

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР
имени академика М. А. Садовского
Российской академии наук

ОТЧЕТ О НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИДГ РАН В 2021 г.

**Москва
2022**

Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2021 г.

М.: ООО «МАКИН-ПРИНТ». 2022. – 52 с.

Сборник содержит информацию об основных научных результатах, полученных сотрудниками ИДГ РАН в 2021 году. Приводится библиографический список опубликованных статей в периодических изданиях, включенных в базу реферативной информации: Web of Science, Scopus, систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Google Scholar и др. в 2021 г.

Ответственный редактор:
д.ф.-м.н., профессор *Г. Г. Кочарян*
Компьютерная подготовка
оригинал-макета: *В. В. Ежакова*

ВВЕДЕНИЕ

В 2021 году, юбилейном для Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук, научные исследования выполнялись в рамках основного направления деятельности Института – изучения взаимодействия природных явлений и техногенных процессов. Методология решения широкого круга научных задач в ИДГ РАН основывается на подходах традиционных для, основанной М. А. Садовским научной школы Спецсектора Института химической физики АН СССР, (с 1963 г. — Спецсектор ИФЗ АН СССР) — коллектива, от которого берет начало наша организация. Используемые подходы, как правило, основаны на данных наблюдений за крупномасштабными процессами и обобщении полученных результатов на основе фундаментальных теоретических разработок и оригинальных моделей, базирующихся, в том числе, на данных лабораторных и численных экспериментов.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОВОДИЛИСЬ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОСНОВНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

- ▲ Геомеханика блочных структур и разломов земной коры, триггерные эффекты в геосистемах, техногенная сейсмичность, подземная флюидодинамика, безопасное и эффективное освоение земных недр, сейсмология, изучение структур Земли сейсмическими методами, пространственные модели строения литосферы, сейсмический мониторинг природных и промышленных объектов, сейсмология взрывов (руководитель д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН).
- ▲ Приповерхностная геофизика, взаимодействие геосфер, преобразование и взаимодействие физических полей в приповерхностной зоне Земли, их связь с процессами во внутренних и внешних геосферах (руководитель д.ф.-м.н. А. А. СПИВАК).
- ▲ Динамические, радиационные и плазмохимические процессы в ионосфере и атмосфере Земли, физические поля и токи в геосферах, распространение электромагнитных волн в возмущенной среде, ионосферно-магнитосферные связи и взаимодействия (руководитель к.т.н. А. Н. ЛЯХОВ).
- ▲ Процессы при экстремальных воздействиях на геосферы (взрывах, извержениях вулканов, внедрении внеземных тел и их ударов по поверхности Земли) и их последствия, разработка компьютерных моделей крупномасштабных природных катастроф (руководитель д.ф.-м.н. В. В. ШУВАЛОВ).
- ▲ Комплексное приборное, методическое и геофизическое обеспечение наблюдений, развитие центров мониторинга динамики физических полей Земли. Разработка и изготовление адаптивных оптических систем для управления параметрами мощного лазерного излучения, а также компенсации искажений светового излучения в условиях атмосферной турбулентности (руководитель д.ф.-м.н. С. Б. ТУРУНТАЕВ).

Важнейшие результаты, полученные в 2021 году, основаны на новых материалах, полученных в ходе решения задач, сформулированных в Плане фундаментальных исследований Государственных академий наук, грантах РФФИ, исследований, проводимых в рамках договоров с другими организациями. При выполнении работ обобщены и систематизированы уникальные результаты инструментальных наблюдений за магнитными эффектами в приземном слое атмосферы, разработана новая плазмохимическая модель нижней ионосферы, проведено численное моделирование последствий падения десятикилометровых астероидов на твердую поверхность Земли и в океан глубиной от 1 до 7 км. Рассмотрена механика и флюидодинамика целого ряда процессов, сопровождающих разработку месторождений твердых полезных ископаемых и углеводородов, включая задачи геодинамической безопасности флюидных систем на шельфе. Продолжены исследования тонкой структуры ядра Земли, геомеханики разломных зон, строения и диссипативных свойств Центральной части Восточно-Европейской платформы. Создан новый, уникальный лабораторный стенд, предназначенный для исследования процессов скольжения по существующему разлому длиной около 80 см в диапазоне нормальных давлений до 20 МПа. В России подобные установки отсутствуют, а в мире существует лишь несколько аналогов. Проводится мониторинг акустических полей, включая эффекты сильных землетрясений, волновых возмущений и вариаций электрических характеристик атмосферы при магнитных бурях. Исследуются комплексные проблемы воздействий на геосферы внедряющихся космических тел. Развиваются новые методы измерения параметров ионосферы–магнитосферы. Решаются задачи применения современных разработок в области адаптивной оптики при выполнении оптических измерений в атмосфере Земли, астрономических наблюдений, в беспроводной оптической связи, медицине, микроскопии и т.д.

В 2021 г. по решению Ученого совета ИДГ РАН на территории ГФО «Михнево» была организована новая уникальная научная установка – Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево» (УНУ СКГН «Михнево»).

Выполнялись исследования в интересах организаций оборонного комплекса, предприятий горнодобывающей промышленности и др.

Результаты выполнения Государственного задания учеными Института в 2021 г. опубликованы в 139 публикациях, в том числе: 4 монографии, 98 статей, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science, 37 – индексируемых в РИНЦ.

Вышел в свет очередной, тринадцатый, сборник научных трудов ИДГ РАН «Динамические процессы в геосферах».

Традиционно, большое внимание уделяется подготовке кадров. Ведущие специалисты Института преподают на базовой кафедре **Теоретическая и экспериментальная физика геосистем** Московского физико-технического института, в аспирантуре ИДГ РАН.

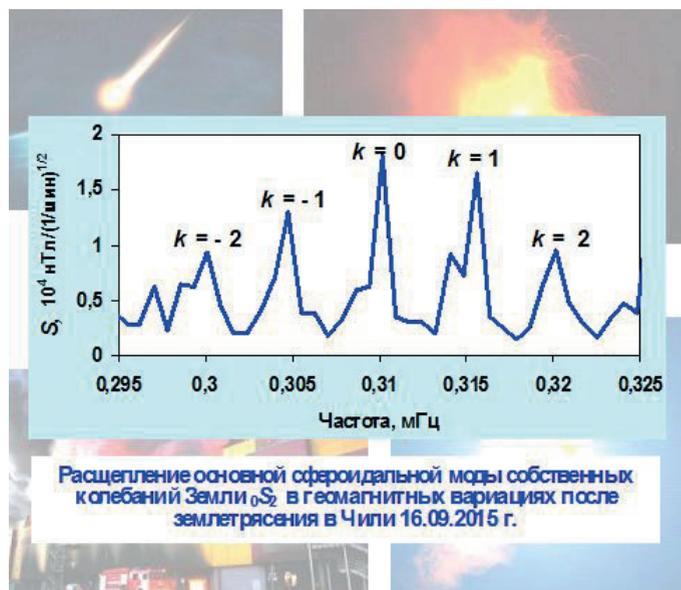
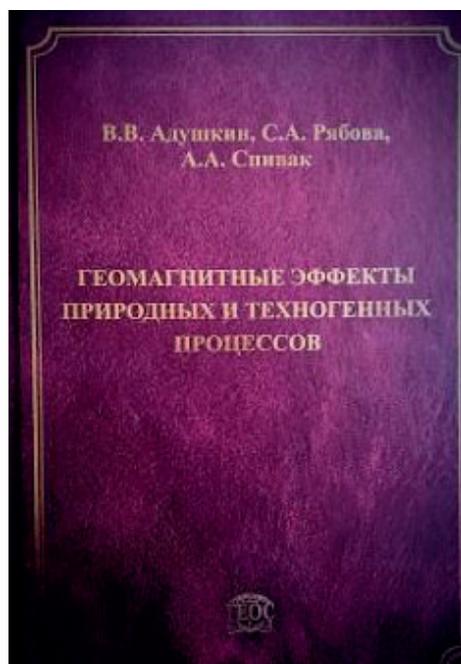
Ниже приведены краткие сведения о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН в 2021 году.

Важнейшие результаты научных исследований ИДГ РАН за 2021 год

ГЕОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Исполнители: академик РАН В. В. Адушкин, к.ф.-м.н. С. А. Рябова, д.ф.-м.н. А. А. Спивак

В монографии «Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов» обобщены и систематизированы уникальные результаты инструментальных наблюдений за магнитными эффектами в приземном слое атмосферы. Рассмотрены геомагнитные эффекты, вызванные землетрясениями, вулканическими извержениями, падением болидов, собственными колебаниями Земли, а также гравитационным взаимодействием в системе Земля-Луна-Солнце. Рассмотрено влияние магнитных бурь на колебательные процессы в атмосфере и вариацию ее электрических характеристик. Приведены результаты наблюдений за магнитными эффектами при распространении сейсмических волн, изменении режима подземных вод и сильных атмосферных явлений в виде ураганов, шквалов и гроз. Проанализированы вариации геомагнитного поля, сопутствующие техногенным событиям, такие как аварийные взрывы, крупные пожары и запуски ракет носителей. Полученные данные могут служить основой для верификации имеющихся и вновь создаваемых теоретических и расчетных моделей геофизических процессов, протекающих в приповерхностной зоне Земли.



