, 33E), на расстоянии 4000 км от источника. Акустико-гравитационный сигнал в высоких широтах от падения метеорита на таком расстоянии зафиксирован впервые в России.

PACS: 96.50.Kr

В ряде работ исследовались процессы генерации и распространения акустико-гравитационных волн, возникающих при вторжении в атмосферу метеорных тел [1–5]. Частота появления наиболее крупных из них размером 1–10 м, образующих явление болида, не превышает, в среднем, 1 раза в год по данным искусственных спутников Земли (ИСЗ) [6]. Такой метеорит, как Тунгусский, сталкивается с Землей не чаще одного раза в 1000 лет [6]. Характер волнового излучения зависит от количества выделяемой в атмосферу энергии и от параметров атмосферы, что позволяет по изменениям атмосферного давления на записях микробарографов оценить массу метеорного тела [1, 2] и сделать вывод о существовании волновода в атмосфере. Формирование атмосферных волноводов на различных высотах, определяемых градиентами температуры и скорости ветра [7], а также эффект сверхотражения [8] позволяют инфразвуковому сигналу распространяться на расстояния в сотни и тысячи километров от источника.

В настоящей работе приводятся результаты предварительного анализа записи инфразвукового сигнала от вторжения Витимского болида 24 сентября 2002 г., зарегистрированного микробарографами ПГИ КНЦ РАН на расстоянии 4000 км от источника. Согласно информации, предоставленной Институтом солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН, в районе р. Витим, в нескольких десятках километров от населенного пункта Бодайбо Иркутской области, упал крупный космический объект (предположительно, метеорит). Падению небесного тела предшествовал взрыв на высоте 30 км от поверхности Земли, зафиксированный американскими ИСЗ в 16:49 UT 24 сентября 2002 г. По свидетельствам очевидцев, ночное небо прочертила огромная

падающая звезда, рухнувшая в сопки. Ослепительная вспышка на несколько мгновений осветила тайгу ярким, как будто электрическим, светом, после чего прогремел взрыв такой силы, что на несколько десятков километров от места падения объекта ощущались колебания почвы, напоминающие землетрясение.

Энергия и координаты места вторжения в атмосферу некоторых болидов по данным ИСЗ США [6]

Дата	Время, UT	Координаты	E (Дж.)
7.05, 1991	23:04	50N, 15W	$5 \cdot 10^{10}$
15.06, 1994	00:03	46N, 73W	$1.3 \cdot 10^{10}$
9.10, 1997*	18:47	32N, 106W	$1.9 \cdot 10^{11}$
16.08, 1999*	05:18	35N, 107W	$3.8 \cdot 10^{10}$
18.01, 2000*	16:43	60N, 135W	$1.1 \cdot 10^{12}$
18.02, 2000*	09:26	1S, 109E	$3.6 \cdot 10^{12}$
6.05, 2000*	11:54	50N, 18E	$2.5 \cdot 10^{10}$
25.08, 2000*	01:12	15N, 106W	$1.4 \cdot 10^{12}$
23.04, 2001*	06:12	28N, 134W	$4.6 \cdot 10^{12}$
9.03, 2002*	01:20	7N, 147W	$2.2 \cdot 10^{11}$
6.06, 2002*	04:28	34N, 21E	$3.8 \cdot 10^{12}$
25.07, 2002*	15:58	29S, 47E	$2.5 \cdot 10^{11}$
24.09, 2002*	16.49	57.91N, 112.9E	$8.6 \cdot 10^{11}$

В таблице приведены некоторые данные ИСЗ США о болидах (координаты, энергия излучения) с 1991 г. [6]. Для большинства из них был зафиксирован приход инфразвукового сигнала по данным мировой сети инфразвукометрических станций [5, 6]. Из таблицы видно, что Витимский болид относится к числу наиболее крупных, из зафиксированных в последнее время.

Регистрация инфразвукового сигнала осуществлялась посредством трех пространственно разнесенных микробарографов (МВ), входящих в состав Вы-

сокоширотного измерительного комплекса ПГИ КНЦ РАН [9]. Измерительный комплекс состоит из трех пространственно разнесенных МВ для измерения колебаний атмосферного давления в диапазоне частот от 0.0001 до 1 Гц, датчиков электрического поля и установки для измерения электропроводности воздуха. Компьютерная система сбора данных позволяет получать информацию с частотой опроса 5 раз в секунду.

