

В. Ю. Котлов<sup>1</sup>, аспірант; Г. И. Сокол<sup>2</sup>, д.т.н., професор

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ИНФРАЗВУКОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ, ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ С НООСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

**En**

Infrasound as an element in communication between the characteristics of space weather, climate and biosphere of the Earth is considered. Infrasound is considered to be a factor, which is an informative parameter in the natural and man-made disasters registration. The satellites role increasing in the study of Earth's biosphere by recording the infrasound is emphasized.

A full analysis of the impact on the living world by infrasound during development of natural and man-made disasters or factors of space weather is impossible without special studies. It can help to check radiation levels of infrasound spacecraft. It determines the relevance of the present study.

To calculate the characteristics of infrasound acoustic field monopole an algorithm and a program written in the language Fortran-4 were developed. The program consists of individual generated cycles. Calculations are performed assuming that the atmosphere, with the infrasonic waves propagation, is homogeneous, layers are absent, the temperature is 20 degrees Celsius, and the sound velocity in the air in this case is 340 m/s.

Acoustic waves attenuation in the air occurred due to the presence of shear and bulk viscosity and also thermal conductivity impact.

If we neglect the thermal losses, and also consider that the bulk viscosity must be taken into account, as a rule, for high frequencies, then we can assume that the propagation loss of the traveling wave in the real environment is caused by the shear viscosity.

The aim of this work was to research methodology development of infrasound interaction of space weather, natural and manmade disasters with the Earth's noosphere.

A factor that has a significant impact on the infrasound vibrations in the atmosphere is a seismic activity. And it can be an external impact on the preparatory processes and the result of it. Currently, there is a great need for the creation of systems that combine space and ground-based observations that accurately capture key climate variables and stable functioning for several decades to determine climate variability and trends.

The method of interaction studies of space weather, natural and manmade disasters with the organisms of the noosphere of the Earth through the registration of infrasound is proposed.

Algorithms and software for calculations of acoustic infrasound field characteristics and decay in the atmosphere are developed. It was found that when  $r = 5\lambda$  phase shift between the sound pressure and vibrational velocity in the far field can be neglected and considered being in phase.

<sup>1</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

The results of these calculations confirmed that for the infrasonic wave propagation in the air the counting of viscous friction can't be produced.

For further studies of the effects of low-frequency acoustic vibrations on living organisms in natural disasters we should continue solving the problem of a new spacecraft creating for infrasonic wave registration.

**Ua**

Розглянуто інфразвук в якості сполучної ланки, яка здійснює зв'язок між характеристиками космічної погоди, кліматом і біосферою Землі. Інфразвук розглянуто як фактор, який є інформативним параметром у реєстрації природних і техногенних катастроф. Підкреслено, що необхідно посилення ролі космічних апаратів у дослідженнях біосфери Землі шляхом реєстрації інфразвуку.

## **Введение**

В 20-том веке возникла проблема обнаружения и описания связи солнечной активности с состоянием здоровья живых организмов. Академик В. И. Вернадский впервые ввел такое понятие как биосфера Земли [1]. Состояние биосферы неразрывно связано с климатическими изменениями на планете Земля, с проявлением природных и техногенных явлений, часто проявляющихся как катастрофы для всего живого. В годы жизни ученого еще не наступила эра использования космических аппаратов для регистрации природных и техногенных катастроф, а также изменений климата Земли. Начало космической эры позволило проводить наблюдение за состоянием планеты Земля более глобально.

В работах известных ученых В. И. Вернадского, А. Л. Чижевского были рассмотрены условия взаимодействия биосферы с атмосферными и космическими явлениями на основе их наблюдения с земной поверхности и по статистическим материалам. В последние десятилетия на основе наблюдений Земли со спутников были проведены многочисленные исследования солнечного излучения, землетрясений, облачности, потоков космических частиц, полярных сияний, ионизации атмосферы. Появился новый термин «Космическая погода». Сюда относится динамическая часть солнечно-земных связей, а по аналогии с земными процессами – более стационарная часть, часто называемая «Космический климат». Некоторые из составляющих «космической погоды» формируются под влиянием инфразвука в атмосфере. Почти все эти явления сопровождаются излучением инфразвука или изменением уровня его интенсивности.