Расщепление основной сферической моды собственных колебаний Земли ${}_0S_2$ в геомагнитных вариациях после землетрясения в Чили 16.09.2015 г.

Публикации:

Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А.
Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС, 2021. – 264 с.: 147 ил. ISBN 978-5-89118-834-1.

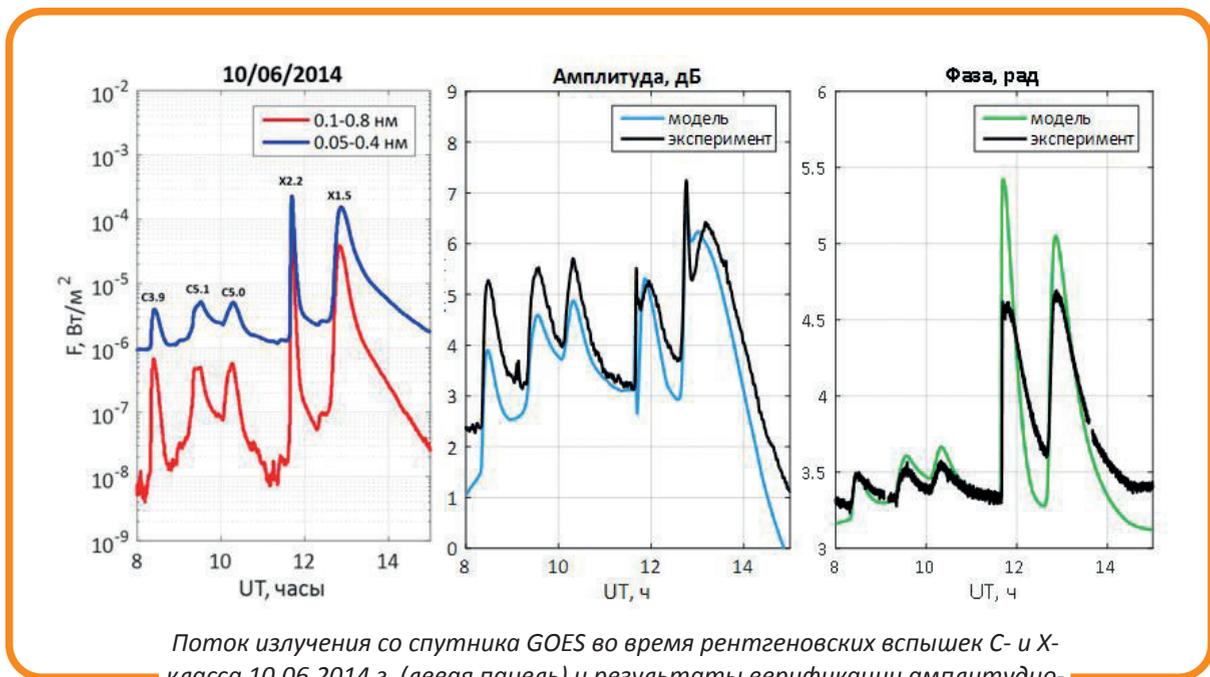
Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ. Тема: Возмущение геофизических полей в Московском мегаполисе (№ АААА-А19-119021890067-0).

АССИМИЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ СОЛНЕЧНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК

Исполнители: кандидаты физ.-мат.наук С. З. Беккер, И. А. Ряховский, Ю. А. Корсунская

Для решения фундаментальной проблемы влияния солнечной активности на климат средней атмосферы Земли разработана новая плазмохимическая модель нижней ионосферы, включающая расширенный набор фотохимических реакций. В основу модели положена схема ионизационно-рекомбинационного цикла, входными данными которой являются спутниковые наблюдения за параметрами нейтральной атмосферы (ИСЗ AURA) и потоками жесткого электромагнитного излучения Солнца (ИСЗ GOES и SDO).

Сравнение результатов численного моделирования с данными наземных радиофизических измерений Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН дает основание утверждать, что новая модель обладает высоким прогностическим потенциалом для решения задач распространения радиоволн СДВ-ДВ диапазона. Модель впервые позволила количественно воспроизвести отклик параметров нижней ионосферы на рентгеновские солнечные вспышки различных классов.



Поток излучения со спутника GOES во время рентгеновских вспышек C- и X-класса 10.06.2014 г. (левая панель) и результаты верификации амплитудно-фазовых характеристик на СДВ-трассе GQD-Михнево (средняя и правая панели)

Публикации:

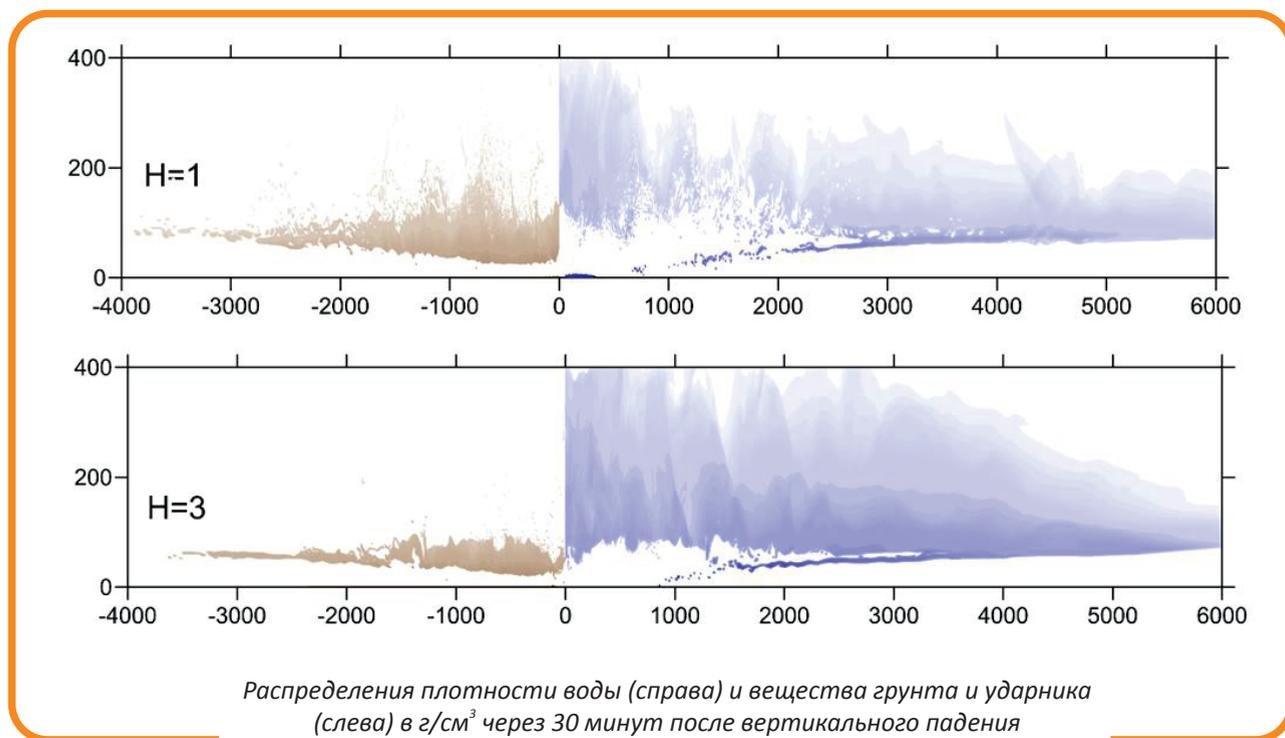
1. Bekker S.Z., Ryakhovsky I.A., Korsunskaya J.A. **Modeling of the lower ionosphere during solar X-ray flares of different classes** // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2021. 126. e2020JA028767. <https://doi.org/10.1029/2020JA028767>.
2. Беккер С.З. **Верификация плазмохимических моделей D-области ионосферы по радиофизическим данным геофизической обсерватории «Михнево»** // Геомагнетизм и аэрономия. 2022. № 2.

Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ. Тема: **Исследование процессов в ионосфере при воздействии рентгеновского и гамма-излучения Солнца** (№ AAAA-A19-1190282790056-6).

ВЫБРОС ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРУ ПРИ ПАДЕНИИ ДЕСЯТИКИЛОМЕТРОВЫХ АСТЕРОИДОВ В ОКЕАН

Исполнитель: д.ф.-м.н. В. В. Шувалов

Проведено численное моделирование последствий падения десятикилометровых астероидов на твердую поверхность Земли и в океан глубиной от 1 до 7 км. В расчетах получены максимальные массы выброшенных в атмосферу воды и грунта, а также массы воды и грунта, оставшиеся в атмосфере через 30 минут после удара. Показано, что при глубинах вплоть до 3 км максимальная масса выброшенного в атмосферу вещества грунта не более чем в 2-3 раза отличается от массы выбросов при падении астероида на твердую поверхность. Более того, масса вещества грунта, остающаяся в атмосфере после осаднения в поле тяжести при глубинах до 5 км, даже больше, чем при падении на твердую поверхность. И только при глубинах порядка 7 км и больше (около 1% от поверхности Земли) выбросы твердого вещества заметно уменьшаются по сравнению с выбросами при падении астероидов на сушу. Кроме того, при ударах в воду в атмосферу выбрасывается большое количество воды и содержащихся в ней солей. Таким образом, при падении астероидов размером порядка десяти километров в океан воздействие на атмосферу Земли будет не менее сильным, чем при падении астероидов на сушу.



