

Г.И. Сокол, В.Ю. Котлов, Р.С. Кучер

## **ИНФРАЗВУК В АТМОСФЕРЕ КАК ИНФОРМАЦИОННЫЙ ФАКТОР О ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЯХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФАХ**

*Аннотация. В статье рассматривается роль инфразвука как информационного фактора во взаимодействии между собой космической погоды, климата и биосферы Земли, о тайфунах, торнадо и землетрясениях в коре Земли. Разработаны алгоритм и программа для расчета характеристик инфразвуковых волн в атмосфере, которые генерируются при извержении вулканов.*

*Ключевые слова: акустический сигнал, инфразвук, регистрирование, информация, космические аппараты.*

Состояние биосферы неразрывно связано с климатическими изменениями на планете Земля, с проявлением природных и техногенных явлений, часто проявляющихся как катастрофы для всего живого. Начало космической эры позволило проводить наблюдение за состоянием планеты Земля более глобально. Важную роль здесь играет инфразвук как акустический сигнал (АС). Этим определяется актуальность выбранной темы для исследований.

Целью настоящей работы стало определение роли инфразвука как информационного фактора во взаимодействии между собой космической погоды, климата и биосферы Земли.

### **АС инфразвук и взаимосвязь биосферы Земли с атмосферными, сейсмическими и космическими явлениями**

В последние десятилетия на основе наблюдений Земли со спутников были проведены многочисленные исследования солнечного излучения, землетрясений, облачности, потоков космических частиц, полярных сияний, ионизации атмосферы. Почти все эти явления сопровождаются излучением инфразвука или изменением уровня его интенсивности в атмосфере Земли.

К настоящему времени проведены научные исследования по специфическому влиянию низкочастотных и инфразвуковых колеба-

ний на живые организмы [1, 2] же была сделана попытка [3] связать взаимодействие факторов космической погоды с состоянием организмов людей через распространение инфразвука в атмосфере.

Полный анализ информационных связей на основе инфразвука живого мира биосферы с характеристиками природных и техногенных катастроф или факторов космической погоды невозможен без специальных исследований. Здесь может быть использована регистрация уровней излучений инфразвука как изменения состояния нейтральной компоненты атмосферы Земли космическими аппаратами [4].

### **Инфразвук как АС метеорологических и сейсмических неустойчивостей**

Естественными источниками инфразвука являются метеорологические, сейсмические и вулканические явления. Источниками инфразвука, связанными с человеческой деятельностью, являются взрывы, орудийные выстрелы, ударные волны от сверхзвуковых самолётов, акустическое излучение реактивных двигателей и др. Такие явления как пожары в лесных массивах могут быть классифицированы как *природные катастрофы*. Явления такого рода сопровождаются излучениями мощного инфразвука в атмосферу Земли [5].

Инфразвук с высоким уровнем интенсивности (120 дБ и более) оказывает вредное влияние на человеческий организм [1, 6] Ещё более вредными являются инфразвуковые вибрации, поскольку при их воздействии могут возникать опасные резонансные явления отдельных органов.

Инфразвуковые волны, излучаемые при подводных извержениях, позволяют предсказать возникновение цунами. Для выявления волн цунами в открытом океане используются придонные датчики гидростатического давления. Систему предупреждения, которая базируется на датчиках со спутниковой связью, установленных на приповерхностных буях, разработаны в США (DART – Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis). Информационным фактором в регистрации таких явлений служит инфразвук [2].

Инфразвуковые волны в нейтральной атмосфере связаны с ионизированной частью верхней атмосферы. Появление в тропосфере при ее циркуляции инфразвуковых волн и влияние этих явлений на погоду описано в монографии украинских ученых О.К. Черемных, И.О. Кременецкого [7]. В ионосфере в зоне полярных сияний появ-

ляются струйные токи, которые весьма импульсивны и потому могут приводить к генерации разнообразного спектра инфразвуковых волн с периодами от секунд до нескольких часов. Необходимо выяснить, как увеличение амплитуд инфразвуковых волн и смена направления их движения взаимодействует с ионизацией атмосферы и влияет на здоровье человека.

Уже давно источником разогревания верхней атмосферы представляются все виды инфразвуковых колебаний, включая и внутренние гравитационные волны.