К настоящему времени проведены научные исследования по специфическому влиянию низкочастотных и инфразвуковых колебаний на живые организмы [2 - 3]. Ранее уже была сделана попытка [4] связать взаимодействие факторов космической погоды с параметрами организмов людей через распространение инфразвука в атмосфере Земли.

Полный анализ воздействия на живой мир инфразвуком во время проявления природных и техногенных катастроф или факторов космиче-

ской погоды невозможен без специальных исследований. Здесь может помочь регистрация уровней излучений инфразвука космическими аппаратами. Это определяет актуальность настоящих исследований.

### **Постановка задачи**

Целью настоящей работы стала разработка методики исследований инфразвукового взаимодействия космической погоды, природных и техногенных катастроф с ноосферой Земли.

Необходимо исследовать, как влияет на здоровье человека солнечная активность, проявления природных и техногенных катастроф, используя при этом генерируемый инфразвук.

### **Аналитический обзор**

До сих пор к тематике космической погоды относили вопросы прогноза солнечной и геомагнитной активности, исследования воздействия солнечных факторов на технические (радиопомехи, радиационная обстановка и пр.) и биологические системы и людей. Взаимодействие инфразвуковых волн, генерируемых в атмосфере Земли во время землетрясений и распространяющихся в верхние слои атмосферы, с солнечным излучением изучалось Украинским институтом Космических исследований ГКАУ (А. А. Негодой, С. А. Сорокой и др.) [5]. Максимальные значения амплитуд инфразвука наблюдались в моменты снижения солнечной активности. На этом основании была выдвинута гипотеза, что уровень инфразвука в атмосфере зависит от галактических космических лучей. Известно, что солнечная активность и количество инфразвука в верхней атмосфере взаимосвязаны обратно пропорционально. Доказано влияние солнечной активности на здоровье человека.

Фактором, который оказывает значительное влияние на колебания инфразвука в атмосфере, является сейсмическая активность. Причём она может быть внешним воздействием на подготовительные процессы и их результатом. Связь между интенсивностью сейсмических процессов и солнечной активностью была обнаружена при анализе глобальной сейсмичности и 11-летних солнечных циклов. Влияние сейсмической активности на инфразвуковые колебания атмосферы является очень сложным процессом и сводится не только к поршневому излучению колеблющихся литосферных плит. Здесь необходимо учитывать разнообразные физико-химические процессы в литосфере и в атмосфере. Инфразвуковые колебания атмосферы могут порождаться газовыми выделениями из трещин литосферы при возрастании сейсмической активности, колебаниями литосферных плит, аэрозольными неоднородностями в атмосфере.

В настоящее время существует большая необходимость в создании систем, объединяющих космические и наземные наблюдения, которые точно фиксируют основные климатические переменные и стабильно функционируют несколько десятилетий для определения климатических колебаний и трендов.

В. И. Красовский предложил деление атмосферы на верхнюю и нижнюю и рассмотрел связь инфразвука с явлениями в этих частях атмосферы. В верхней атмосфере на высоте 80 – 85 км расположен звуковой канал, который насыщен инфразвуковыми волнами. Эти волны оказывают влияние на формирование серебристых облаков (рис. 1).



Рис. 1. Серебристые облака

Тонкие слои серебристых облаков обычно обладают достаточно подвижной и развитой волновой структурой, которая наглядно свидетельствует о существовании в верхних слоях атмосферы инфразвуковых волн самых разнообразных частот и амплитуд. Движения атмосферы в результате инфразвуковых колебаний трудно отличить от кратковременных ветров различных горизонтальных и вертикальных направлений, если для этой цели пользоваться только результатами одиночных вертикальных зондирований.

Серебристые облака никогда не проливаются осадками на Землю. Наиболее вероятными поставщиками инфразвука в верхнюю атмосферу считаются землетрясения и вулканические извержения. Эти процессы могут влиять на климат Земли путем формирования облачности над земной поверхностью в верхней атмосфере. Выше звукового канала плотность атмосферы снижается, что приводит к повышению амплитуды инфразвуковых волн. Поэтому инфразвуковые волны являются причиной раздувания атмосферы, что, безусловно, оказывает влияние на климат Земли. Инфра-

звуковые волны в нейтральной атмосфере распространяются в ионизированную часть верхней атмосферы.