Распределения плотности воды (справа) и вещества грунта и ударника (слева) в г/см^3 через 30 минут после вертикального падения десятикилометрового астероида в океан глубиной H 1 и 3 км. Все расстояния измерены в километрах

Публикации:

1. *Shuvalov V.V. Release of Matter into the Atmosphere During the Fall of Ten-Kilometer Asteroids into the Ocean // Solar System Research, 2021, 55, 2, p. 97–105. DOI: 10.1134/S003809462101007X.*

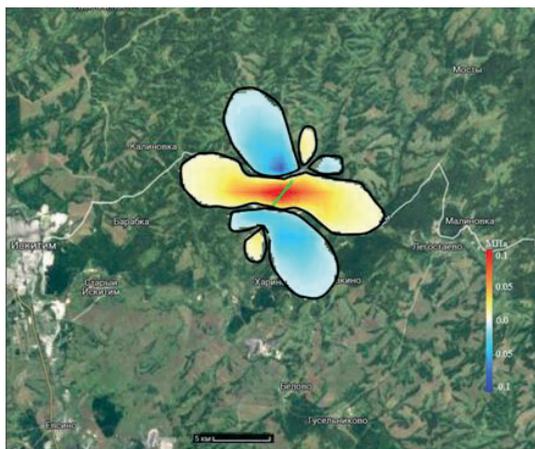
Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ. Тема: **Разработка комплексной модели воздействия на внутренние и внешние геосферы внедряющихся космических тел и оценка последствий таких падений** (№ 121121300382-6).

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНЫХ РАБОТ, ПРОВОДИМЫХ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ ГОРЛОВСКОГО БАСЕЙНА, НА ОЧАГИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ МАГНИТУДЫ

Исполнители: д.ф.-м.н. Г. Г. Кочарян, д.т.н. А. М. Будков, кандидаты физ.-мат.наук С. Б. Кишкина, Г. Н. Иванченко, Д. Н. Локтев

Рассмотрена механика воздействия горных работ, проводимых на угольных разрезах Горловского бассейна, на очаги землетрясений значительной магнитуды, произошедших на территории Искитимского района Новосибирской области. Выполнены аналитические и численные расчеты влияния таких факторов, как сейсмическое воздействие массовых взрывов, выемка и перемещение горной массы.

Все землетрясения в Искитимском районе, эпицентры которых расположены на удалении более 1–2 км от границ карьера, имеют природное происхождение. Значимые землетрясения, гипоцентры которых будут расположены непосредственно под карьерами или в непосредственной близости, могут гипотетически быть отнесены к инициированным событиям, но их сейсмический эффект будет, скорее всего, сопоставим с эффектом массовых взрывов. Установлено, что наиболее опасным фактором является образование выемки большого размера в результате извлечения горной породы. Образование карьеров потенциально может привести к инициированию значимых сейсмических событий с магнитудой до 3,5–4,5. Инициирование событий с большей магнитудой крайне маловероятно из-за недостаточно большой площади выемки. Наличие отвалов существующих размеров в большинстве случаев не приводит к стимулированию сейсмической активности. Напротив, пригрузка свободной поверхности может несколько снизить возможные негативные эффекты от наличия рядом глубоких карьеров. Инициирование землетрясения значительной магнитуды воздействием сейсмических колебаний от взрыва, скорее всего, невозможно.



Расчетные области изменения кулоновских напряжений в результате Кольванского землетрясения 2019 года (Искитимский район, Новосибирская область). Теплые цвета – смещение напряженно-деформированного состояния в сторону неустойчивости; холодные – наоборот

Публикации:

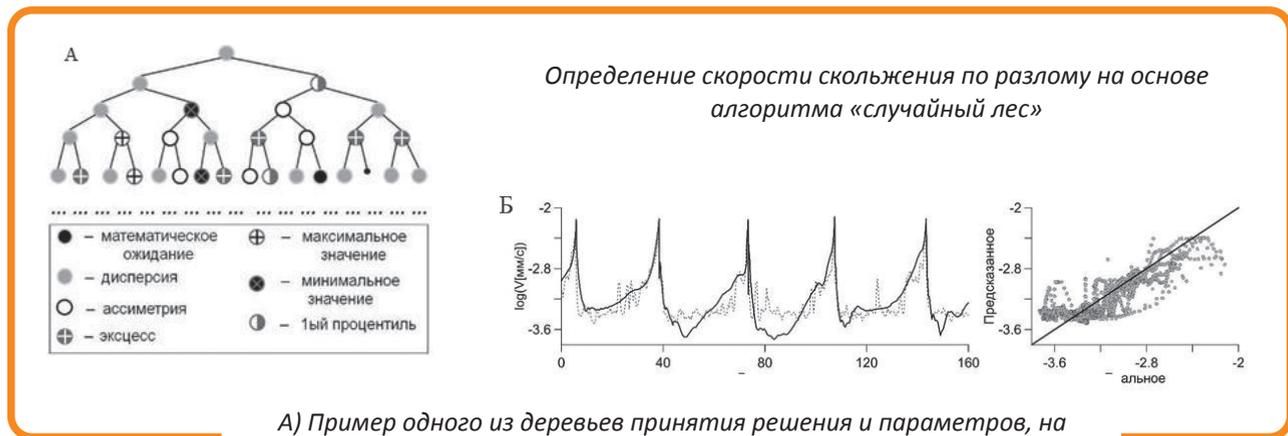
1. Кишкина С.Б. и др. (2021). **Воздействие горных работ разрезов Горловского бассейна на очаги землетрясений значительной магнитуды** // ФТПРПИ, DOI: 10.15372/FTPRPI20210402.

Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ. Тема: **Развитие методов сейсмического мониторинга участков расположения горных предприятий и особо ответственных инженерных объектов с целью оценки риска возникновения геодинамических процессов негативно влияющих на инфраструктуру и население** (№ АААА-А17-117112350020-9) и при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00378).

МЕТОД СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАЗЛОМА, СЛОЖЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННЫМ МАТЕРИАЛОМ

Исполнители: к.ф.-м.н. А. А. Остапчук, аспирант К. Г. Морозова, к.ф.-м.н. Д. В. Павлов, д.ф.-м.н. Г. Г. Кочарян, аспирант Г. А. Гридин

Согласно современным представлениям, основным механизмом землетрясений в верхней коре является скольжение по тектоническим разломам. Незначительное изменение структуры зоны сместителя, нарушенности массива, флюидного режима и напряженно-деформированного состояния может привести к изменению режима скольжения по разломам. Динамика потока сейсмоакустических импульсов, сопровождающих скольжение по разлому, отражает закономерности эволюции механических характеристик разлома. Разработанный метод количественной категоризации позволяет выделить в потоке импульсов две независимые группы, которые характеризуют процессы самоорганизации разлома, протекающие в его центральной части. Использование метода количественной категоризации в совокупности с алгоритмом машинного обучения «случайный лес» позволяет с высокой точностью определить ожидаемые величины скорости скольжения по разлому и времени генерации как быстрых, так и медленных динамических событий. Разрабатываемый подход по определению характеристик скольжения может оказаться перспективным для создания новых методов мониторинга напряженных массивов при ведении горных работ.



Публикации:

1. Остапчук А.А., Кочарян Г. Г., Морозова К. Г., Павлов Д. В., Гридин Г. А. Особенности формирования динамического сдвига в тонком слое гранулированного материала // Физика Земли, 2021, № 5, с. 91-103.

DOI: 10.31857/S0002333721050136.

2. Ostapchuk A. Morozova K, Markov V, Pavlov D and Popov M. (2021). Acoustic Emission Reveals Multiple Slip Modes on a Frictional Fault // Front. Earth Sci., 2021. No.9. Article: 657487.

DOI: 10.3389/feart.2021.657487.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда. Тема: **Применение современных методов анализа данных для решения задач геомеханики разломных зон приповерхностной области континентальной коры** (проект № 20-77-10087).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУЦИРОВАННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ 2-Х ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЗАКОНА RATE-AND-STATE

Исполнители: аспирант В. Ю. Рига, д.ф.-м.н. С. Б. Турунтаев

Рассматривается вопрос численного моделирования сейсмичности, индуцированной закачкой флюида в недра. Одним из важных факторов, определяющих динамику скольжения тектонических разломов в процессе воздействия, является вид закона трения, действующего на берегах разломов. Представлена физически полная модель вложенных трещин, позволяющая моделировать процесс фильтрации флюида в породе, содержащей трещины или разломы, с учетом изменения фильтрационных свойств последних. Процесс деформации разлома описывается с использованием метода разрывных смещений. Модель применяется для анализа результатов натурного эксперимента по закачке воды в разлом на юге Франции и индуцированной сейсмичности в районе г. Базель (Швейцария), возникшей в ходе реализации проекта по использованию геотермальной энергии. Исследуется развитие подвижек разлома в зависимости от различных параметров: свойств разлома, фильтрационных свойств породы, параметров закачки. Найдены условия, при которых в рамках предложенной модели возможно возникновение сейсмических подвижек. Полученные результаты могут быть использованы для построения реалистичных сценариев развития сейсмической активности в районах воздействия на подземные флюидные системы.