Вибрации земной коры генерируют инфразвуковые волны, которые во время подъема вверх, вызывают в облачности вибрации водяных капель с инфразвуковой частотой [2]. Этот процесс инициирует выпадение осадков, повышает влажность во время землетрясения. Помимо этого, инфразвук усиливает чувство тревоги и опасности перед землетрясением и во время него у населения, птиц и животных [6].

#### **Инфразвук как АС при извержениях вулканов**

Извержения вулканов с различными типами активности и интенсивностью сопровождаются большим разнообразием физических процессов, в результате которых возникают в атмосфере волновые возмущения широкого диапазона частот – от 0,001 до 1500 Гц. Все акустические волновые возмущения в атмосфере, возникающие во время излияния лавы на дневную поверхность, её дегазации, выноса раскаленного пирокластического материала в атмосферу, объединяются в термин «акустика вулкана» [8, 9]. В широком диапазоне частот в «акустике вулкана» особое место в ближней зоне регистрации занимают акустические сигналы (АС) с частотой  $f = 0,5$  ч 10 Гц, которые возникают во время дегазации магмы при ее излиянии на поверхность Земли и несут информацию о динамике извержения. Изучение АС этого диапазона частот представляет большой интерес как с точки зрения понимания физики взрывного процесса, так и для разработки методики мониторинга вулканической активности.

Наблюдения на вулканах осложняются тем, что извержения – не планируемый эксперимент и почти всегда начинаются неожиданно. В то же время, каждое извержение представляет уникальное природное явление и инструментальные наблюдения, позволяющие зафиксировать его динамику, очень ценны. Около пятидесяти процентов инфразвука в атмосфере регистрируется в виде взрывной волны.

Такие импульсы распространяются на сотни километров, достигая высоты 80 км в атмосфере. Потому мониторинг извержений действующих вулканов дистанционными методами имеет большое значение в том числе и для обеспечения безопасности полетов авиации.

### **Инфразвуковые волны в атмосфере Земли. Расчет величины звукового давления в сферической инфразвуковой волне**

Длина инфразвуковых волн достаточно велика по сравнению с характерными размерами источника излучения, что важно помнить при моделировании распространения инфразвука. При генерации инфразвука частотой 1 Гц длина волны будет составлять 340 м, а при частоте инфразвука 20 Гц – 17 м. Исходя из этого, можно сделать вывод, что поля со сферическим фронтом волны являются наиболее распространёнными акустическими полями при распространении инфразвука. Сферичность фронта акустического поля низкой частоты подразумевает сильное уменьшение величины звукового давления с расстоянием по гиперболическому закону, что представляет собой значительную величину.

Для моделирования распространения инфразвука составлены алгоритм и программа [9]. Расчеты проведены для условий идеальной среды. Было принято, что атмосфера, где распространяются инфразвуковые волны, однородна, слои отсутствуют, температура составляет 20 градусов по Цельсию, и скорость звука в воздухе при этом составляет 340 м/с. Программа написана на языке Java и состоит из отдельных сформированных циклов. Первый цикл предусматривает изменение частоты излучения от 1 до 20 Гц с шагом 1 Гц. Во втором цикле проводится расчет изменения звукового давления. Поскольку достоверными являются расчеты акустических характеристик в дальнем поле излучателя, которое начинается с расстояния от элемента излучения, который равен длине волны излучаемого звука, то введем начальное значение звукового давления  $p_1 = 0,02$  Па и далее пошагово будем изменять эту характеристику, каждый раз уменьшая ее в 10 раз. Расчеты в цикле проводятся до момента, когда изменение величины  $p_1$  по сравнению с начальным составит  $10^8$  раз.

В третьем и четвертом циклах проводятся подсчеты характеристик дальнего поля излучения. Расчет разбит на два цикла, поскольку поле излучателя имеет ограничения по расстоянию  $5 \cdot 10^3$  в метрах.

При этом в третьем цикле рассчитываются характеристики в пределах  $\lambda \leq r \leq 10\lambda$ , а в четвертом  $1 \cdot 10^3 \leq r \leq 5 \cdot 10^3$  м.

Акустические волны затухают в воздушной среде из-за наличия сдвиговой и объемной вязкостей, а также влияния теплопроводности.