Не стоит также забывать и об активности человека (табл. 1), который так же влияет на атмосферу посредством генерации инфразвуковых волн. Инфразвук генерируется, например, при движении автотранспорта, реактивных самолетов, ракет.

Вибрации земной коры генерируют инфразвуковые волны, которые во время подъема вверх вызывают в облачности вибрации водяных капель. 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.

*Таблица 1.*

Инфразвук от человеческой деятельности

| Источник инфразвука                                                  | Характерная частота инфразвука       | Уровни инфразвука                  |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Автомобильный транспорт                                              | Весь спектр инфразвукового диапазона | Снаружи 70-90 дБ, внутри до 120 дБ |
| Железнодорожный транспорт и трамваи                                  | 10 - 16 Гц                           | Внутри и снаружи от 85 до 120 дБ   |
| Промышленные установки аэродинамического и ударного действия         | 8 - 12 Гц                            | До 90-105 дБ                       |
| Вентиляция промышленных установок и помещений, то же в метрополитене | 3 - 20 Гц                            | До 75-95 дБ                        |
| Реактивные самолеты                                                  | Около 20 Гц                          | Снаружи до 130 дБ                  |

Если ранее говорилось, в основном, о совпадении резонансных частот человеческих органов с частотой колебаний инфразвука, то в настоящее время учеными были получены результаты, которые описывают широкий спектр колебаний органов человека на инфразвуковых частотах (табл. 2). Наиболее общими физическими эффектами, наблюдаемыми при влиянии инфразвука на организм, являются изменение дыхательных ритмов и сердцебиения, расстройства центральной нервной системы. Известно, что инфразвуковые колебания даже низкой интенсивности оказывают влияние на организм человека: вызывают тошноту и звон в ушах, снижают остроту зрения. При интеллектуальном труде в тихом помещении едва заметный на слух инфразвук вызывает утомление у человека уже через 2 часа. Инфразвук высокого уровня (более 140 дБ) при кратковременном воздействии является причиной болей в желудке, тошноты, головокружения и

## Розділ 1. Інформаційні системи

головных болей, а также чувства беспокойства. В Украине проводятся масштабные исследования в области акустики органов человека. Так в работах И. В. Вовка [6], А. В. Дьяченко [7] спектр колебаний в дыхательной системе человека представлен частотами 0,1 – 1000 Гц. Чаще всего в полостях органов дыхания генерируется инфразвук на частотах 0 – 30 Гц. На частотах ниже 30 Гц колебания проявляются в пути вдоль бронхиального дерева дыхательных путей.

**Таблица 2.**

Инфразвук и резонансные частоты органов человека

| Резонанс                         | Частота, Гц | Резонанс           | Частота, Гц |
|----------------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| Резонанс головы                  | 20 – 30     | Резонанс желудка   | 2 – 3       |
| Резонанс глаз                    | 40 – 100    | Резонанс кишечника | 2 – 4       |
| Резонанс вестибулярного аппарата | 0,5 – 13    | Резонанс почек     | 6 – 8       |
| Резонанс сердца                  | 4 – 6       | Резонанс рук       | 2 – 5       |

Сотрудниками Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» предложена космическая система «Ионосат». Система осуществляет мониторинг ионосферных проявлений сейсмической активности за счет совместных согласованных наземных и космических наблюдений. Система будет использовать космические технологии для мониторинга, прогноза и управления природными катаклизмами, что позволит более точно установить связь между воздействием на биосферу проявлений космической погоды и изменчивостью климата Земли [8].

На рис. 2 представлен образец космического аппарата, с помощью которого предполагается осуществление регистрации инфразвуковых волн в атмосфере Земли.