Хаотизация скольжения по разлому при закачке жидкости, трехмерные фазовые портреты в координатах смещений – скорость смещений – касательные напряжения: а) периодические подвижки, б) сейсмогенерирующие хаотические подвижки

Публикации:

1. Riga V. Yu., and Turuntaev S. B. **Induced Seismicity Modeling Based on Two-Parameter Rate-and-State Law** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2021, Vol. 57, No. 5, pp. 627–643.

Работа выполнена в рамках гос. задания Министерства науки и высшего образования РФ. Тема: **Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа (№ 121121000250-1)**

Практическое применение разработок по результатам НИР

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ АААА-А19-119021890087-8), рук. проекта к.ф.-м.н. С. Б. КИШКИНА
Авторы: кандидаты физ.-мат. наук А. Н. БЕСЕДИНА, Н. В. КАБЫЧЕНКО, аспирант З. З. ШАРАФИЕВ*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПОЛОСЫ ДАТЧИКА В СТОРОНУ ВЕРХНИХ ЧАСТОТ

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Разработано устройство для расширения рабочей полосы сейсмического датчика в область верхних частот без возникновения резонанса на верхней граничной частоте. Приборная схема подходит для расширения частотного диапазона датчиков с передаточной функцией первого и второго порядка. Схема коррекции второго порядка состоит из двух идентичных каскадов первого порядка, соединенных последовательно. Разработанная схема приборной коррекции позволяет расширить частотные характеристики сейсмометра СМ-ЗКВ в область высоких частот от 40 до 400 Гц.

ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Устройство может найти применение при организации сейсмических наблюдений в ближней и промежуточной зонах массовых взрывов на горнодобывающих предприятиях, а также при исследовании реакции зданий и инженерных сооружений на сейсмическое воздействие.

СТЕПЕНЬ ГОТОВНОСТИ РАЗРАБОТКИ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ

Разработана инструментальная модель устройства коррекции на примере короткопериодного сейсмометра СМ-ЗКВ.

ВОЗМОЖНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ И/ИЛИ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ

Значительное снижение стоимости установки сейсмических сетей на основе короткопериодных датчиков с расширенными характеристиками в область высоких частот, возможность организации более плотных сетей наблюдения при проведении сейсмических измерений.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ИЗВЕСТНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ

В России направлением, связанным с расширением частотных характеристик первичных преобразователей, занимается группа исследователей из Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, однако они рассматривают численную коррекцию только в область низких частот с помощью низкочастотной деконволюции [Юшин, 2001; Дергач и др., 2018]. Приборные разработки в этом же направлении (также в область низких частот) представлены за рубежом, например, в Национальном институте геофизики и вулканологии в Италии [Romeo, 2012; 2013; Vitale et al., 2018].

СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ И ПАТЕНТНОЙ ЗАЩИТЕ РАЗРАБОТКИ

Подана заявка на патент полезной модели устройства.

Результаты, полученные Институтом в 2021 году, по темам Государственного задания

№ АААА-А19-119022090015-6 Построение пространственной модели диссипативных свойств территории Центральной части Восточно-Европейской платформы и структуры ядра Земли на основе дистанционного контроля за вариациями динамических параметров сейсмических волн от природных и техногенных источников (рук. проекта д.ф.-м.н. И. А. САНИНА)

I. На основе, разрабатываемого в ИДГ РАН подхода к выделению сверхслабых событий с помощью кросс-корреляции волновых форм, предложен новый метод дистанционного обнаружения и дискриминации событий, находящихся на расстоянии менее одной длины волны, позволяющий значительно повысить надежность обнаружения с одновременным снижением порога обнаружения и оценкой относительной магнитуды событий. Предложенная методика была апробирована методом анализа афтершоков двух взрывов КНДР-5 (09.09.2016 г.) и КНДР-6 (03.09.2017 г.).

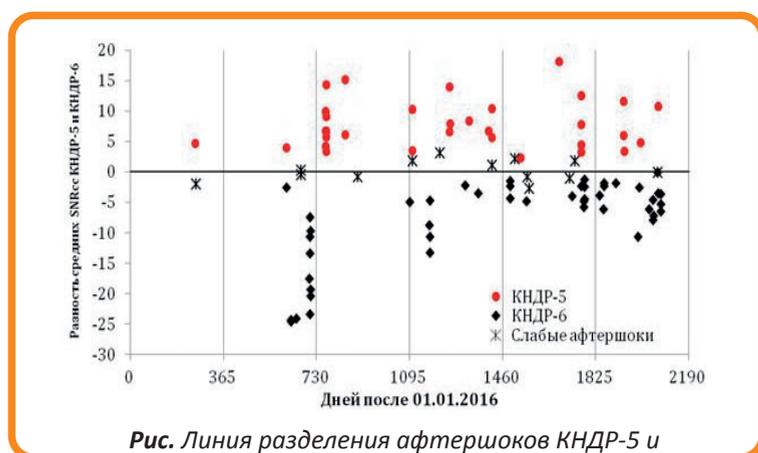


Рис. Линия разделения афтершоков КНДР-5 и КНДР-6 по разности среднего значения отношения сигнал/шум, SNR_{сс}, на кросс-корреляционных трассах

Для восстановления серии афтершоков и единообразной оценки параметров обнаруженных событий были обработаны данные сейсмических станций MCM USRK и KSRS, расположенных на расстоянии около 4° от места проведения испытаний, за период с 01.01.2016 по 20.05.2021 г. Впервые удалось проследить развитие во времени чередующихся всплесков афтершоковой активности двух кластеров, вызванное взаимодействием столбов обрушения полостей, созданных двумя взрывами. На рис. представлен результат разделения на кластеры двух афтершоковых последовательностей, а также их чередование во времени.

Длительность, интенсивность и чередующийся характер двух последовательностей уникальны и предполагают механизмы высвобождения энергии, связанные со взаимодействием зон разрушения взрывов КНДР-5 и КНДР-6, расположенных на разных глубинах и имеющих в разы отличающиеся линейные размеры из-за различия энергии этих взрывов примерно на порядок величины. Относительные магнитуды афтершоков не демонстрируют значительного уменьшения со временем. Суммарная энергия, высвободившаяся на данный момент в последовательности, может указывать на то, что процесс не завершен. В конечном итоге столбы обрушения полостей КНДР-5 и КНДР-6 могут выйти на поверхность в ближайшие годы и, возможно, образовать провальную воронку. Предложенная методика может быть применена для контроля за наведенной сейсмичностью при разработке месторождений углеводородов и твердых полезных ископаемых, мониторинга состояния особо ответственных объектов и т.д.

Публикации:

1. Adushkin V.V., Kitov I.O., Sanina I.A. **Clusterization of Aftershock Activity of Underground Explosion in North Korea** // *Doclady Earth Sciences*, 2021, vol. 501, part 1, p. 955-958. DOI: 10.1134/S1028334X21110039.

II. 1. Проведен анализ амплитуд и периодов, отраженных от поверхности внутреннего ядра Земли волн PKiKP, возбужденных мощным землетрясением в Охотском море 24 мая 2013 г. и зарегистрированных на 53 сейсмических станциях на расстояниях от 4° до 110° . Основная особенность данных – аномально большие значения амплитуд на эпицентральных расстояниях от 55° до 85° . Экспериментальные данные сопоставлены с теоретическими (см. рис.), рассчитанными для 3-х возможных механизмов формирования аномалии, из которых наилучшее согласие достигается в зоне прозрачности для модели с регулярными синусоидальными вариациями рельефа с латеральным размером 20 км и высотой рельефа 3 км. Высота рельефа по вариациям амплитуды в области зондирования радиусом порядка 300 км относительно проекции гипоцентра землетрясения на поверхность внутреннего ядра не превышает 1 км при регулярном изменении рельефа и 5 км – при наличии фракталов, как и по вариациям времени пробега.

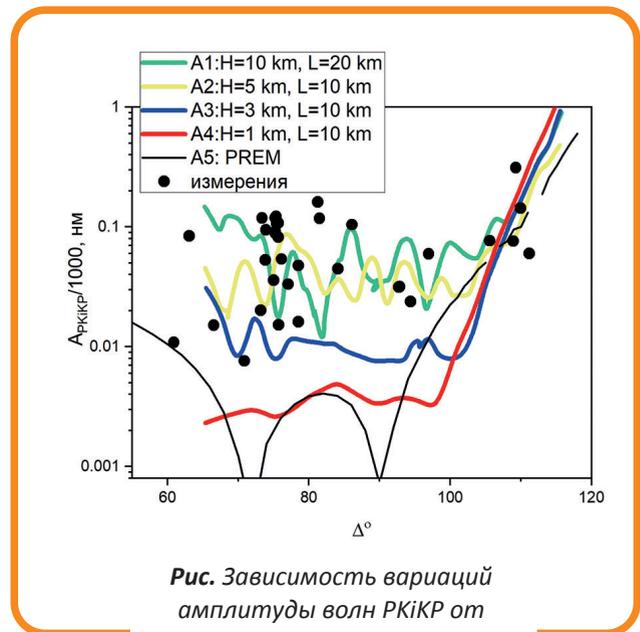
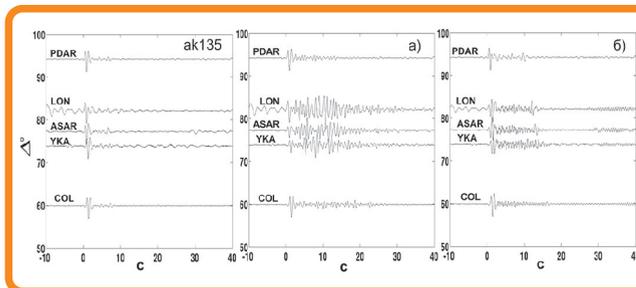


Рис. Зависимость вариаций амплитуды волн PKiKP от эпицентрального расстояния при различных параметрах рельефа поверхности внутреннего ядра

2. Проведено численное моделирование коды волны PKiKP для экспериментально полученного ранее фактора поглощения $Q = 450 \pm 45$ и длительности коды 30–50 с. Показано, что механизм формирования коды с указанным значением Q и длительностью может быть обусловлен как случайными неоднородностями в верхней части внутреннего ядра с характерным линейным размером 1–4 км и вариациями скорости продольных волн порядка 1–3%, так и регулярными неоднородностями с линейным размером 3–7 км и вариацией скорости 1,5% в переходной зоне толщиной 100 км.



