

УДК 504.75: 621.039.9

ИЗУЧЕНИЕ МЕТЕОЗАВИСИМОЙ ФОКУСИРОВКИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВИБРАТОРА И ВЗРЫВОВ

¹Ковалевский В.В., ¹Хайретдинов М.С., ¹Воскобойникова Г.М., ²Павлов А.Ф., ¹Седухина Г.Ф.¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия²Геофизическая служба СО РАН, Новосибирск, Россия

Рассмотрена проблема прогнозирования геоэкологических рисков для окружающей социальной и природной среды, порождаемых мощными техногенными и природными взрывами. Приводится разработанная авторская геоинформационная технология прогнозирования экологических рисков, а также результаты численных и натуральных экспериментов.

ВВЕДЕНИЕ

Среди современных экологоохранных проблем важное место занимает прогнозирование геоэкологического воздействия техногенных и природных взрывов разного типа на окружающую природную среду и социальную инфраструктуру. В первую очередь, к ним относятся такие массовые взрывы, как карьерные [1] и полигонные [2]. Большую опасность несут взрывы, связанные с уничтожением утилизируемых запасов боеприпасов. К числу мощных природных взрывоподобных событий, в первую очередь, следует отнести землетрясения, извержения магматических и грязевых вулканов [3], падения небесных тел [4].

Известно, что основные геоэкологические эффекты взрывов связаны с образованием ударных воздушных и сейсмических волн, с формированием и распространением пылевого облака, электрических импульсов. Наибольший интерес представляет изучение сейсмического и акустического эффектов массовых взрывов, которые определяют целостность промышленных и жилых объектов, ударное воздействие на биообъекты. Подобные эффекты рассматривались ранее [1], однако при этом осталась слабо изученной их зависимость от внешних факторов – направления и силы ветра, температурной инверсии, состояния турбулентности атмосферы, а также рельефа и ландшафта окружающей местности. Это тем более важно, что влияние сейсмических и акустических эффектов может приводить к многократному усилению разрушительного экологического воздействия взрывов на окружающую среду. Целью настоящей работы является изложение методологического подхода к прогнозированию геоэкологического риска от мощных взрывов. В основу положена предложенная авторами оригинальная технология, базирующаяся на применении сейсмических вибраторов в качестве источников, имитирующих взрывы, но обладающих намного меньшей мощностью в сравнении со взрывами. При этом достигаются высокие экологическая чистота и повторяемость экспериментов в отличие от взрывов. Последнее обусловлено высокими метрологическими силовыми и частотно-временными ха-

рактеристиками вибрационных источников [5]. Обоснованием выбора предлагаемого подхода является способность вибраторов порождать одновременно как сейсмические, так и акустические колебания, которая доказана ранее теоретически и многочисленными экспериментами [6–9].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Экологическое воздействие взрывов на окружающую среду оценивается удельной плотностью энергии:

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

Здесь: ρc – удельное акустическое сопротивление воздуха, равное $42 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$; $p(t)$ – акустическое давление, регистрируемое на выходе акустического датчика; T – длительность акустической волны.

Допустимые акустические воздействия на объекты социальной инфраструктуры определяются табулированными значениями удельной плотности энергии в единицах $\text{Дж}/\text{м}^2$. 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 экологических рисков является многопараметрической. Получение оценки (1) в такой постановке наталкивается на сложности из-за отсутствия полноты априорных сведений. Получение аналитической зависимости возможно для некоторых частных случаев, наиболее существенные из которых будут рассмотрены ниже. Другой путь преодоления априорной неопределенности связан с полу-

чением оценок (1) на основе экспериментов с применением вибраторов в качестве излучателей инфранизкочастотных акустических колебаний. Оба варианта решения рассмотрены в данной статье.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И МЕТЕОПОЛЕЙ

Проведены численные расчеты по оцениванию эффектов направленности акустического волнового поля инфранизкочастотных источников, возникающих на фоне ветра, характеризуемого азимутальным направлением и скоростью. Расчеты выполнены в соответствии с методикой [10]. В качестве модели рассматривается точечный источник инфразвука, расположенный на высоте h над поверхностью Земли, которая считается плоской, а атмосфера слоисто неоднородной. Скорость звука и ветра зависят лишь от вертикальной координаты, при этом скорость ветра имеет только горизонтальные составляющие. На инфранизких частотах справедливо лучевое приближение распространения звука, поскольку здесь эффекты рассеяния и затухания акустических волн малы. При таких допущениях изменение интенсивности волн подчиняется предположению о геометрической расходимости лучей. В прямоугольной системе координат ось z направлена вверх от поверхности Земли, а направление оси x на высоте h совпадает с направлением ветра. Начальное направление луча характеризуется сферическими углами θ (зенитный угол) и φ (азимут). Последний отсчитывается по отношению к направлению x .

