

ИНФОРМАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛЕЙ В ПРОБЛЕМЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Марат Саматович Хайретдинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, главный научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)330-87-43, e-mail: marat@opg.sccc.ru

Гюльнара Маратовна Воскобойникова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)330-87-43, e-mail: gulya@opg.sccc.ru

Галина Федоровна Седухина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник, тел. (383)330-87-43, e-mail: galya@opg.sccc.ru

Анализируется роль информативных внешних факторов при взаимодействии сопряженных геофизических полей техногенного и природного характера. Результаты анализа подтверждены численными и натурными экспериментами.

Ключевые слова: геофизический мониторинг, сейсмический вибратор, природные и техногенные события, сопряженные поля, акустические колебания, численные и натурные эксперименты.

INFORMATIVE FACTORS OF INTERACTION OF THE INTERFACED FIELDS IN THE PROBLEM OF GEOPHYSICAL MONITORING

Marat S. Khairtdinov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, Senior Researcher; State technical University in Novosibirsk, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (383)330-87-43, e-mail: marat@opg.sccc.ru

Gyulnara M. Voskoboynikova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, Researcher; State technical University in Novosibirsk, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marx Ave, tel. (383)330-87-43, e-mail: gulya@opg.sccc.ru

Galina F. Segukhina

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Lavrentiev Ave, Researcher, tel. (383)330-87-43, e-mail: galya@opg.sccc.ru

The role of informative external factors at interaction of the interfaced geophysical fields of technogenic and natural character is analyzed. Results of the analysis are confirmed by numerical and natural experiments.

Key words: Geophysical monitoring, seismic vibrator, natural and technogenic events, interfaced fields, acoustic oscillation, numerical and natural experiments.

Введение. Изучение процессов распространения инфразвука, порождаемого техногенными взрывами, а также природными источниками типа землетрясений, извержений вулканов, и др. имеет давнюю историю. В тоже время следует отметить слабую изученность этих процессов от влияния метеофакторов и, прежде всего, в экспериментальной части. Это обусловлено отсутствием маломощных в сравнении со взрывами источников инфразвука с высокими метрологическими характеристиками. На сегодня в качестве таких источников могут быть использованы сейсмические вибраторы, обеспечивающие высокую повторяемость экспериментов при изучении процессов распространения с учетом влияния различных внешних факторов. Результаты данной работы опираются на вибрационный метод изучения обозначенных процессов.

Постановка задачи. В качестве интегральной характеристики при изучении разрушительных свойств инфразвука в окружающей среде принимается *удельная плотность акустической энергии*:

$$E = \frac{1}{\rho c} \int_0^T p^2(t) dt. \quad (1)$$

Здесь ρc – удельное акустическое сопротивление воздуха, равно 42 г/(см²·с); $p(t)$ – акустическое давление, регистрируемое на выходе акустического датчика; T – длительность акустической волны.

В (1) акустическое давление является функцией многих параметров, определяемых условиями излучения и дальнего распространения акустических колебаний. Эта зависимость может быть представлена в виде некоторого функционала: $p(t) = F[Q f_1(c, \varphi, w, \alpha), f_2(T), \delta(H), \psi(t)]$. Здесь Q – мощность источника; $f_1(c, w)$ – функциональная зависимость акустического давления от соотношения скорости c и направления φ распространения акустической волны от источника с одной стороны и скорости w и азимутального направления α ветра с другой; $f_2(T)$ – высотное распределение температуры воздуха; $\delta(H)$ – функция, отражающая неоднородность дневной поверхности земли; $\psi(t)$ – фактор неоднородности атмосферы, зависящий, в частности, от влажности воздуха. Таким образом, задача оценивания (1) является многофакторной. Получение оценок в такой постановке наталкивается на сложности из-за отсутствия полноты априорных сведений. Другой путь преодоления априорной неопределенности связан с получением оценок (1) на основе экспериментов с применением сейсмических вибраторов в качестве излучателей инфранизкочастотных акустических колебаний. Оба варианта рассмотрены в настоящей работе.