На рис.1 приведены записи трех МВ за 24 сентября 2002 г. Отчетливо видно, что в $\sim 22 : 20$ UT на всех трех датчиках был зафиксирован приход инфра-

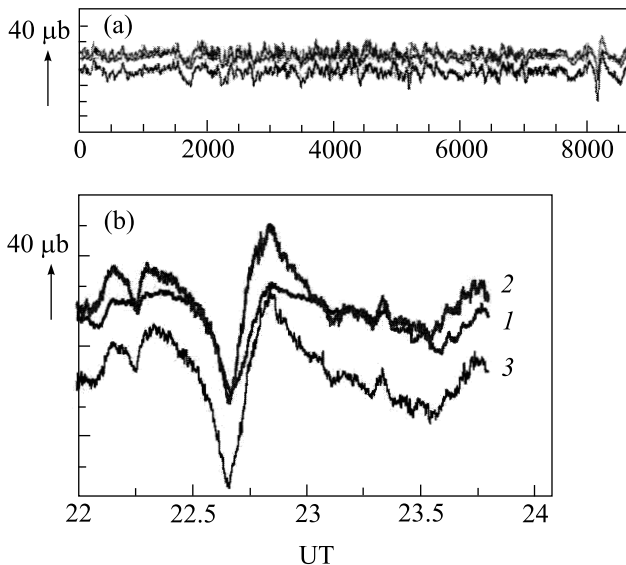


Рис.1. Регистрограмма записей микробарографов в обсерватории Апатиты 24 сентября 2002 г.: (а) суточная запись; (б) интервал времени 22:00–24:00 UT

звукового сигнала с максимумом амплитуды $\Delta P \cong 45$ дн/см². Этот сигнал отчетливо виден даже на фоне постоянно наблюдаемых в данном пункте подветренных волн, регистрация которых обусловлена близостью горного массива Хибин [9].

На рис.2 приведена схема взаимного расположения трех МВ. При помощи метода разнесенного приема по измеренным разностям времени прихода сигналов были определены скорость горизонтального следа и углы прихода волн, которые в нашем случае составили 247 м/с и 117° (относительно направления на север), соответственно. Зная время прихода сигнала ($\sim 22 : 20$ UT) и расстояние до источника (~ 4000 км), можно оценить среднее значение горизонтальной проекции скорости распространения сигнала: $V = R/T = 209$ м/с. Эта величина, а также азимут источника, вычисленный по географическим

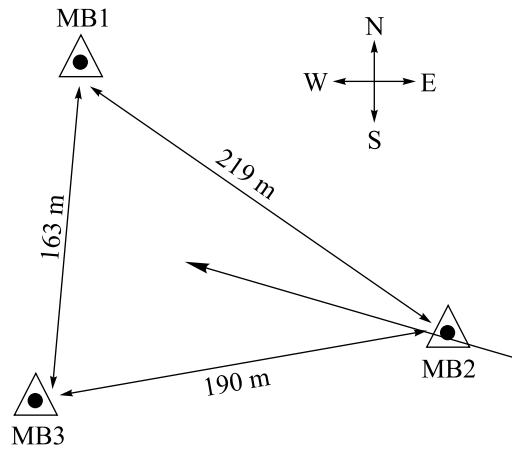


Рис.2. Схема взаимного расположения микробарографов (МВ)

координатам (113°) согласуются с величиной горизонтального следа и направлением прихода сигнала, вычисленным по данным трех МВ. Такие значения скорости характерны для термосферного (на высоте > 85 км) распространения сигнала [7], которое может быть обусловлено западной циркуляцией воздушных масс на стратосферных высотах на данной широте и в это время года.