Эффект направленности акустического поля характеризуется *фактором фокусировки*, равным отношению интенсивности инфразвука в неоднородной движущейся среде к интенсивности его в безграничной неподвижной среде:

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

Здесь [10]:

$$I(z, \theta, \varphi) = \frac{Q c_0^2 \xi}{4 \pi c^4 t^2 \cos \theta} [1 + 2(w_0 / c_0) \sin \theta \cos \varphi - 2\eta]$$

$$I_0 = Q / 4 \pi [x^2 + y^2 + (z - h)^2],$$

где: Q – мощность источника, $c_0 = c(h)$ – модуль лучевой скорости, w_0 – скорость ветра по оси x , t – время распространения звука по лучу. Расчетное уравнение для фактора фокусировки имеет вид:

$$f = \frac{c_0^2 \xi [x^2 + y^2 + (z - h)^2]}{c^4 t^2 \cos \theta} [1 + 2(w_0 / c_0) \sin \theta \cos \varphi - 2\eta], \quad (3)$$

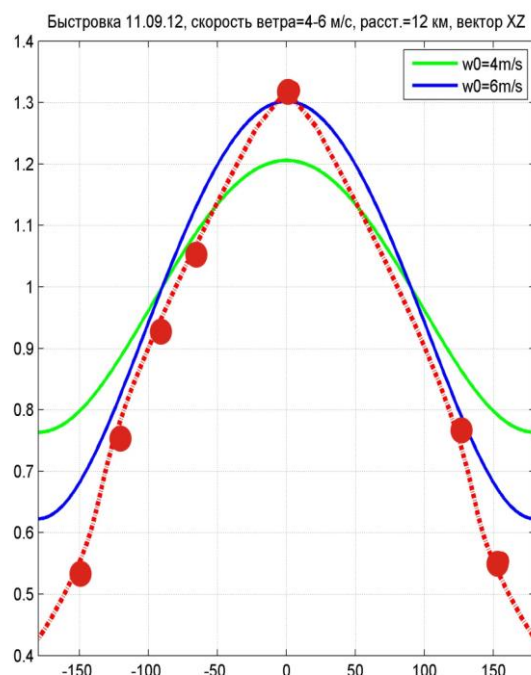
где выражения для ξ и η могут быть представлены как:

$$\xi = \left[1 - \left(\frac{c}{c_0} \right)^2 \sin^2 \theta - 2\eta + 2 \left(\frac{w_0}{c_0} \right) \left(\frac{c}{c_0} \right)^2 \sin \theta \cos \varphi \right]^{1/2},$$

$$\eta = (1/c_0) \sin \theta (w_x \cos \varphi + w_y \sin \varphi).$$

На рисунке 1 приведены расчетные зависимости f от азимута φ точек наблюдения, которые соответствуют радиусу круговой расстановки датчиков 12 км, скоростям ветра 6 м/с и 4 м/с, высоте источника над землей – 5 м.

Для сравнения на рисунке 1 приведен экспериментально полученный график фактора фокусировки с использованием сейсмического вибратора ЦВ-40 и при круговой расстановки датчиков с радиусом 12 км при скорости ветра 4 – 6 м/с (методика измерений описана ниже). Как видно из сравнения расчетного и экспериментального графиков значения раскрытия $\Delta \varphi$ в обоих случаях приблизительно совпадают.



Цвет линий: синий – скорость ветра 6 м/с (расчет); зеленый – скорость ветра 4 м/с (расчет); красный – скорость ветра 4-6 м/с (эксперимент)

Рисунок 1. Зависимость фактора фокусировки f от горизонтального расстояния до источника r и азимута α точки наблюдения. Круговая расстановка датчиков с радиусом 12 км. Высота источника над землей 5 м

По аналогии с направленным излучением колебаний количественно фактор фокусировки может быть охарактеризован шириной раскрытия $\Delta \varphi$ в градусах на уровне 0.7 разницы между наибольшим $f_{\max}$ и наименьшим $f_{\min}$ значениями фактора фокусировки: $\Delta \varphi \leftrightarrow 0.7 (f_{\max} - f_{\min})$. В частности, при скорости ветра $w_0 = 6$ м/с фактор фокусировки соответствует $\Delta \varphi = 150$ град.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТЕОЗАВИСИМЫХ ЭФФЕКТОВ ФОКУСИРОВКИ