Синтетические сейсмограммы в зоне волны PKiKP (50-ти секундное временное окно) для стандартной модели ак135 и моделей со случайными неоднородностями (а) и регулярными (б) для различных эпицентральных расстояний от 60° до 95° . Сейсмограммы выровнены относительно вступления волны PKiKP и масштабированы на максимальную амплитуду волны PKiKP

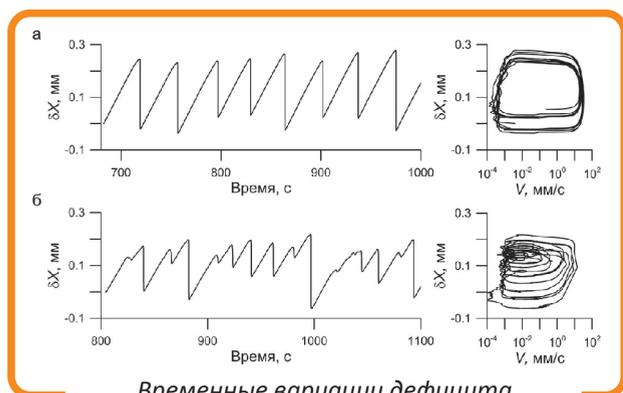
Публикации:

1. Овчинников В.М., Усольцева О.А. **О рельефе поверхности внутреннего ядра Земли** // *Динамические процессы в геосферах*, вып. 13: Сб. научных трудов ИДГ РАН. М. : Графитекс. 2021.
2. Krasnoshchekov, D., Ovtchinnikov V., Usoltseva O.A. **Mechanical Q-Factor in the Earth's Upper Inner Core Inferred from PKiKP Coda Waves** // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2021, Vol. 57, No. 5, pp. 593–604. DOI: 10.1134/S106935132105014.

№ 121121300380-2 Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях (рук. проекта д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН)

Лабораторные исследования демонстрируют возможность рассмотрения модельного разлома как двухкомпонентной динамической системы.

Скольжение модельного разлома контролируется процессами формирования и разрушения в центральной части конгломератов нагруженных частиц. Занимая относительно малый объем, данные образования являются естественными границами других, относительно разгруженных областей. В условиях стохастического процесса формирования динамических событий базовые представления о формировании в центральной зоне разлома двух динамических подсистем – нагруженных конгломератов гранул и относительно разгруженных областей – могут лежать в основе метода пассивного акустического контроля состояния модельного разлома. Выделение в потоке импульсов АЭ проявлений эволюции двух динамических подсистем делает возможным определение времени динамического события не только для регулярного, но и для нерегулярного режима скольжения.



Временные вариации дефицита перемещения (ΔX) при регулярном (а) и нерегулярном (б) режимах скольжения. Справа представлены фазовые портреты реализованных режимов скольжения блока

Публикации:

1. Ostapchuk A., Morozova K., Markov V., Pavlov D. and Popov M. **Acoustic Emission Reveals Multiple Slip Modes on a Frictional Fault** // Front. Earth Sci. 2021. V. 9. No. 657487, doi: 10.3389/feart.2021.657487.
2. Остапчук А.А., Кочарян Г.Г., Морозова К.Г., Павлов Д.В., Гридин Г.А. **Особенности формирования динамического сдвига в тонком слое гранулированного материала** // Физика Земли. 2021. № 5. С. 91-103.

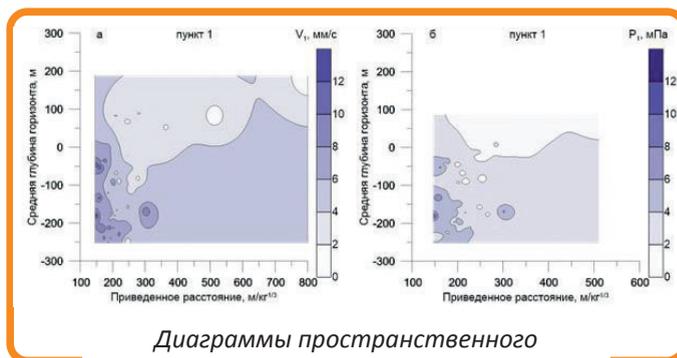
2. В платформенных условиях определены амплитуды гидрогеологических откликов, связанных с прохождением сейсмических волн от удаленных землетрясений (территория ГФО «Михнево») и массовых взрывов от разрабатываемых железорудных месторождений КМА [1, 2].

Установлена степенная зависимость между реакцией системы «пласт-скважина», максимальной скоростью смещения грунта, приведенным расстоянием. Отмечено, что реакция системы «пласт - скважина» на сейсмическое воздействие обусловлена локальными геолого-структурными условиями и зависит от глубины расположения подрываемых групп блоков, приведенного расстояния и скорости смещения грунта.

При относительной деформации карбонатного массива более $2 \cdot 10^{-7}$ и рудно-кристаллического массива $2 \cdot 10^{-6}$ прослежены постсейсмические эффекты, которые могут быть связаны с локальным проявлением скин-эффекта в околоскважинном пространстве.

Публикации:

1. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Батухтин И.В., Петухова С.М. **Прецизионный гидрогеологический мониторинг в техногенно-нарушенных условиях: организация, проведение и обработка экспериментальных данных** // Сейсмические приборы. 2021а. Т. 57, № 2. С. 62–80. <https://doi.org/10.21455/si2021.2-4>.
2. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Батухтин И.В., Петухова С.М. **Реакция водонасыщенных коллекторов на динамическое воздействие (по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод)** // Физика Земли. 2021б. № 5. С. 74–90. DOI: 10.31857/S0002333721050070.

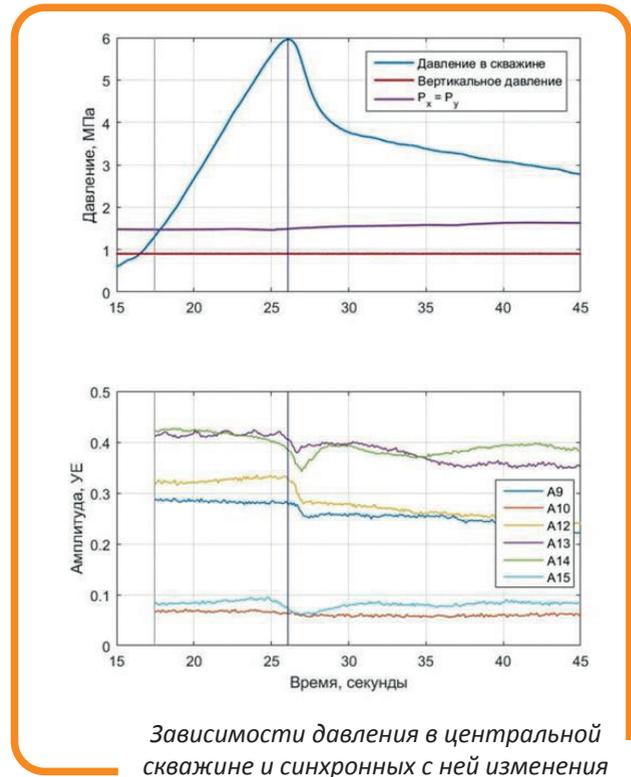


Диаграммы пространственного распределения максимальных значений скорости смещения грунта (а) и вариаций давления в системе «пласт-скважина» (б) в пункте 1 при массовых взрывах в карьере Лебединского ГОКа

1. ДИНАМИКА РОСТА ТРЕЩИНЫ ГИДРОРАЗРЫВА ПО ДАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА В ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Данные акустического просвечивания, полученные в лабораторном эксперименте, были использованы для выделения стадий возникновения, роста и заполнения жидкостью трещины гидроразрыва (ГРП).

Сравнение вариаций амплитуд ультразвуковых импульсов и давления закачки показало, что начало роста трещины гидроразрыва пласта происходит при давлении, меньшем максимального значения. При этом рост трещины происходит быстрее ее заполнения жидкостью. Увеличение раскрытия трещины происходит уже после заполнения трещины жидкостью. Когда закачка прекращается, регистрируется закрытие трещины по мере снижения давления в скважине за счет фильтрации в образец. Показана возможность создания вторичной трещины гидроразрыва в случае изменения ориентации главных сжимающих напряжений при условии, если первичная трещина перпендикулярна оси скважины, а вторичная – параллельна оси. Полученные экспериментальные результаты могут служить основой для усложнения теоретических моделей, описывающих образование и распространение трещин ГРП, возможности повторного ГРП, использование кривых изменения давления закачки для оценки свойств породного массива и его напряженного состояния.