С учетом затухания потенциал звукового поля волны [8] записывается так

$$\varphi = A \cdot e^{\alpha_1 x} \cdot e^{j(\omega t - kx)},$$

где коэффициент  $\alpha_1$  определяется по формуле Стокса

$$\alpha_1 = \frac{2\pi^2 f^2}{\rho c^3} \cdot \mu,$$

$\mu$  – коэффициент сдвиговой вязкости

$$\mu = 1,721 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{м}} \cdot c$$

Падение уровня звукового давления имеет следующий вид

$$N_R = 1,715 \cdot 10^7 \cdot \frac{f^2}{\rho c^3} \left[ \frac{4}{3} \mu + (\gamma - 1) \frac{\varepsilon}{C_p} \right],$$

где  $\gamma$  – удельный вес воздуха,

$\varepsilon$  – коэффициент теплопроводности,  $\varepsilon = 2,1 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{м г.град}} \right]$

$C_p$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Для расчета затухания инфразвука в атмосфере в частотном диапазоне от 1 до 30 Гц была составлена программа. В программу внесены в качестве постоянных величин. Рассчитан коэффициент затухания и величина затухания волны в дБ на километр относительно частоты инфразвука.

Анализ результатов расчета показал, что при начальном уровне звукового давления рядом с акустическим источником инфразвукового излучения в 160 дБ, мы имеем уровень звукового давления 148 дБ в дальнем поле при частоте излучения  $f = 20 \text{ Гц}$  на расстоянии длины волны от излучающего элемента, а на расстоянии  $1 \cdot 10^3$  м от излучателя уровень составляет 130 дБ. В то же время поле сферического излучателя может гарантировать этим уровням на тех же расстояниях 95 дБ и 80 дБ соответственно.

На рис. 1 и рис. 2 представлены результаты расчета по затуханию инфразвуковых волн в однородной атмосфере на инфразвуковых частотах (от 1 до 30 Гц).

При изменении уровня звукового давления в пределах от 80 до 180 дБ активная составляющая акустической мощности инфразвукового сферического излучателя меняется в пределах 0,0012 Вт 12,2 кВт. Установлено, что при сдвиге фаз между звуковым давлением и колебательной скоростью в дальнем поле можно не учитывать и считать их находящимися в фазе, если параметр близок к единице  $kR$ .

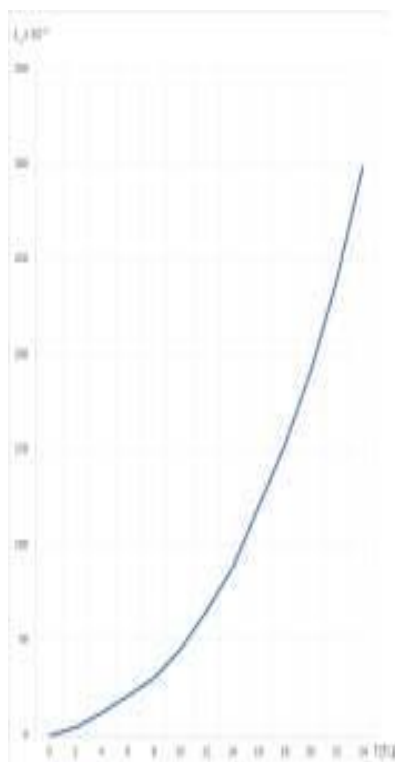


Рисунок 1 – Кривая изменения коэффициента затухания акустических волн на инфразвуковых частотах в зависимости от частоты

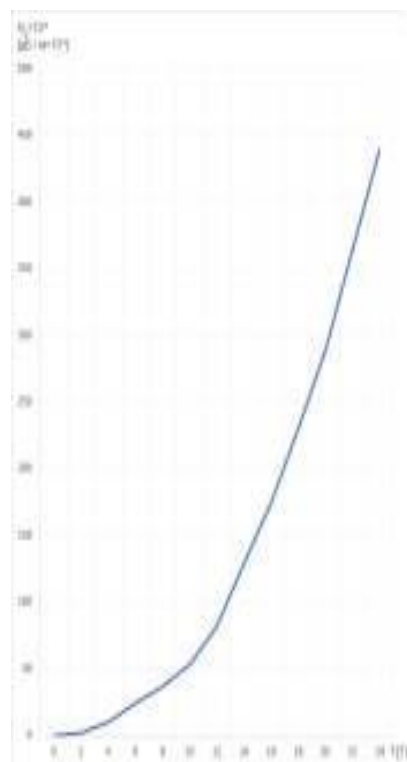


Рисунок 2 – Изменение падения уровня звукового давления в дБ на км на инфразвуковых частотах в зависимости от частоты

### Регистрирование инфразвука в атмосфере Земли космическими аппаратами

На современном этапе менее всего выяснены внутриатмосферные связи на уровнях ниже 200 км. Без их окончательного изучения трудно будет полностью разгадать и основы солнечно-земных причинно-следственных связей [10].