Акустические волны, порождаемые мощными вибраторами типа ЦВ-100, ЦВ-40 могут распространяться на десятки километров от источника, при этом в приземном волноводе акустическая волна возбуждает в Земле поверхностную сейсмическую волну [6–8], которая регистрируется сейсмическими датчиками. В дальнейшем такую волну будем называть акустосейсмической. При этом скорости обоих типов волн совпадают и равны скорости распространения инфразвука. Благодаря обоим физическим эффектам открываются широкие возможности изучения взаимосвязей акустических и метеополей с использованием метрологически точного инструмента в виде сейсмического вибратора и сейсмических датчиков, позволяющих регистрировать акустосейсмические волны. С учетом этих возможностей были проведены эксперименты по оцениванию количественных эффектов влияния метеопараметров – направления и силы ветра, влажности окружающего воздуха, температуры, – на распространение акустических колебаний. С этой целью в районе вибросейсмического полигона (п. Быстровка Новосибирской обл.) была развернута сеть из автономных сейсмических станций «Байкал», расставленных по окружности радиусом 6 км и 12 км, как показано на рисунке 2. В центре окружности располагался вибратор ЦВ-40, внешний вид которого приведен на рисунке 3. Источник обладает возмущающей силой 40 тс в рабочей полосе частот 6 - 12 Гц. В качестве датчиков использовались трехкомпонентные сейсмоприемники типа СК-1П, СМЕ-3011 (разработка МФТИ). На рисунке 2 представлена схема регистрации сейсмических и акустических волн от полигонных взрывов при утилизации боеприпасов мощностью около 125 кг в тротиловом эквиваленте. Круговая расстановка датчиков осуществлялась с радиусом 10 км.

параметров – направления и силы ветра, влажности окружающего воздуха, температуры, – на распространение акустических колебаний. С этой целью в районе вибросейсмического полигона (п. Быстровка Новосибирской обл.) была развернута сеть из автономных сейсмических станций «Байкал», расставленных по окружности радиусом 6 км и 12 км, как показано на рисунке 2. В центре окружности располагался вибратор ЦВ-40, внешний вид которого приведен на рисунке 3. Источник обладает возмущающей силой 40 тс в рабочей полосе частот 6 - 12 Гц. В качестве датчиков использовались трехкомпонентные сейсмоприемники типа СК-1П, СМЕ-3011 (разработка МФТИ). На рисунке 2 представлена схема регистрации сейсмических и акустических волн от полигонных взрывов при утилизации боеприпасов мощностью около 125 кг в тротиловом эквиваленте. Круговая расстановка датчиков осуществлялась с радиусом 10 км.