Информативные факторы взаимодействия сопряженных геофизических полей. В качестве решения одной из задач здесь рассмотрено влияние направления и скорости ветра на распространение инфразвука, порождаемого сейсмическими вибраторами ЦВ-40, ЦВ-100. Результат такого взаимодействия является явление пространственной фокусировки акустических колебаний, при кото-

рой максимум акустического давления p достигается при совпадении направленных фронтов распространения колебаний от вибратора и ветра. Описывается такое явление с помощью фактора фокусировки, равного отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде:

$$f = I(z, \theta, \varphi) / I_0, \quad (2)$$

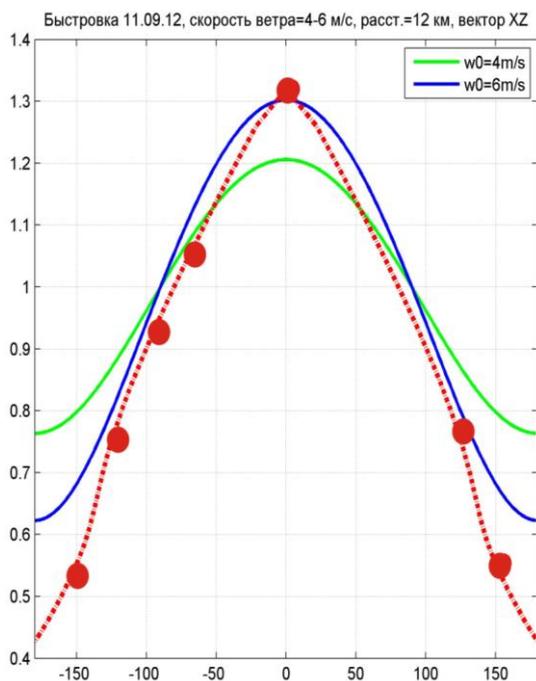


Рис. 1. Зависимость фактора фокусировки f от горизонтального расстояния от источника r и азимута точки наблюдения. Расчетные графики для радиуса круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км и скоростей ветра 6 м/с (кривая синего цвета) и 4 м/с (кривая зеленого цвета). Высота источника над землей – 5 м. Красный точечный график экспериментально полученный для той же расстановки для вибратора ЦВ-40 при скорости ветра 4–6 м/с

воздуха – вытекают из обобщенного выражения состояния газа $f(p, \rho, t) = 0$, связывающего между собой давление p , плотность (сжатие) ρ и температуру t воздуха [4]. Из определения скорости звука в воздухе по Лапласу: $c_{\text{д}} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p}{\rho}}$,

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – есть отношение теплоемкости воздуха при постоянном давлении

где сферические углы θ (зенитный угол) и φ (азимут) характеризуют начальное направление луча от источника по отношению к вертикальной координате z и горизонтальной оси x соответственно [1, 2]. При этом направление последней совпадает с направлением ветра.

Более подробно методика расчета (2) представлена в [3]. На рис. 1 приведены расчетные зависимости f от азимута точек наблюдения. Приведенные результаты соответствуют радиусу круговой расстановки датчиков 12 км и скоростям ветра 6 м/с (синий график) и 4 м/с (зеленый график). Высота источника над землей – 5 м. Красный график соответствует экспериментально полученной при радиусе круговой расстановки 12 км и скорости ветра 4–6 м/с. Для сравнения приводится экспериментально полученный график фактора фокусировки с использованием сейсмического вибратора ЦВ-40 и круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км при скорости ветра 4–6 м/с. Как видно из сравнения расчетного и экспериментального графиков значения раскрытия $\Delta\varphi$ в обоих случаях в основном совпадают.