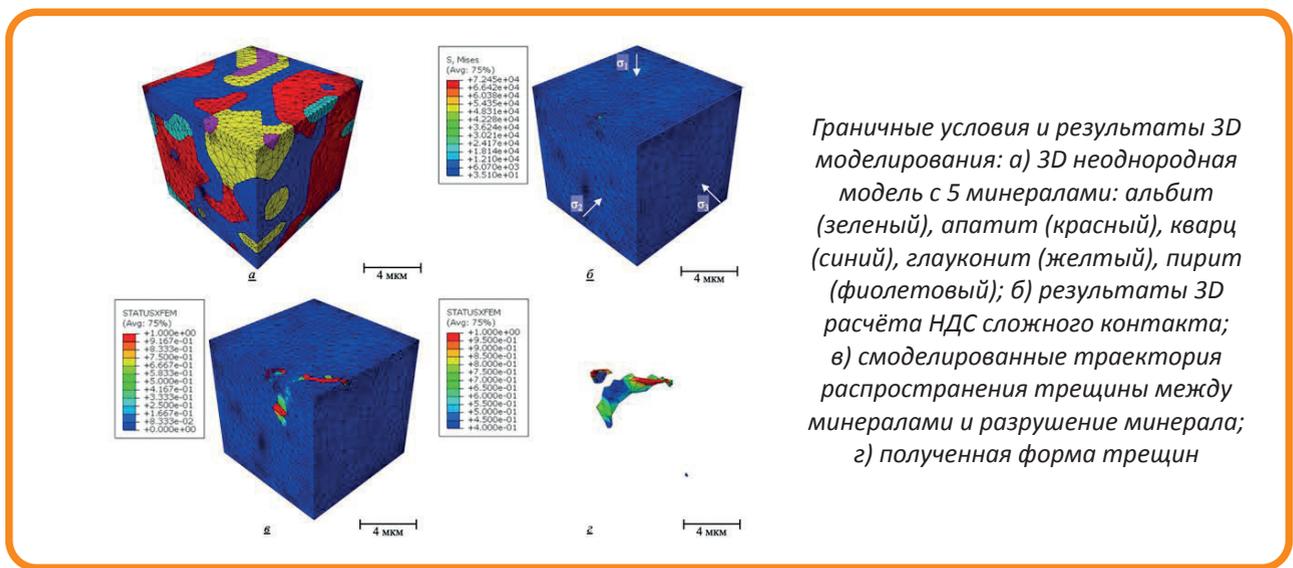
Зависимости давления в центральной скважине и синхронных с ней изменения амплитуды огибающей ультразвуковых импульсов от времени. Вертикальной линией обозначен момент времени достижения максимума давления

Публикации:

1. Turuntaev, S.B., Zenchenko, E.V., Zenchenko, P.E. et al. **Hydraulic Crack Growth Dynamics from Ultrasound Transmission Monitoring in Laboratory Experiments** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021. 57, p. 671–685. <https://doi.org/10.1134/S1069351321050207>.

2. ТРЁХМЕРНОЕ ЧИСЛЕННОЕ МИНЕРАЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРЕЩИН НА МИКРОУРОВНЕ

Повышение эффективности операций гидроразрыва пласта (ГРП) в сложнопостроенных породах-коллекторах требует создания разветвлённой сети опережающих (вторичных) трещин наряду с основной магистральной трещиной для увеличения дренажной зоны разработки месторождения. Работа посвящена исследованию развития и распространения трещин ГРП в горных породах на микроуровне с учётом минеральной неоднородности, матричной структуры, упругопластических свойств минералов и их межзёренных контактов. В результате моделирования показано, что в условиях, близких к пластовым, в случае со сложной геометрией контакта между минералами трещины будут развиваться по межзёренному контакту и разрушать минерал с меньшими прочностными свойствами. Научная новизна полученных результатов заключается в моделировании распространения трехмерных трещин в неоднородных породах коллекторов с учетом их пустотно-пространственной структуры, наиболее близкой к реальной.



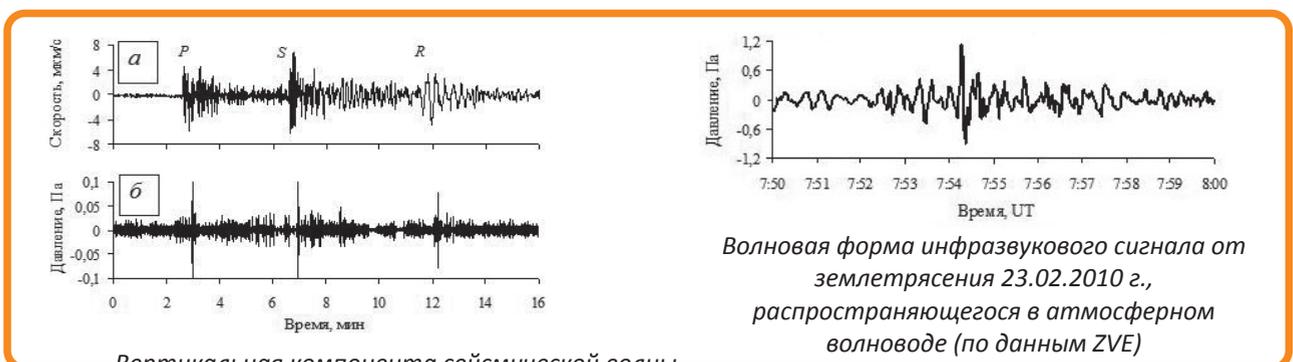
Публикации:

1. Nachev, V., Turuntaev, S. **3D Numerical Mineral Mechanical Modeling of Fracture Propagation in Complex Reservoirs Rocks at Microscale** // EGU General Assembly. 2021. Online, 19–30 April 2021, EGU2021. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14958>.
2. Nachev, V., Kazak, A., and Turuntaev, S. **3D Digital Mineral Mechanical Modeling of Complex Reservoir Rocks for Investigation of Fracture Propagation at Microscale**. Proceedings of the 9th Unconventional Resources Technology Conference. 2021. 26–28 July 2021, URTEC-2021-5555-MS <https://doi.org/10.15530/urtec-2021-5555>.
3. Начев В.А., Турунтаев С.Б. Моделирование процессов механического разрушения пород-коллекторов на микроуровне // Научно-технический журнал Евро-Азиатское геофизическое общество «Геофизика». 2021. (4), с. 29–34.

№ AAAA-A19-119021890067-0 Возмущение геофизических полей в московском мегаполисе
(рук. проекта д.ф.-м.н. А. А. СПИВАК)

1. АКУСТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В результате анализа данных инструментальных наблюдений получено, что землетрясения с магнитудами 5,1–6,9 вызывают в нижней атмосфере акустические возмущения двух типов в виде: 1) волновых колебаний, вызванных приходом сейсмических волн в точку регистрации и 2) инфразвуковой волны, распространяющейся в стратосферном волноводе, источником которой являются вертикальные движения земной поверхности в эпицентральной зоне землетрясения в период основного толчка.



Амплитуды, длительности и спектральные характеристики акустических сигналов, генерируемых землетрясением, позволяют проводить их уверенную регистрацию имеющимися измерительными средствами на расстояниях, превышающих 2700 км от эпицентральной зоны сейсмического события.

Величина энергии землетрясения, оцененная с использованием спектральных характеристик инфразвукового сигнала, распространяющегося в стратосферном волноводе, W_A хорошо согласуется со значением W_S , определенным по магнитуде землетрясения.

Публикации:

1. Адушкин В.В., Спивак А.А., Рыбнов Ю.С.

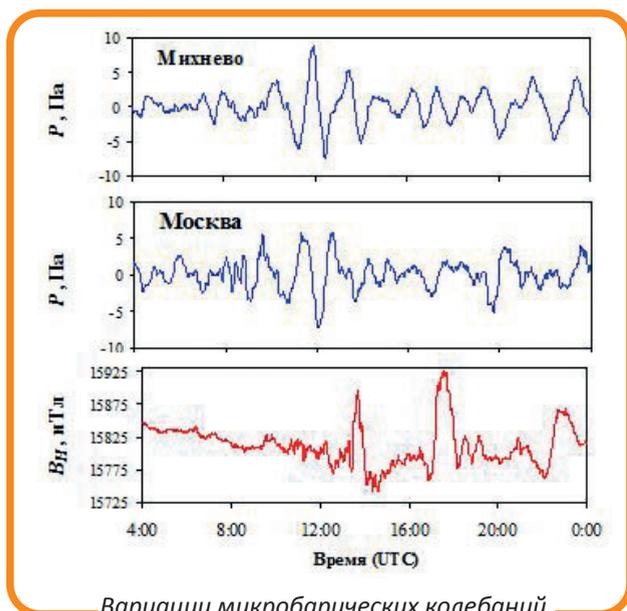
Акустические эффекты сильных землетрясений // Физика Земли. 2021. № 1. С. 41–50. DOI: 10.31857/S00023337201010099.