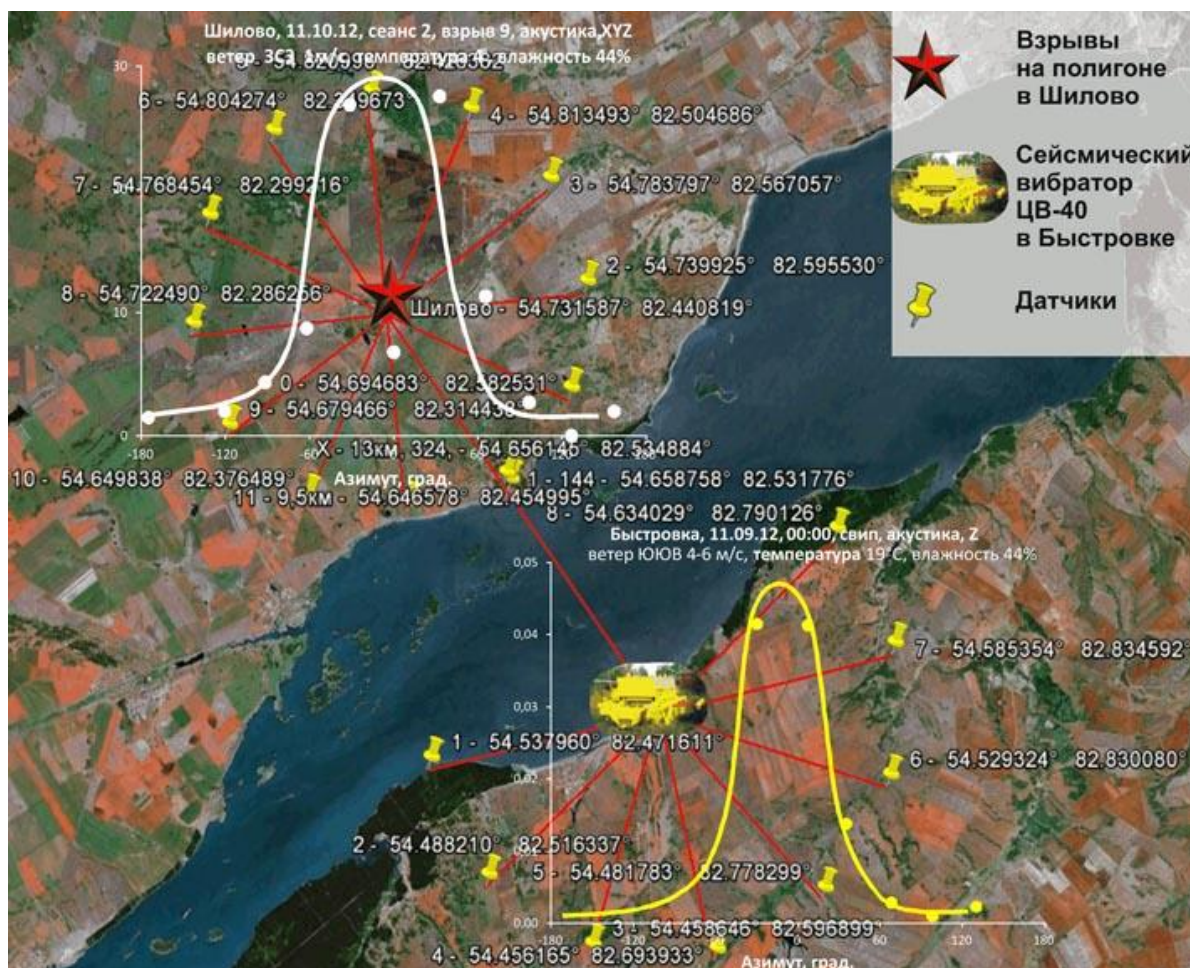


Рисунок 2. Схема регистрация сейсмоакустических колебаний от сейсмического вибратора ЦВ-40 и взрывов. Графики ветровой зависимости уровней инфразвука обоих источников от азимутальных направлений, характеризующие узконаправленную концентрацию акустической энергии в пространстве



Рисунок 3. Вибрационный источник ЦВ-40

Примеры результатов одновременной регистрации сейсмических и акустических волн от обоих типов источника - взрыва и вибратора (рисунок 2), - при соответствующих расстановках представлены на рисунке 4.

Здесь приведены записи взрывов на двух соседних сейсмических датчиках (5, 6) и акустическом (5а) – рисунок 4а; а также трехкомпонентная запись сейсмических и акустических волн от вибратора ЦВ-40 на удалении 12 км (рисунок 4б). В последнем случае оба типа волн выделяются в соответствии с корреляционной сверткой регистрируемых колебаний с опорными сигналами, повторяющими по форме зондирующие сигналы от вибратора в диапазоне частот 6.25 - 11.23 Гц [5]. Полученные вибраторные коррелограммы являются аналогами импульсных сейсмограмм и иллюстрируют вступления сейсмических волн (первых вступлений) на временах прихода около 3с и акустических волн (вторичные волны) на временах прихода 40 с.

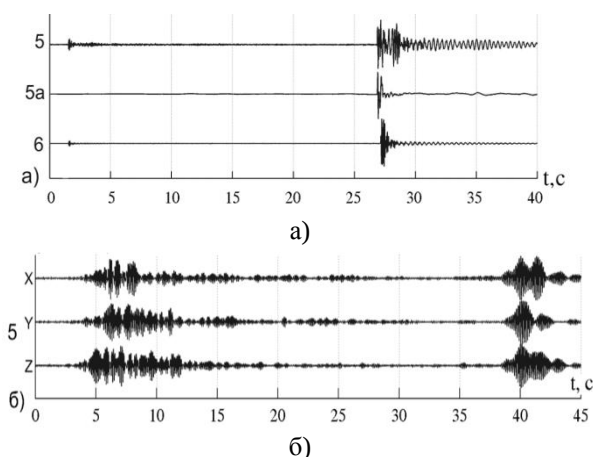
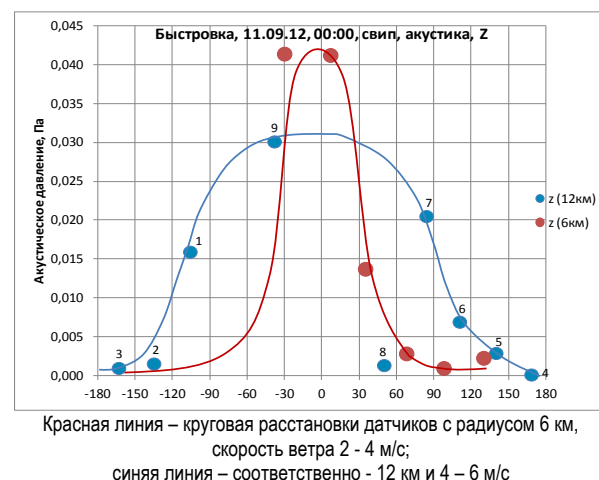


Рисунок 4. Записи сейсмических и акустических волн от полигонного взрыва и от вибратора ЦВ-40: а – от полигонного взрыва (удаление 10 км; сейсмодатчики – 5, 6; акустический датчик – 5а, б – от вибратора ЦВ-40 (удаление 12 км; компоненты X, Y, Z)

Как следует из рисунка 4, от накладного взрыва сейсмические волны выражены слабо в сравнении с акустическими волнами: соотношение составляет около 1:10, тогда как от вибратора они находятся в