В 1980 году была основана Всемирная Программа Исследования Климата (ВПИК). Она ставит своей целью «анализ и прогноз изменчивости и изменений климатической системы Земли».

В работе [11] Сотрудниками Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» предложена космическая система «Ионосат» для мониторинга ионосферных проявлений сейсмической активности путем совместных согласованных космических и наземных наблюдений. Система позволит использовать космические технологии для мониторинга, прогноза и управления природными катаклизмами. В системе предусмотрена регистрация инфразвуковых волн в нейтральной части атмосферы Земли. Это позволит более точно установить связь между воздействием на биосферу проявлений космической погоды и изменчивостью климата Земли.

### **Заключение**

Проблема обнаружения и описания связи образования тайфунов, торнадо в атмосфере и землетрясений в коре Земли с биосферой может быть решена через распространение информационного фактора – инфразвука – в верхней и нижней атмосфере Земли.

В настоящее время велика необходимость создания систем, объединяющих космические и наземные наблюдения, которые точно фиксируют ключевые климатические переменные в масштабах от региональных до глобальных и устойчиво функционируют на протяжении десятилетий для определения климатических трендов и колебаний.

Разработаны алгоритм и программа для расчета характеристик инфразвуковых волн в атмосфере, которые применены к расчету характеристик инфразвуковых волн в атмосфере при извержениях вулканов, образования тайфунов, торнадо и землетрясений в коре Земли.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Сокол, Г.И. Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот – Д.: Промінь, 2000. – 136 с.
2. Galyna I. Sokol, Valeria L. Babenko, Vladislav Y., Kotlov, Lizaveta V. Nikiforova Infrasound: Multilevel Aspects / International / Journal of Modern Physics and Application. - Vol.3., №1, Publication Date: February 4, 2016, Pages: 14-18.

3. Негода А.А., Сорока С.А. Акустический канал космического влияния на биосферу Земли // Космічна наука і технологія. - 2001. - Т.16, № 5/6. - с. 85-93.
4. Galyna Sokol, Vladyslav Kotlov, Olexander Khorischenko, Angelika Davidova, Kristina Heti Using Spacecraft in Climate and Natural Disasters Registration / EGU General Assembly 2017, Geophysical Research: Abstracts. - Vol.19, EGU 2017 - PREVIEW, 2017 : EGU General Assembly 2017. EGU 2017 - 8691.
5. Sokol, G. Propagation of Infrasound in the Atmosphere of the Earth. / G. Sokol, E. Krylova // Вісник Дніпропетровського університету. Серія Ракетно-космічна техніка. - 2012. - т. 20, №4. - вип. 16, т.2. - С. 36 - 41.
6. Сокол Г.И., Крылова Е.Г. О роли инфразвука во влиянии космической погоды на климат и биосферу Земли / Вісник Дніпропетровського ун-ту: Серія «Ракетно - космічна техніка». - 2013. - т. 21, № 4, вип.16, т. 2 - С. 85-93.
7. Черемних, О.К. Космічна погода. Механізми і прояви / О.К. Черемних, И.О. Кременецкий - К.: Наук. думка, 2008. - 264 с.
8. Сокол Г.И., Котлов В.Ю. Моделирование распространения инфразвука при извержениях вулканов // Системи та процеси керування. - 2017. - №33 (2017). - С. 122 - 131.
9. Сокол Г.И., Котлов В.Ю. Алгоритм и программа для расчета распространения инфразвука при извержении вулканов / Матеріали ІХ-ої українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2017)», 28-31 серпня 2017р., Львов - Чанадієво, Україна. - С. 181-182.
10. Galyna Sokol Infrasound in the Atmosphere of the Earth / European Journal of Biophysics. - Vol.3, №1, 2015. - p.p.1-4. DOI:10.11648 / j. ejb. 20153001.11 IF 0.33.
11. Москалев, С.И. Космическая система «Ионосат» для мониторинга ионосферных проявлений сейсмической активности / А.Ю. Олейникова, Д.А. Галабурда, С.И. Москалев, Ю.А. Шовкопляс // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «ІФНТ». - 2013. - вип. 21. - С. 162 - 168.