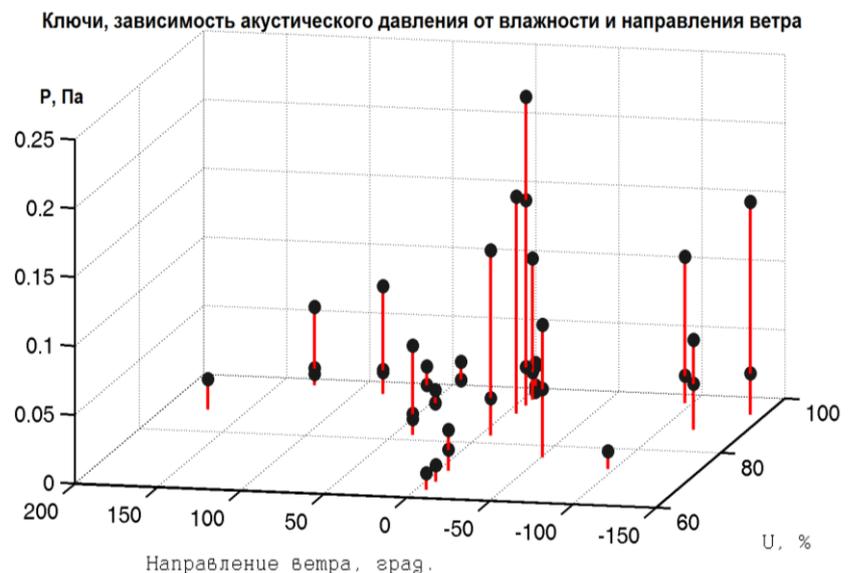
Зависимости давления p от других метеофакторов – температуры, влажности

к теплоемкости воздуха при постоянном объеме, следует, что давление является квадратичной функцией скорости звука, зависящей, в свою очередь, от температуры и влажности воздуха.. Так, скорость звука во влажном воздухе составляет $c_o = 20.1\sqrt{T\left(1 + 0.273 \frac{e}{p}\right)}$, где e – влажность воздуха, $T = t + T_o$, где $T_o = 273K$. При нормальном давлении и $T = T_o = 273K$ ($0^\circ C$) скорость звука в сухом воздухе равна 331 м/с. В случае наличия ветра в атмосфере возникает дрейф скорости звука, с учетом которого скорость звука будет складываться из скорости звука в невозмущенной атмосфере – c_o и скорости ветра w_o : $c = c_o + w_o \cos \varphi$, где φ – угол между направлением ветра и направлением на точку наблюдения источника звука. С учетом перечисленных метеофакторов интегральная зависимость давления от них может быть представлена в виде:

$$p = \frac{\rho}{\gamma} (331 + 0.6t + 0.07e + c_o + w_o \cos \varphi)^2.$$

Экспериментально полученные оценки давления инфразвука от вибратора с учетом ветра и влажности представлены на рис. 2. Полученные результаты экспериментов, в частности, показывают, что в схожих метеоусловиях повышение влажности до 95 % может приводить к (3-5)- кратному повышению акустического давления вдоль направления ветра (на рисунке это нулевое направление). Как показывают результаты экспериментов, свыше 95% -ной влажности уровни давления резко уменьшаются.

В качестве одного из информативных факторов взаимодействия сейсмических и акустических волновых полей ранее было обнаружено явление акустосейсмической индукции [5, 6]. В сезонных экспериментах с вибратором ЦВ-40 на одной и той же трассе протяженностью 50 км было показано, что выраженность отмеченного явления в большой мере зависит от покрова дневной поверхности Земли. При наличии снежного покрова указанное явление практически всегда отсутствует, хотя акустические датчики уверенно регистрируют в воздухе акустическую волну. Это иллюстрируется на рис. 3. И наоборот, в летнее время эффект ярко выражен, что доказы-



вается одновременной регистрацией акустических волн от вибратора ЦВ-40 с помощью сейсмического и акустического датчиков (рис. 4).