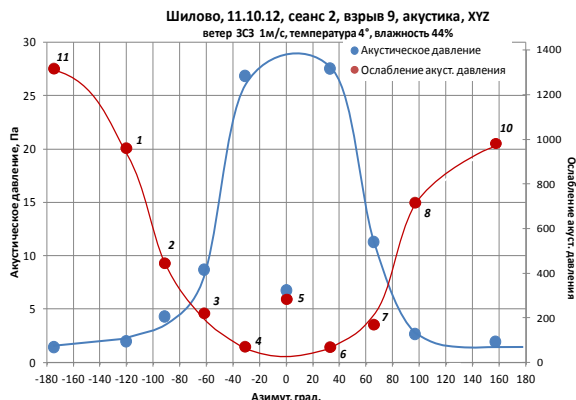
соотношении 1:1. Это свидетельствует о том, что поверхностные взрывы не могут быть использованы в качестве эффективных сейсмических источников.

На основе полученных оценок уровней акустических волн на датчиках в вариантах их круговой расстановки (рисунок 2) построены графики зависимости акустического давления в Паскалях от азимутальных направлений "источник-приемник" по отношению к сейсмическому вибратору и полигонным взрывам (рисунки 5, 6). Значения скоростей ветра и радиусы круговой расстановки датчиков, которым соответствуют полученные оценки уровней акустических волн, приведены на графиках. По аналогии с расчетными зависимостями (рисунок 1) экспериментальные данные иллюстрируют ярко выраженный эффект пространственной фокусировки акустических волновых полей под влиянием направления и силы ветра (направление ветра на графиках соответствует нулевому значению азимута). Как следует из рисунка 5, $\Delta\varphi=60$ град. - для случая круговой расстановки датчиков с радиусом 6 км и скорости ветра 2 - 4 м/с и $\Delta\varphi=160$ град. - для расстановки датчиков радиусом 12 км и скорости ветра 4 - 6 м/с. В первом из этих случаев соотношение максимального и минимального значений акустического давления достигает 50. Из полученных данных о перераспределении акустического давления в пространстве следует важный вывод о том, что даже маломощные взрывы могут становиться экологически опасными вследствие многократного увеличения потока энергии в определенном направлении. Отмеченная особенность распространения акустических волн известна в акустике как явление роста эффективной скорости звука и уменьшения затухания при попутном ветре [9]. Этим и определяется роль метеоусловий в дальнейшем распространении акустических волн.



Красная линия – круговая расстановки датчиков с радиусом 6 км, скорость ветра 2 - 4 м/с;
синяя линия – соответственно - 12 км и 4 - 6 м/с

Рисунок 5. Зависимость акустического давления от азимута при регистрации колебаний от вибратора ЦВ-40 при разной скорости ветра и расстановке датчиков



Красная линия – ослабление уровня акустического давления по отношению к его уровню в контрольной точке (0,457 км от места взрыва). Значения коэффициента ослабления – на оси ординат справа.

Рисунок 6. Зависимость акустического давления и его ослабления от азимута при регистрации полигонного взрыва мощностью 125 кг. Сила ветра 1 м/с.

Расстановки датчиков по кругу радиусом 10 км

Изучена ветровая зависимость акустического давления от другого источника, оказывающего непосредственное разрушительное воздействие на окружающую среду – полигонных взрывов утилизируемых запасов боеприпасов. В последние годы такие взрывы проводятся регулярно на разных полигонах России, в том числе на полигоне Шиловое (Новосибирская область). Регистрация сейсмоакустических колебаний взрывов Шиловского полигона авторами данной работы проводится регулярно по той же методике круговой регистрации, что и от вибратора (рисунок 2). На рисунке 6 показана зависимость акустического давления (в Па) от азимутальных направлений "источник-приемник" для радиуса круговой расстановки датчиков 10 км при указанных направления и силы ветра, температуре и влажности воздуха. На записях взрывов (рисунок 4а) выделяются волны первых вступлений – сейсмические (1.63 - 1.97 с) и вторичные акустические (27.0 - 32.4 с). Для условий данного эксперимента получена зависимость акустического давления от азимута в пределах $(-180 \div +180)$ град. с учетом силы ветра около 1 м/с. Так же как при вибро-сейсмоакустических волнах, проявляется выраженный ветрозависимый эффект направленности распространения акустического волнового поля, характеризуемый значением $\Delta\varphi=80$ град. С использованием измеренных значений акустического давления на удаленных датчиках с круговой расстановкой, а также его значения в контрольной точке (на удалении 0.457 км от эпицентра взрывов) оценены значения ослабления акустического давления по расстоянию и направлению (рисунок 6, красная линия, цифры на оси ординат справа). Как следует из рисунка, минимальные значения коэффициента ослабления составляют 70 – 72 и соответствуют направлению ветра, максимальное значение около 1300. Таким образом, на удалении от очага взрыва

в 10 км акустическое давление воздушной волны падает более, чем на три порядка, при этом соотношение между максимальными и минимальными значениями коэффициента ослабления акустического давления, определяемое вкладом ветра, составляет порядка 20.

