|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  [Краткие научные отчет](https://kias.rfbr.ru/index.php%22%20%5Co%20%22%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D1%8C%20%D1%81%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B5%20%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D1%8B)ы по проекту РФФИ № 16-07-01052-а

|  |
| --- |
| **Название проекта:** Разработка программно-алгоритмических средств поиска и анализа комплекса информативных факторов взаимодействия геофизических полей разной природы для прогнозирования разрушительных экологических рисков от природно-техногенных взрывов.**Руководитель проекта –** к.т.н. Воскобойникова (Шиманская) Гюльнара Маратовна |
| 2016 год |
| Решение проблемы прогнозирования разрушительных экологических рисков от природно-техногенных взрывов связано с решением многофакторной задачи. Ранее было показано, что при определенных условиях влияние комплекса метеофакторов на распространение инфразвука может приводить к многократному возрастанию геоэкологических рисков. В тоже время существуют факторы, приводящие к обратному эффекту ослабления экологических рисков, обусловленных особенностями распространения инфразвука в приземной атмосфере при наличии снежного покрова, лесного массива, геологической неоднородности рельефа местности и др. Для оценивания воздействия природных факторов на уровни экологических рисков от взрывов в инфранизкочастотном диапазоне возникает необходимость в построении программно-алгоритмического комплекса для изучения процессов распространения акустических колебаний в условиях воздействия ослабляющих факторов. В соответствии с планом на 2016 г. выполнено математическое моделирование процессов совместного распространения сейсмических в земле и акустических в атмосфере (сейсмоакустических) волновых полей от инфранизкочастотного источника с учетом влияния снежного покрова на излучение и распространение волн. Снежный покров рассматривается в виде модели пористой флюидонасыщенной среды, твердый каркас которой составляют частички льда, а поры заполнены воздухом или водой. Рассмотрена задача излучения волн источником, расположенным внутри слоя пористой флюидонасыщенной среды на упругом полупространстве. Реализованы программы моделирования для расчета частотно-временных характеристик, уровней акустического давления колебаний волн с помощью математической модели, основанной на законах сохранения и дифференциальных уравнений для пористой снежной среды (модифицированная модель Био). Получены характеристики излучаемого сейсмоакустического поля. Сделана постановка задачи падения акустической волны на упругое полупространство с пористым флюидонасыщенным слоем на поверхности. Выполнен подбор начальных данных, граничных условий и значений параметров модели. Проведены тестовые расчеты для отладки разработанных программ. Для изучения вклада рельефа местности, лесного массива на распространение акустических колебаний сделан обзор по литературе для выбора модели приповерхностного слоя в задаче моделирования распространения акустических волн инфранизкочастотного диапазона. Выполнены обработка и анализ накопленных экспериментальных данных за период 2013-2015 гг. с помощью программ, реализованных в среде Matlab. Получены одновременно оценки акустического давления на акустограммах и уровней колебательной скорости сейсмических волн на сейсмограммах в экспериментах с сейсмическим вибратором ЦВ-40. Эксперименты носили всесезонный характер, проводились в условиях наличия разных метеоусловий, состояний дневной поверхности земли (наличии-отсутствия снежного покрова), расстояний и азимутальных направлений «источник-приемник». |
| 2017 год |

 |

В текущем году была рассмотрена задача взаимодействия акустических волн, распространяющихся через лесной массив, растущий на грунте и сейсмических волн, возникающих в грунте. Стояла проблема изучить диссипативные свойства леса в зависимости от его характеристик. Был сделан обзор отечественной и зарубежной литературы, связанной с решением задач газовой динамики, а также по проблеме, связанной с влиянием растительного массива на распространение акустических волн, в том числе гармонических.

Разработана трехслойная модель «воздух - лес - грунт» взаимодействия гармонических колебаний с растительным массивом. Построена и решена система дифференциальных уравнений на основе уравнений Эйлера газовой динамики, а также волновых уравнений. Данная система с условиями на границах, описывает распространение падающих и отраженных акустических волн в воздухе и лесном массиве с учетом диссипации, а также преломленных и отраженных сейсмических волн в упругой среде (грунте) для трехслойной модели: «воздух - лес - грунт». Вычислены амплитуды и коэффициенты отражения и преломления в случае падения акустической волны на грунт; получено отношение энергии преломленных волн к энергии падающей акустической волны. Реализованы программы моделирования для расчета уровней акустического давления колебаний волн с помощью математической модели, дифференциальных уравнений. Проведены тестовые расчеты для разработанных моделей.

Отмечено, что лес имеет сильное влияние на передачу энергии в грунт, которая может уменьшаться более чем на порядок. Полученные численные результаты согласуются с результатами полевых экспериментов с вибрационным источником.

2018 год

В соответствии с планом проекта выполнены математическое моделирование процессов совместного распространения сейсмических и акустических волновых полей от инфранизкочастотного источника с учетом влияния следующих факторов: снежного покрова, растительного массива, рельефа местности. Для проведения расчетов реализованы программы расчета уровней давления акустических колебаний с учетом выбора параметров численной модели и задания граничных условий, приближенных к реальным условиям. Одновременно оценены уровни акустического давления и колебательной скорости сейсмических волн по экспериментально полученным данным удаленной регистрации обоих типов волн от сейсмического вибратора ЦВ-40. Получены теоретические и экспериментальные оценки соотношений обоих типов волн, доказывающие явно выраженную зависимость акустических и поверхностных сейсмических волн, степень связи между которыми определяется параметрами снежного покрова. С целью анализа роли растительного массива в понижении уровней акустических колебаний от взрывов на инфранизких частотах выполнено математическое 2D моделирование процессов распространения инфразвуковых акустических колебаний в нижней атмосфере при наличии растительного массива с учетом вносимой при этом силы трения. Разработаны и реализованы алгоритм и программа расчета уровней акустического давления в разных средах с применением волнового уравнения для атмосферы, уравнений газовой динамики Эйлера для растительного покрова. В связи с решением задача оценивания влияния разновысотного рельефа дневной поверхности земли на затухание акустических колебаний был разработан алгоритм численного моделирования распространения акустических колебаний в условиях криволинейной границы раздела Земля-Атмосфера. С учетом высотных профилей плотности и скорости звука получены результаты численного моделирования, позволившие исследовать влияние рельефа местности на распространения инфразвуковых волн и эффект взаимодействия между волнами в системе «литосфера-атмосфера». Показано влияние разновысотного рельефа Земли на структуру волнового акустического поля в зависимости от соотношения длина волны от сосредоточенного источника, расположенного вблизи границы раздела, а также размеров неоднородности дневной поверхности.