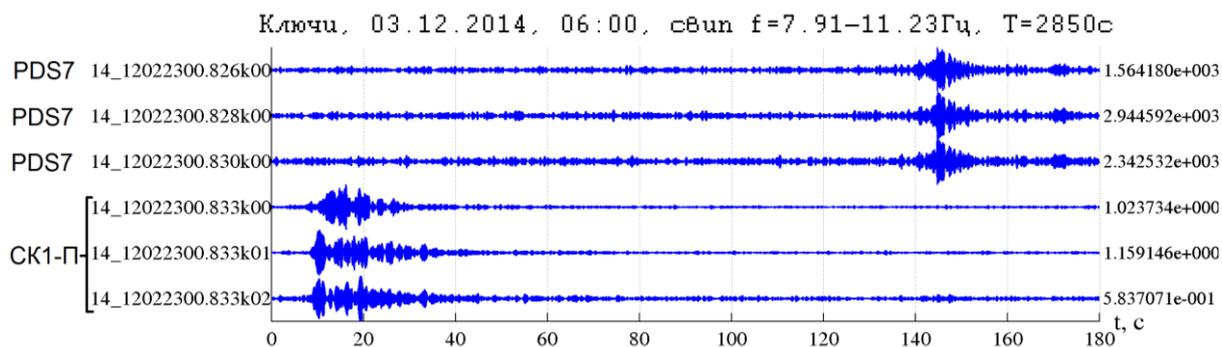


Рис. 3

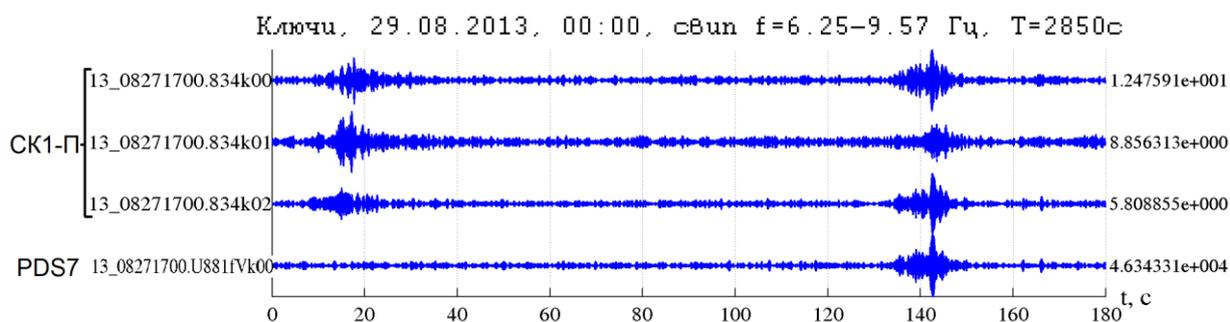


Рис. 4

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 261 с.
2. Разин А. В. О распространении звука в неоднородной движущейся атмосфере // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океан. 1982. Т.18, №6. - С. 674-676.
3. Хайретдинов М. С. Оценивание геологического рисков от массовых взрывов с помощью сейсмических вибраторов / М. С. Хайретдинов, С. А. Авроров, Г. М. Воскобойникова // Вестник Кемеровского государственного университета, вып.№4 (52), Т.1, 2012 - С.115-122.
4. Исакович А. М. Общая акустика. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. - 496с.
5. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Дряхлов С.И., Ковалевский В.В., Михайленко Б.Г., Пушной Б.М., Фатьянов А.Г., Хайретдинов М.С., Шорохов М.Н. Эффект акустосейсмической индукции при вибросейсмическом зондировании // Доклады АН, т.346, N 5, 1996, с. 664–667.
6. Ковалевский В.В. Исследование акустосейсмических волновых полей, генерируемых поверхностными сейсмическими вибраторами. / В.В. Ковалевский // Акуст. журн., 2005, Т. 51. - С.92–102.

© М. С. Хайретдинов, Г. М. Воскобойникова, Г. Ф. Седухина, 2015