Проведено сопоставление уровней акустических давлений от вибратора и полигонного взрыва. Максимум акустического давления от вибратора ЦВ-40 на удалении 12 км (рисунок 5) составил $p=0.03$ Па, тогда как от взрыва на удалении 10 км (рисунок 6) – на уровне почти 30 Па. Таким образом, на сравнимых расстояниях от вибратора наблюдается на три порядка меньшая величина акустического давления, чем от взрыва. Тем самым подтверждается экологическая чистота вибраторов как инструментов для проведения экспериментальных исследований.

Взрывы порождают разрушительные инфразвуковые волны в диапазоне частот 1 - 10 Гц. На рисунке 7 представлены спектры таких волн, зарегистрированных в контрольной точке на удалении ~0,5 км от эпицентра взрыва (рисунок 7а) и 10 км (рисунок 7б). Из сравнения обоих спектров следует, что с удалением от источника резко затухают высокие частоты и преобладающий спектр смещается в область инфранизких частот 1 – 10 Гц.

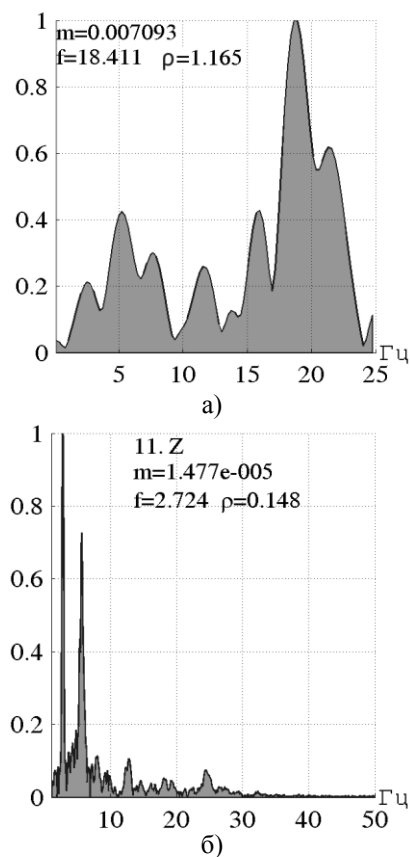


Рисунок 7. Спектры акустической волны от полигонного взрыва на различных удалениях: а – удаление ~0,5 км, б – удаление 10 км

Зависимости давления от других метеопараметров – температуры, влажности воздуха, – могут быть получены из обобщенного выражения состояния газа [9], связывающего между собой давление, плотность (сжатие) и температуру воздуха. Из определения скорости звука в воздухе по Лапласу:

$$c_L = \sqrt{\gamma \cdot \frac{p}{\rho}}$$

следует, что давление

$$p = \frac{\rho}{\gamma} c_L^2, \quad (4)$$

где $\lambda = \frac{c_p}{c_v}$ – есть отношение теплоемкости воздуха при постоянном давлении к теплоемкости воздуха при постоянном объеме, является квадратичной функцией скорости звука, зависящей, в свою очередь, от температуры и влажности воздуха. Так, скорость звука во влажном воздухе составляет

$$c_0 = 20.1 \sqrt{T \left(1 + 0.273 \frac{e}{p} \right)} \quad (5)$$

Здесь: e – влажность воздуха, $T = t + T_0$, где $T_0 = 273$ K. При нормальном давлении и $T = T_0 = 273$ K, (0° C) скорость звука в сухом воздухе равна 331 м/с.

В случае ветра в атмосфере возникает дрейф скорости звука, с учетом которого скорость звука будет складываться из скорости звука в невозмущенной атмосфере – c_0 и скорости ветра w_0 : $c = c_0 + w_0 \cos \varphi$, где φ – угол между направлением ветра и направлением на точку наблюдения звука. С учетом перечисленных метеофакторов интегральная зависимость давления (4) от них может быть представлена в виде:

$$p = \frac{\rho}{\gamma} (331 + 0.6t + 0.07e + w_0 \cos \varphi)^2.$$

Как видно, давление нарастает с увеличением температуры и влажности воздуха в квадратичной зависимости. Экспериментально полученные оценки давления инфразвука от вибратора с учетом ветра и влажности представлены на рисунок 8. Полученные данные отражают результаты регулярных измерений акустического давления, порождаемого акустическими колебаниями от вибратора ЦВ-40, распространяющихся на трассе протяженностью ~50 км

Таким образом, накоплен большой объем измерений, на основе которых построены графики зависимости давления от направления ветра при одновременном учете влажности. Полученные результаты экспериментов показывают, что в схожих метеоусловиях условия повышения влажности до 95% может приводить к 2-3-х кратному повышению акустического давления.