2. Адушкин В.В., Спивак А.А. **Воздействие экстремальных природных событий на геофизические поля в среде обитания** // Физика Земли. 2021. № 5. С. 6–16. DOI:



2. ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИ МАГНИТНЫХ БУРЯХ

На основе результатов инструментальных наблюдений установлено, что в периоды всех рассмотренных магнитных бурь наблюдаются повышенные микробарические вариации, хорошо выраженные на фоне естественных колебаний атмосферного давления. Амплитуда указанных вариаций изменяется в широких пределах: от 2 до 20 Па.



Вариации микробарических колебаний, зарегистрированных в ГФО «Михнево» и Москве

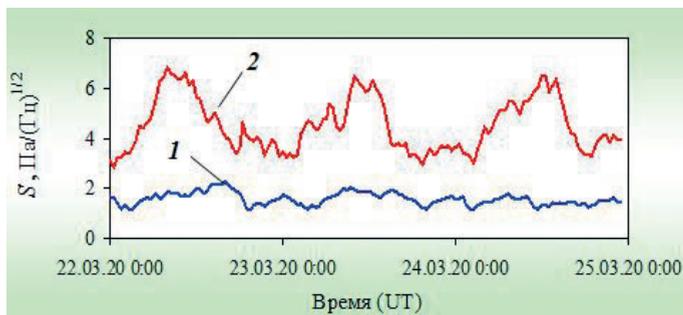
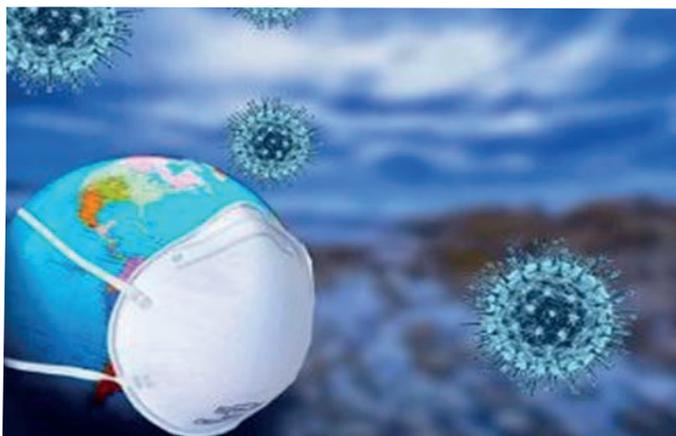
Впервые показано, что в спектре акустических сигналов, сопутствующих сильным магнитным возмущениям, выделяется не одна, а несколько квазигармонических составляющих, что свидетельствует о более сложном, чем это обычно представляется в настоящее время, характере возбуждения акустических колебаний в атмосфере магнитными бурями. Установлено, что амплитуда вызванных вариаций при сходных значениях K -индекса магнитной активности может отличаться в ~ 6 раз, что демонстрирует возможное влияние на рассматриваемый процесс локальных геофизических условий в месте регистрации. Полученные данные будут полезны при разработке конкретных моделей преобразования энергии электрофизической природы в энергию механических колебаний.

Публикации:

1. Сливак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Харламов В.А. **Волновые возмущения в приземной атмосфере при магнитных бурях** // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 498. № 2. С. 158–162. DOI: 10.31857/S2686739721060165.
2. Крашенинников В.А., Рыбнов С.А., Соловьев С.П., Сливак А.А. **Инфразвук от полярных сияний** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVII Международного Симпозиума (Москва, 5–9 июля 2021 г.) – Электронный ресурс. С. E-50–E-53
3. Сливак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Романовский Я.О., Харламов В.А. **Микробарические вариации атмосферного давления при магнитных бурях** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVII Международного Симпозиума (Москва, 5–9 июля 2021 г. – Электронный ресурс. С. D-72–D-75.

3. АКУСТИЧЕСКИЙ ШУМ МОСКВЫ В ПЕРИОД КАРАНТИНА ПО COVID-19 В 2020 г.

На основе данных, полученных в результате инструментальных наблюдений в Центре геофизического мониторинга Москвы ИДГ РАН, показано, что при снижении производственной активности во время карантинных мероприятий по COVID-19 в 2020 г. привело к существенному изменению амплитудных и спектральных характеристик акустического шума в мегаполисе по сравнению со средними данными, полученными в результате многолетних наблюдений. В период карантина амплитуда основных спектральных составляющих, как и средняя амплитуда акустического шума, снизилась более чем в 2 раза. В заметно меньшей степени проявился суточный ход амплитуды шума, обусловленный производственной деятельностью в дневное время. Результаты исследований могут быть полезны при определении характеристик и оценке вклада источников техногенного происхождения в общий акустический шум мегаполиса.



Суточный ход амплитуды спектральной плотности на частоте 3 Гц в период карантина 22–24 мая 2020 г. (1) и в предшествующий ему период 22–24 марта 2019 г. (2)

Публикации:

1. Сливак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. **Акустический шум в Москве в период карантина по COVID-19 в 2020 г.** // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 1. С. 67–70. DOI: 10.31857/S2686739720110122.
2. Рябова С.А, Сливак А.А., Рыбнов Ю.С. **Изменение временных вариаций акустических колебаний в приземном слое атмосферы в г. Москве во время ограничения производственной активности, обусловленного карантинными мерами по COVID-19 в 2020 г.** // Процессы в геосферах. 2021. № 1. С. 1028–1031.

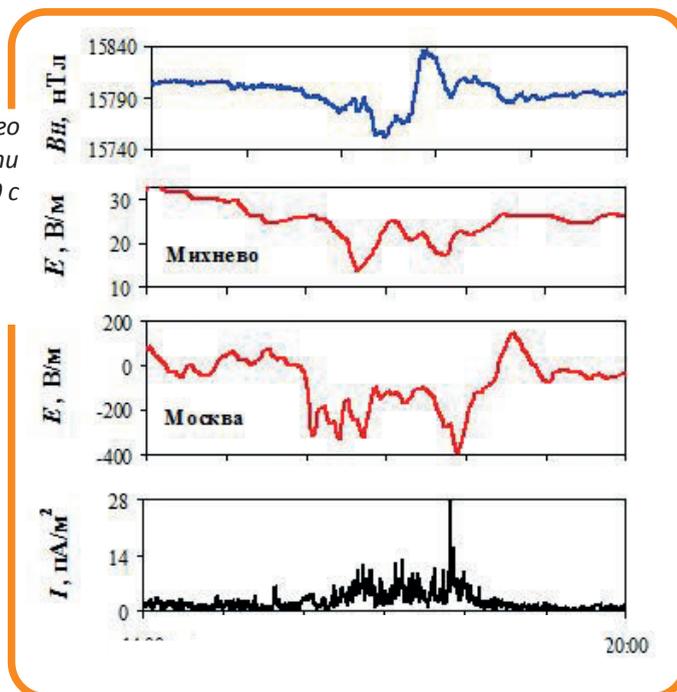
4. ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ В ПЕРИОДЫ МАГНИТНЫХ БУРЬ

В результате анализа экспериментальных данных впервые установлены количественные характеристики отклика магнитных бурь с индексом магнитной активности с K_5 в атмосферном электрическом поле и атмосферном токе. На основе рассмотрения 58 событий, произошедших в период 2016–2019 гг., установлено, что амплитуда, вызванных магнитными бурями вариаций электрического поля, в целом характеризуется величиной 5–580 В/м, а форма вызванных вариаций вертикальной компоненты электрического поля, представлена знакопеременными вариациями в 50% рассмотренных случаев: бухтообразными отрицательными в $\sim 33\%$ и бухтообразными положительными 17%. Показано, что эффект магнитных бурь выражен в вариациях атмосферного тока более ярко по сравнению с аналогичным эффектом в электрическом поле. Амплитуды вызванных вариаций вертикального атмосферного тока в периоды магнитных бурь находятся в диапазоне 1–80 нА/м².

Вариации горизонтальной компоненты магнитного поля B_H , вертикальной компоненты напряженности электрического поля E и усредненного за период 30 с модуля вертикального атмосферного тока I в приземной атмосфере в период магнитной бури 12.12.2017 г.

Публикации:

1. Рябова С.А., Спивак А.А. **Вариации электрических характеристик приземной атмосферы в периоды магнитных бурь** // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 71–77. DOI: 10.31857/S2686739721030099
2. Рябова С.А., Романовский Я.О., Спивак А.А. **Вариации электрического поля и тока в приземной атмосфере при магнитных бурях** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVII Международного Симпозиума (г. Москва, 5-9 июля 2021 г.) – Электронный ресурс. С. D-64–D-67.