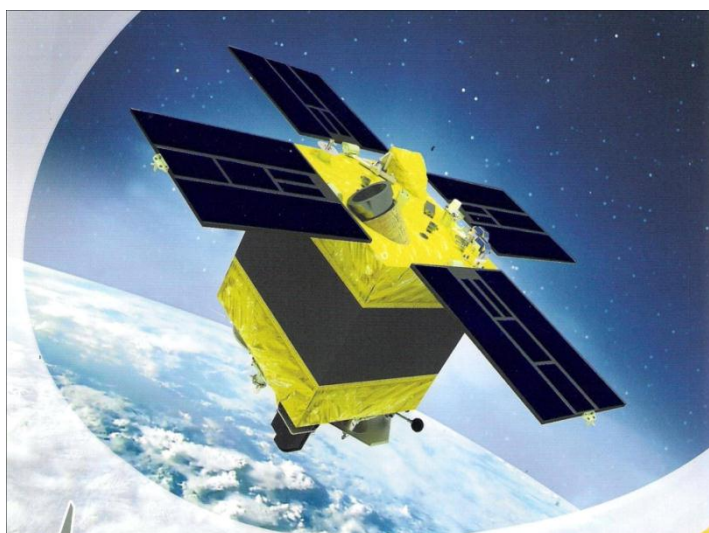


Рис. 2. Образец космического аппарата для регистрации инфразвуковых волн

### Моделирование распространения инфразвука в атмосфере Земли от монополя

Длина инфразвуковых волн обычно достаточно велика по сравнению с характерными размерами источника излучения. Так, при генерировании инфразвука частотой 1 Гц длина волны составляет 340 м, а при генерировании частотой 20 Гц – 17 м. Поэтому наиболее распространенными акустическими полями при распространении инфразвука являются поля со сферическим фронтом волны.

Сферичность фронта низкочастотного акустического поля предполагает значительное уменьшение величины звукового давления с расстоянием по гиперболическому закону, что представляет собой значительную величину.

Волновое уравнение для этого случая [9]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c_0^2 \left( \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} \right) + \frac{2\partial p}{r \partial r}, \quad (1)$$

где  $p$  – звуковое давление,  $c_0$  – скорость звука в среде,  $t$  – время,  $r$  – расстояние от центра сферической волны до точки наблюдения.

Частное решение уравнения для расходящейся волны (распространяющейся в положительном направлении) имеет вид

$$p = \frac{p_i}{r} e^{i\omega(t-\frac{r}{c_0})} = p_m e^{i\omega(t-\frac{r}{c_0})}, \quad (2)$$

где  $p_i$  — амплитуда звукового давления на расстоянии единицы длины от центра сферы;  $\omega$  — круговая частота;  $p_m = p_i / r$ .

$$I_1 = p_1^2 / \rho c_0.$$

Для скорости колебаний в сферической волне

$$\dot{\xi} = \frac{p_1}{r \rho c_0} \left( 1 + \frac{c}{i\omega r} \right) e^{i\omega(t-\frac{r}{c_0})} = \dot{\xi} e^{i\left[\omega(t-\frac{r}{c_0}) - \psi\right]}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность,

$\psi$  – сдвиг фаз между звуковым давлением и скоростью колебаний.

$$\operatorname{tg} \psi = c_0 / \omega r = \lambda / 2\pi r \quad \operatorname{tg} \psi = c_0 / \omega r = \lambda / 2\pi r.$$

Скорость колебаний не совпадает по фазе со звуковым давлением. Акустическое сопротивление содержит активную  $X$  и  $Y$  реактивную составляющие.

$$X + iY = p / \dot{\xi} = \rho c_0 i \omega r / (c_0 + i\omega r), \quad (4)$$

Закон убывания интенсивности звука  $I$  в сферической волне квадратичный

$$I = p_m^2 / 2\rho c_0 = I_1 / r^2, \quad (5)$$

где  $I_1 = p_1^2 / \rho c_0$ .

При расчёте необходимо учитывать соколеблющуюся массу воздуха  $m_{ВН}$  и сопротивление излучения  $r_{изл}$ , которое среда оказывает колеблющемуся элементу при движении. Соколеблющаяся масса  $m_{ВН}$  и сопротивление излучения  $r_{изл}$  зависят от плотности среды  $\rho$  и параметра  $kR$  в квадрате.

Для проведения расчетов характеристик инфразвукового акустического поля монополя составлены алгоритм и программа. Расчеты проведены в предположении, что атмосфера, где распространяются инфразвуковые волны, однородна, слои отсутствуют, температура составляет  $20^\circ\text{C}$  и скорость звука в воздухе при этом составляет 340 м/с.