Рисунок 8. Район проведения экспериментов

Ключи, зависимость амплитуды от влажности и направления ветра

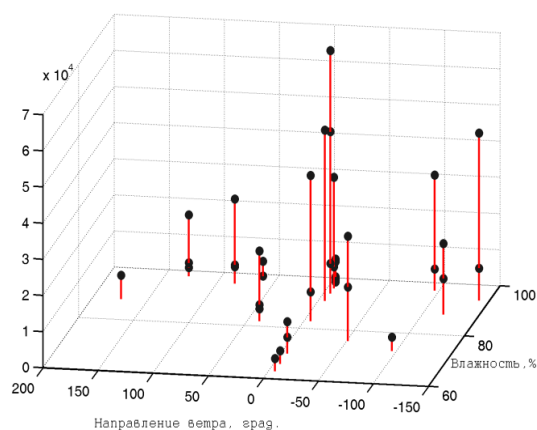
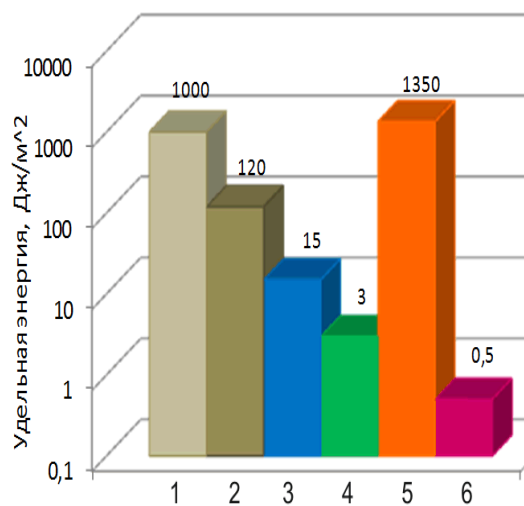


Рисунок 9. Зависимость уровней акустических колебаний вибратора ЦВ-40 на удалении 50 км с учетом направления ветра и влажности



1 – жилое здание при однократном взрыве; 2 – жилое здание при многократных взрывах; 3 – оконное стекло толщиной 2 - 3 мм; 4 – для человека. Значения удельной энергии от взрыва: 5 – на удалении от взрыва 0.5 км; 6 – на удалении 10 км

Рисунок 10. Критические значения удельной энергии для объектов

ОЦЕНИВАНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ОТ ВЗРЫВОВ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Значения экологических рисков может быть оценено удельной плотностью энергии (1). Допустимые акустические воздействия на объекты социальной инфраструктуры определяются табулированными значениями удельной плотности энергии в единицах Дж/м² [11]. В частности, для жилого здания при однократном взрыве критической является величина 1000 Дж/м², для оконного стекла толщиной 2 - 3 мм -15 Дж/м, для человека – 3 Дж/м². По отношению к полигонным взрывам, характеризующимся мощностью в тротиловом эквиваленте около 125 кг, в соответствии с (1) были получены оценки удельной акустической энергии в точках 1 - 11 круговой расстановки (рисунок 2), а также в контрольной точке вблизи взрыва (на удалении от эпицентра ~0.5 км). В качестве примера на рисунке 10 приводятся соотношения значений удельной энергии (2) от взрывов с критическими значениями для разных объектов. Номера столбцов 1 - 4 соответствуют типам объектов, 5, 6- значениям удельной энергии от взрыва на расстояниях от 0.5 и 10 км, соответственно, допустимые и измеренные значения удельной энергии обозначены цифрами над каждым столбцом. Из рисунка 10 видно, что взрыв с тротиловым эквивалентом в 125 кг на удалении ~0.5 км является разрушительным для строений и тем более опасным для человека, поскольку превышение допустимой нормы составляет ~400 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложена и экспериментально реализована методика оценивания экологических рисков для окружающей среды, порождаемых мощными техногенными и природными взрывами. Методика основана на использовании сейсмических вибраторов, отвечающих требованиям геоэкологической безопасности и являющихся одновременно источника-

ми "пары" колебаний - сейсмических и акустических.

2. Получены расчетные зависимости эффекта фокусировки акустических волн в инфранизком диапазоне частот в зависимости от азимута точек наблюдения при разных значениях скорости ветра и расстояниях «источник-приемник». Сопоставление расчетных и экспериментально полученных зависимостей, иллюстрирует более выраженный эффект фокусировки экспериментальных зависимостей.

3. Проведена большая серия экспериментов с использованием сейсмического вибратора ЦВ-40 и полигонных взрывов в комплексе с автономными сейсмостанциями «Байкал» по изучению особенностей распространения акустических и сейсмических волн в широком спектре частот и на разных азимутальных направлениях с учетом геолого- и метеоусловий и параметров обоих источников. На основе экспериментов выявлены и количественно оценены численные параметры фокусировки акустических колебаний по пространству, многократно усиливающие геоэкологическое воздействие массовых взрывов на окружающую среду в определенном направлении, определяемом метеофакторами. Доказано, что даже при слабом ветре 2–4 м/с соотношение максимальных и минимальных уровней акустических волн в зависимости от азимутального направления составляет порядка 50.