Для оценки массы боида были использованы соотношения, связывающие энергию импульсного источника E_0 и возмущение давления ΔP , регистрируемое на расстоянии R от источника излучения [1, 10]. Согласно [1],

$$\Delta P \approx \frac{(\gamma - 1)E_0(R - ct) \exp\left(\frac{-z/2H - (ct - R)^2}{R_0^2 \sin^2 \theta + L^2 \cos^2 \theta}\right)}{2\pi^{3/2}R(R_0^2 \sin^2 \theta + L^2 \cos^2 \theta)^{1/2}}, \quad (1)$$

где c – скорость звука, H – шкала высоты однородной атмосферы, L – длина метеорного следа, γ – отношение удельных теплоемкостей ($\gamma = 1.4$), θ – угол между направлением инфразвукового сигнала и осью метеорного следа, R_0 – средний радиус метеорного следа:

$$R_0 = M_0^{1/3} V_0^2 / 2(2gHQ_0)1/2\rho_0^{1/3}, \quad (2)$$

где M_0 – масса метеора, V_0 – скорость метеора (11.2 км/с $< V_0 < 73.2$ км/с), Q_0 – скрытая теплота испарения ($Q_0 = 8 \cdot 10^{10}$ эрг/г⁻¹ [1]).

Предположив, что регистрируемый инфразвуковой сигнал распространяется в плоскости, перпендикулярной оси следа метеора ($\theta = \pi/2$), из (1) следует [1]

$$\Delta P \approx (\gamma - 1)E_0 / 2\pi^{3/2}RR_0^2. \quad (3)$$

Подставляя $\Delta P = 45$ дн/см² и среднюю скорость $V_0 = 30$ км/с в (3), получаем $M_0 = 6$ т. Эта величина

является нижним пределом, так как соотношение (3) получено для сигнала, распространяющегося без отражений [1]. В нашем случае инфразвуковой сигнал при распространении испытал многократное отражение от стенок волновода [7].

В [10] было предложено следующее эмпирическое соотношение, связывающее энергию взрыва E_0 (кТ тнт) и возмущение давления ΔP (кПа) на расстоянии R (км):

$$\Delta P = 11.8 E_0^{0.4} R^{-1.2}; \quad (4)$$

1 кТ тнт (килотонна тротилового эквивалента) = $4.185 \cdot 10^{12}$ Дж.

Из (4) для предельных значений скоростей $V_0 = 11.2$ км/с и $V_0 = 73.2$ км/с получаем $M_0 = 38$ т и $M_0 = 1$ т, соответственно.

В таблице приведены значения энергии излучения болида, полученные по оптическим данным ИСЗ. Энергия, выделяемая на оптическое излучение, составляет от 5 до 10% от общей энергии болида [6]. В нашем случае оптическая энергия $E = 8.6 \cdot 10^{11}$ Дж. Предполагая, что эта величина составляет 10% от общей энергии E_0 , получаем значения массы болида для двух предельных значений скорости – $M_0 = 142$ т и $M_0 = 3.5$ т. Эти значения находятся в достаточном соответствии с оценками массы, полученными из амплитуды инфразвукового сигнала.

Анализ данного события подтверждает полученные ранее факты о том, что яркие болиды большой массы могут создать мощное импульсное излучение акустико-гравитационных волн в атмосфере Земли, которое может быть зафиксировано микробарографами на расстоянии в несколько тысяч километров.

Настоящая работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований # 01-05-64850 и грантом INTAS # 31008.

1. Г. С. Голицын, Г. И. Григорьев, В. П. Докучаев, Изв. РАН (ФАО) **13**, 926 (1977).
2. D. O. ReVelle, J. Geophys. Res. **81**, 1217 (1976).
3. B. A. McIntosh, M. D. Watson, and D. O. ReVelle, Can. J. Phys. **54**, 655 (1976).
4. L. G. Evers and H. W. Naak, Geophys. Res. Lett. **28**, 41 (2001).
5. P. G. Brown, D. O. ReVelle, E. Tagliaferri, and A. R. Hildebrand, Meteoritics & Planetary Science **37**, 661 (2002).
6. P. Brown, R. E. Spalding, D. O. ReVelle et al., Nature **420**, 294 (2002).
7. С. Н. Куличков, Изв. РАН (ФАО) **28**, 339 (1992).
8. Н. Н. Романова, И. Г. Якушкин, Изв. РАН (ФАО) **31**, 163 (1995).
9. О. И. Шумилов, Е. А. Касаткина, Е. Д. Терещенко и др., Изв. РАН (ФАО) **38**, 471 (2002).
10. J. W. Reed, J. Geophys. Res. **77**, 1623 (1972).