Программа написана на языке *Fortran-4* [10]. Она состоит из отдельных сформированных циклов. В первом цикле предусмотрено изменение частоты излучения от 1 до 20 Гц с шагом 1 Гц. Во втором цикле предусмотрено изменение звукового давления. Так как, согласно [9], достоверными являются расчеты акустических характеристик в дальнем поле излучателя, которое начинается с расстояния от излучающего элемента равного длине волны излучаемого звука, то введем начальное значение звукового давления  $p_1$  в той точке, где начинается дальнее поле. Задаем величину  $p_1 = 0,02$  Па и далее изменяем эту характеристику пошагово, уменьшая в 10 раз. Расчеты в цикле проводятся до тех пор, пока изменение величины  $p_1$  по сравнению с начальным значением составит  $10^8$  раз.

В третьем и четвертом циклах предусмотрен расчет характеристик дальнего поля излучения. Расчет разбит на два цикла, т.к. поле излучателя ограничено расстоянием  $5 \cdot 10^3$  м. 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.

На рис. 3 показано падение уровня звукового давления в дальнем поле сферического инфразвукового излучателя в зависимости от расстояния при начальном уровне звукового давления  $p_1 = 160$  Па.

На рис. 4 приведена амплитудно-частотная характеристика звукового давления в дальнем поле для точки  $r = \lambda$ , а на рис. 5 та же характеристика в точке  $r = 10\lambda$ .

Затухание акустических волн в воздушной среде обусловлено наличием сдвиговой и объемной вязкостей, а также влиянием теплопроводности.

Если пренебречь тепловыми потерями, а также учесть, что объемная вязкость должна учитываться, как правило, для высоких частот, то можно считать, что потери при распространении бегущей волны в реальной среде обусловлены сдвиговой вязкостью. С учетом затухания потенциал звукового поля волны [9] записывается в виде:



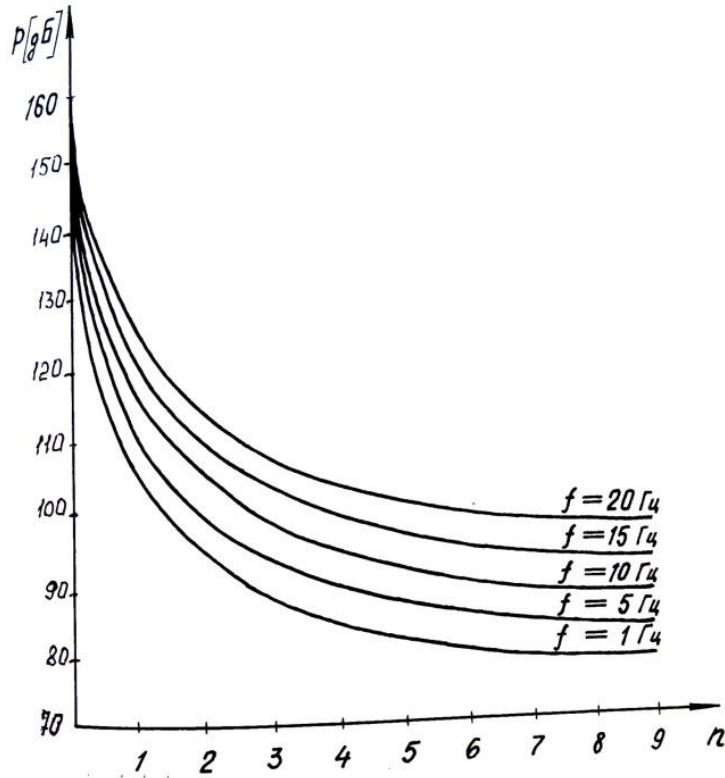


Рис. 3. Падение уровня звукового давления в дальнем поле сферического излучателя

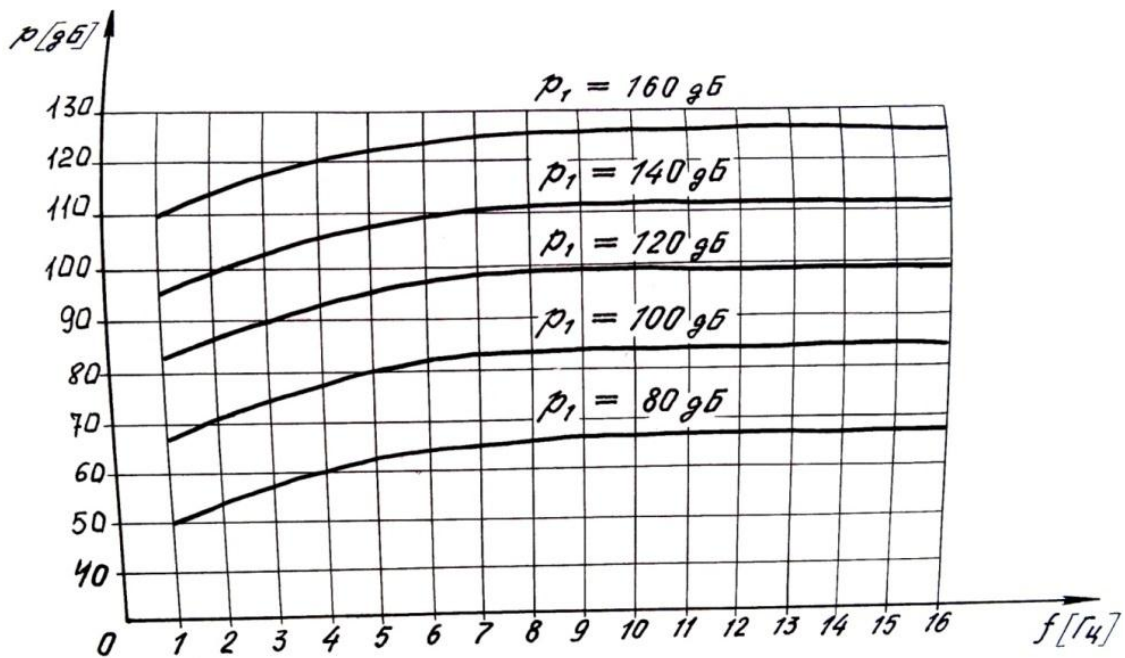


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика звукового давления на расстоянии длины волны от излучателя

$$\varphi = A \cdot e^{\alpha_1 x} \cdot e^{j(\omega t - kx)}, \quad (6)$$

где коэффициент  $\alpha_1$  определяется по формуле Стокса:

$$\alpha_1 = \frac{2\pi^2 f^2}{\rho c^2} \cdot \mu, \quad (7)$$

$\mu$  – коэффициент сдвиговой вязкости  $\left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{М}} \right]$ :

$$\mu = 1,721 \cdot 10^{-6} \frac{\text{КГ}}{\text{М}} \cdot \text{с}. \quad (8)$$

Падение звукового давления имеет следующий вид:

$$N_B = 1,715 \cdot 10^7 \cdot \frac{f^2}{\rho c^3} \left[ \frac{4}{3} \mu + (\gamma - 1) \frac{\varepsilon}{c_p} \right], \quad (9)$$

где  $\gamma$  – удельный вес воздуха,

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

$c_p$  – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

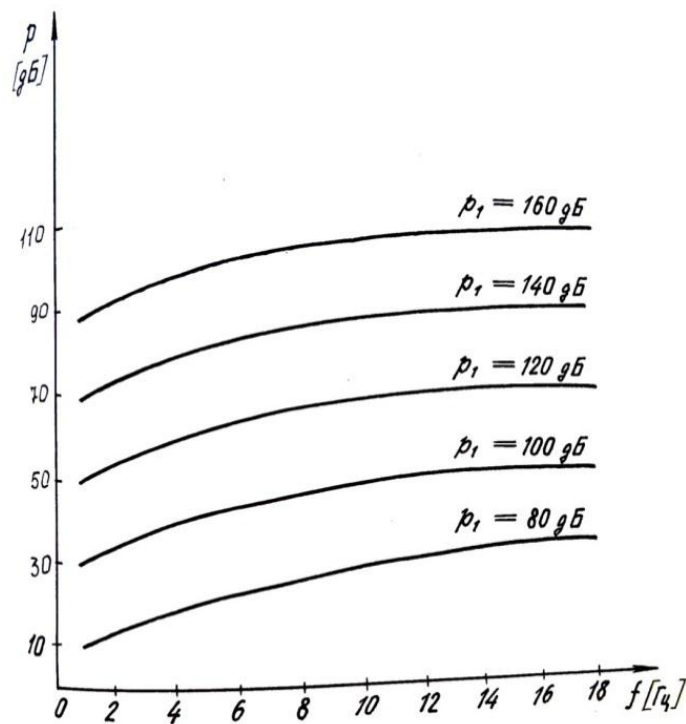


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика звукового давления на расстоянии 10 длин волн от излучателя ( $r = 10\lambda$ )

Для расчета затухания инфразвука в атмосфере для диапазона частот от 1 до 30 Гц была составлена программа. В программу внесены в качестве постоянных величин  $\varepsilon$ ,  $c_p$ ,  $\gamma$ ,  $\mu$ . Рассчитан коэффициент затухания  $\alpha_1$  и величина затухания волны в дБ на километр  $N_B$  относительно частоты инфразвука.