4. Сравнительный анализ уровней сейсмических и акустических волн приводит к выводу, что основной экологически опасный эффект воздействия наземных полигонных взрывов определяется акустическими волнами, превышающими энергию сейсмических волн на порядок.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №14-07-00518-а, №12-01-00773-а, гранта НГТУ №С1-20, Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №14.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин, В.В. Геоэкологические последствия массовых химических взрывов на карьерах / В.В. Адушкин, А.А. Спивак, С.П. Соловьев // Геоэкология. Инженерная Геология. Гидрогеология. Геоэкология, 2000. - № 6. - С.554 – 563.
2. Хайретдинов, М.С. Обнаружение и распознавание взрывных источников / М.С. Хайретдинов, С.А. Авроров // Вестник НЯЦ РК, 2012. - вып.2. - С. 17 – 24.
3. Новейший и современный вулканизм на территории России / Под ред. Лаврова Н.П.- М.: Наука, 2005. - 604 с.
4. Краснов, В.М. Акустическое поле на земле при взрыве ракеты-носителя / В.М. Краснов, Я.В. Дробжева, А.Н. Маслов // Вестник НЯЦ, 2006. - вып.2. - С. 79 – 85.
5. Алексеев, А.С. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / А.С. Алексеев, Б.М. Глинский, В.В. Ковалевский, М.С. Хайретдинов [и др.]. Отв. ред. Г.М. Цибульчик.- Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, 2004. - 387с.
6. Алексеев, А.С. Эффект акустосейсмической индукции при вибросейсмическом зондировании / А.С. Алексеев, Б.М. Глинский, С.И. Дряхлов, В.В. Ковалевский [и др.] // Доклады АН, 1996. - т.346, N 5. -С.664 – 667.
7. Глинский, Б.М. Взаимосвязь волновых полей мощных вибраторов с атмосферными и геодинамическими / Б.М. Глинский, В.В. Ковалевский, М.С. Хайретдинов // Геология и геофизика. 1999. - Т.40, №3. – С.431 – 441.
8. Ковалевский, В.В. Исследование акустосейсмических волновых полей, генерируемых поверхностными сейсмическими вибраторами / В.В. Ковалевский //Акуст. журн., 2005/ - т.51. - С.92 – 102.
9. Исакович, А.М. Общая акустика. М.: Наука, 1973ю – 496 с.
10. Разин, А.В. О распространении звука в неоднородной движущейся атмосфере / А.В. Разин //Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1982. - Т.18, №6. С. 674 – 676.
11. Единые правила безопасности при взрывных работах. М.: НПО ОБТ, 1993. - 238с.

**СЕЙСМИКАЛЫҚ ДІРІЛДЕТКІШ ПЕН ЖАРЫЛЫСТАР КӨМЕГІМЕН АКУСТИКАЛЫҚ
ТОЛҚЫНДАРДЫҢ МЕТЕОБАЙЛАНЫСТЫ ТОҒЫСТАУЫН ЗЕРДЕЛЕУ**

¹⁾Ковалевский В.В., ¹⁾Хайретдинов М.С., ¹⁾Воскобойникова Г.М., ²⁾Павлов А.Ф., ¹⁾Седухина Г.Ф.

¹⁾*РФА СБ Есептеу математика және математикалық геофизика институты, Новосибирск қ., Ресей*

²⁾*РФА СБ Геофизикалық қызметі, Новосибирск, Ресей*

Қуатты техногенді және табиғи жарылыстардан туындайтын қоршаған әлеуметтік және табиғи орта үшін геоэкологиялық қауіп-қатердерін болжау проблемасы қарастырылған. Авторлармен әзірленген экологиялық қауіп-қатерлерді болжаудың геоақпараттық технологиясы, сондай-ақ сандық және далалық жэксперименттердің нәтижелері келтіріледі.

**STUDYING OF METEODEPENDENT FOCUSING OF ACOUSTIC WAVES BY MEANS OF THE SEISMIC
VIBRATOR AND EXPLOSIONS**

¹⁾ V.V. Kovalevskiy, ¹⁾ M.S. Khairtdinov, ¹⁾ G.M. Voskoboinikova, ²⁾ A.F. Pavlov, ¹⁾ G.F. Sedukhina

¹⁾*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia*

²⁾*Geophysical Survey of SB RAS, Novosibirsk, Russia*

The paper considered a problem of prediction of geo-ecological risks for surrounding social and natural environment caused by strong man-caused and natural explosions. Geo-information technology of predicting ecological risks developed by the authors as well as the results of numerical and natural experiments are given in the paper.