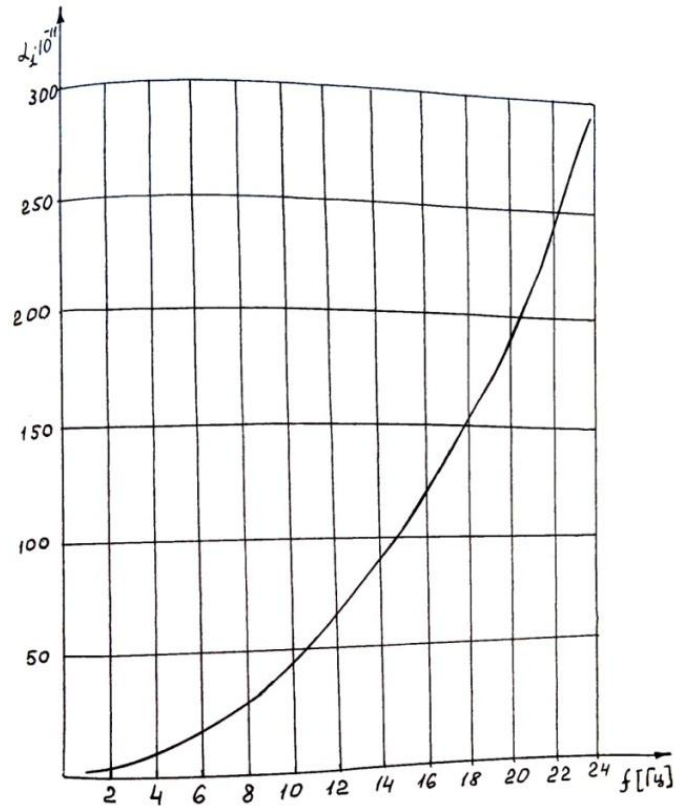


Рис. 6. Кривая изменения коэффициента затухания акустических волн на инфразвуковых частотах в зависимости от частоты

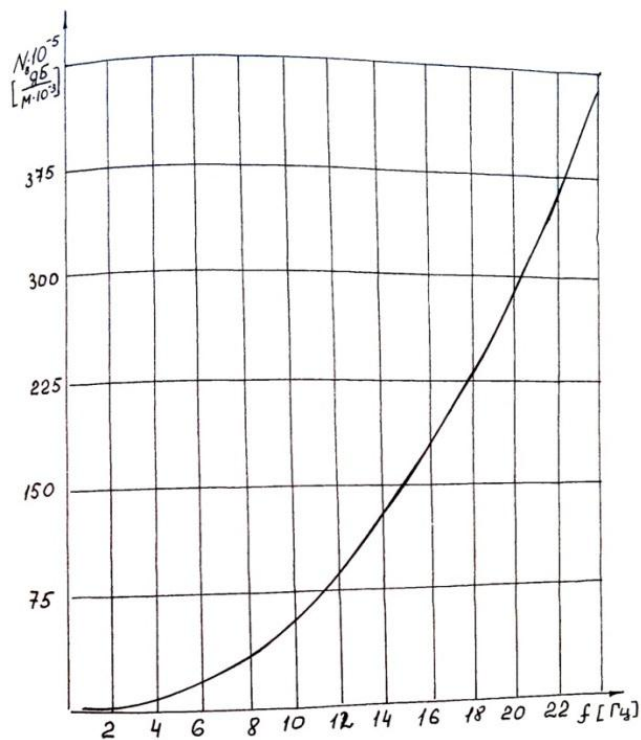


Рис. 7. Изменение падения уровня звукового давления в дБ на км на инфразвуковых частотах в зависимости от частоты

На рис. 6 и рис. 7 представлены результаты расчета по затуханию инфразвуковых волн в однородной атмосфере на инфразвуковых частотах (от 1 до 30 Гц).

Из приведенных расчетов видно, что при начальном уровне звукового давления вблизи акустического источника излучения инфразвука в 160 дБ мы имеем в дальнем поле при частоте излучения  $f = 20$  Гц на расстоянии длины волны от излучающего элемента уровень звукового давления 148 дБ, а на расстоянии  $1 \cdot 10^3$  м от излучателя – уровень 130 дБ. В то время как в поле сферического излучателя эти уровни на тех же расстояниях составляли 95 дБ и 80 дБ соответственно.

### **Выводы**

Предложена методика исследований взаимодействия факторов космической погоды, природных и техногенных катастроф с организмами ноосферы Земли через регистрацию инфразвука.

Разработаны алгоритм и программа, для расчета характеристик акустических инфразвуковых полей сферического типа. Получено, что при изменении уровня звукового давления в пределах от 80 до 180 дБ активная составляющая акустической мощности инфразвукового сферического излучателя меняется в пределах  $0,0012 \text{ Вт} \div 12,2 \cdot 10^3 \text{ кВт}$ . Установлено, что при  $r = 5\lambda$  сдвигом фаз между звуковым давлением и колебательной скоростью в дальнем поле можно пренебречь и считать их находящимися в фазе, если параметр близок к единице  $kR$ .

Разработаны алгоритм и программа для расчета затухания инфразвука в атмосфере. Результаты проделанного расчета подтверждают, что для случая распространения инфразвуковых волн в воздушной среде учет вязкостного трения можно не производить.

В настоящее время существует большая необходимость создания систем, объединяющих в себе космические и наземные наблюдения, которые будут точно фиксировать ключевые климатические переменные в масштабах от региональных до глобальных и устойчиво функционировать на протяжении десятилетий для определения климатических колебаний и трендов.

Проблема обнаружения и описания связи упомянутых выше явлений в атмосфере и коре Земли с биосферой, может быть решена через распространение инфразвука в верхней и нижней частях атмосфер. С помощью современных компьютеров можно проводить расчеты движения инфразвуковых волн в атмосфере и использовать эту информацию для предсказания погоды.

Для проведения дальнейших исследований воздействия низкочастотных акустических колебаний на живые организмы во время природ-

ных катастроф следует продолжить решение задачи о создании новых космических аппаратов для регистрации инфразвуковых волн.

### Список использованной литературы

1. *Сокол, Г. І.* О ролі інфразвуку у взаємозв'язку погоди з біосферою Землі [Текст] / Г. І. Сокол // Обласний науково-практичний круглий стіл «Формування екологічно-компетентної особливості на засадах випереджаючої освіти для сталого розвитку, присвячений 150-річчю з дня народження В. І. Вернадського», Дніпропетровськ, 20 вересня 2012 р. – С. 1 – 10.
2. *Сокол, Г. І.* Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот – Д.: Промінь, 2000. – 136 с.
3. *Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3 6. 037 - 99.* - Київ: Міністерство охорони здоров'я України, Головне санітарно-епідеміологічне управління, 1999. - 9 с.
4. *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.
5. *Негода, А. А.* Акустический канал космического влияния на биосферу Земли / А. А. Негода, С. А. Сорока // Космічна наука і технологія. – 2001. – Т. 16. - № 5/6. - С. 85 - 93.
6. *Вовк, І. В.* Моделирование процесса распространения звука в грудной клетке человека. Часть 2 Анализ акустических свойств в норме / И. В. Вовк, Л. И. Косолец, В. Т. Маципура, В. Н. Олийнык // Акустичний вісник. – 2011. – Т. 14, № 3. – С. 3 – 12.
7. *Дьяченко, А. І.* Математические модели механики легких с распределенными параметрами / Автореферат дис. д.т.н. – М., 2003. – 40с.
8. *Москалев, С. І.* 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.
9. *Гринченко, В. Т.* Основы акустики [Текст] / В. Т. Гринченко, И. В. Вовк, В. Т. Маципура – Київ: Наукова думка, 2007. – 640 с.
10. *Немнюгин, С. А.* Фортран в задачах и примерах [Текст] / С. А. Немнюгин. – Петербург: БХВ, 2016. – 496 с.