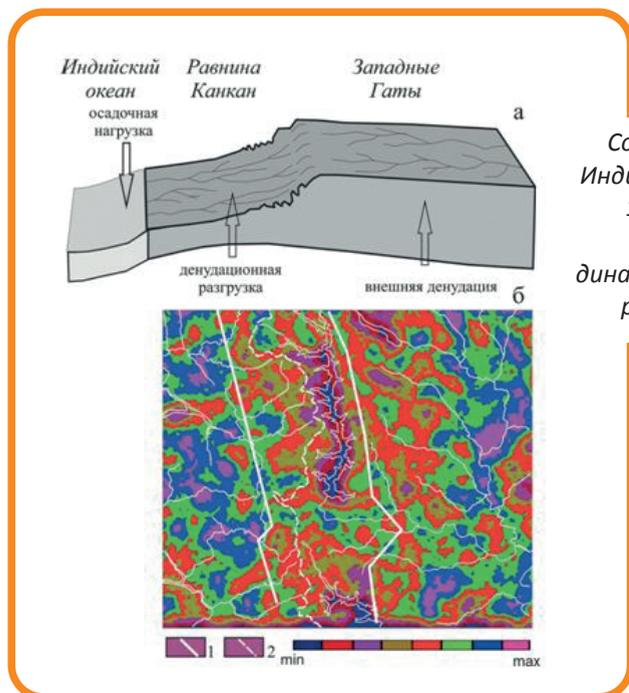
№ AAAA-A19-119021890087-8 Развитие методов сейсмического мониторинга участков расположения горных предприятий и особо ответственных инженерных объектов с целью оценки риска возникновения геодинамических процессов, негативно влияющих на инфраструктуру и население (рук. проекта к.ф.-м.н. С. Б. КИШКИНА)

Предложен новый метод оценки собственного шума измерительного канала сейсмометра с учетом линейной связи между сигналом и шумом. Показано, что метод не уступает стандартным методам и дает возможность как выделить сами эпюры шума, так и выполнить оценку уровня шума в измерительном канале, а значит оперативно оценить амплитудный порог регистрации минимального сигнала. Получены параметры графиков повторяемости, характеристики пространственного и временного распределения для зарегистрированных нами слабых сейсмических событий, которые были индуцированы взрывами в ходе шахтных работ.

Удалось показать, что около половины таких событий с большой вероятностью представляют собой трещины сдвига. Обнаружены сейсмические события, оценка характеристик которых позволила отнести их к классу «медленных» землетрясений.

Созданы и функционируют стационарные сейсмические пункты для регистрации и анализа сейсмического и акустического действий массовых взрывов. Проведена оценка действия массовых взрывов на окружающих карьеры территории.

В направлении построения и анализа структурных моделей участков продолжалась отработка формализованных методик, позволяющих проводить анализ геодинамической обстановки исследуемого района. С помощью программы LESSA были обработаны цифровые изображения района водохранилищ Койна и Варна.



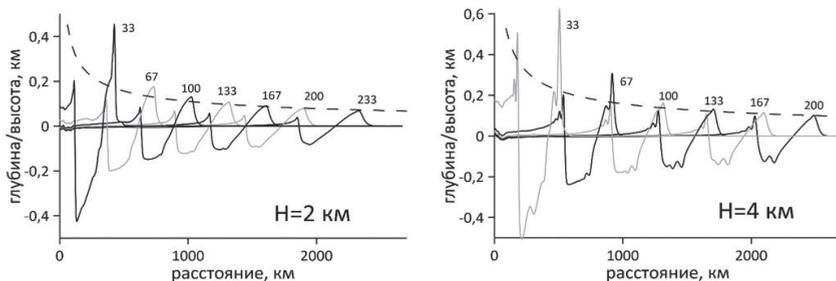
Совмещенные схемы развития палеорифтовой окраины Индийского континента согласно модели [Tucker, Slingerland, 1994] (а) и пространственного распределения общей плотности малых линейных элементов (б). 1 – область динамического влияния сейсмогенной зоны Койна; 2 – граница раздела между равниной Канкан и Западными Гатами

Публикации:

1. Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г. Изменения поля напряжений участка земной коры в результате крупного землетрясения, инициированного горными работами // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2021. С. 20–25. DOI: 10.26006/22228535_2021_1_21.
2. Кочарян Г.Г., Шарафиев З.З. О критериях устойчивости склона при вибрационном воздействии // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2021. С. 43–50. DOI: 10.26006/22228535_2021_1_43.

№ 121121300382-6 Разработка комплексной модели воздействия на внутренние и внешние геосферы внедряющихся космических тел и оценка последствий таких падений (рук. проекта д.ф.-м.н. В. В. ШУВАЛОВ)

1. Проведенные расчеты показывают, что при ударах космических тел, размеры которых больше глубины океана, наличие слоя воды слабо влияет на процесс формирования и размеры донного кратера, а волна цунами образуется, главным образом, за счет «сгребания» воды конусом выбросов из кратера в грунте. На расстояниях более 1000–3000 км волна цунами становится линейной и в дальнейшем затухает по закону $\sim 1/\sqrt{r}$, где r – расстояние от точки падения, что соответствует теории мелкой воды. На меньших расстояниях волна заметно нелинейна и затухает быстрее. Чем больше глубина океана и размер ударника, тем дольше длится нелинейная стадия. Таким образом, можно сделать вывод, что при падении в океан астероидов размером порядка 10 км на расстояниях 1000–3000 км от точки удара формируются волны цунами длиной более 100 км, похожие на цунами, генерируемые землетрясениями.

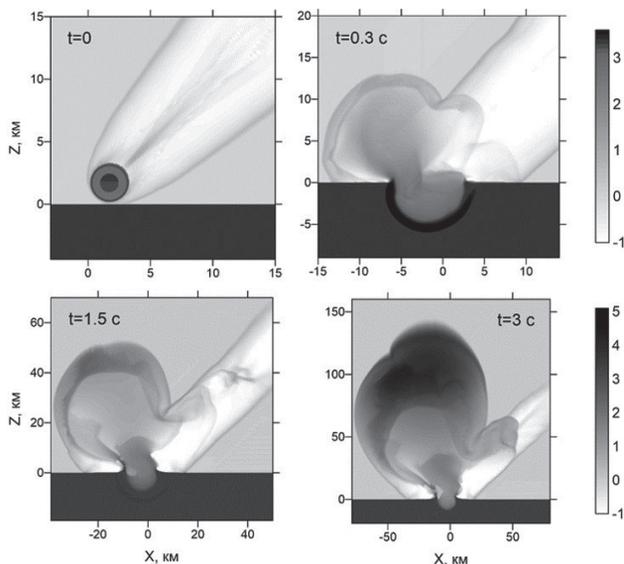


Профили волн цунами в разные моменты времени при вертикальном падении десятикилометрового астероида со скоростью 20 км/с в океан с глубиной H . Моменты времени в минутах указаны у каждой кривой. Пунктирные кривые соответствуют закону затухания амплитуды волны $\sim 1/\sqrt{r}$. Чтобы различить кривые в местах их пересечения, некоторые нарисованы серым цветом

Публикации:

1. Шувалов В.В. Генерация волн цунами при падении десятикилометровых астероидов в океан // *Астрономический Вестник*, 2022, Том 56, № 3, с. 1–8.

2. С учетом измеренных и предполагаемых физических параметров вещества кометы 2I/Борисов проведено численное моделирование столкновений с Землей похожих кометных объектов, движущихся с повышенными скоростями, – почти параболических и межзвездных комет (~ 70 км/с), а также межгалактических комет (~ 170 км/с). Рассмотрены варианты падений таких комет с диаметрами 1 и 3 км на континентальную поверхность Земли и сделаны оценки последствий воздействия разных видов энергии (механической и лучистой), освобождающейся при ударе, на разные земные среды (поверхность, недра, атмосферу и океан).



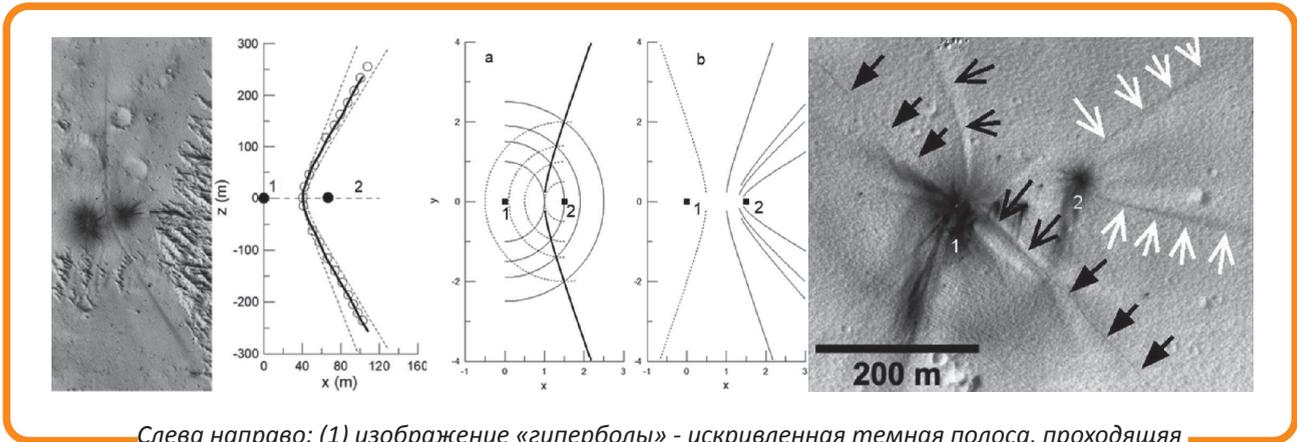
Падение кометы размером 3 км со скоростью 70 км/с. Распределение десятичного логарифма величины $r/\rho_0(z)$ в системе координат, где Z – высота, а X – координата вдоль проекции траектории тела на Землю; r – плотность вещества, $\rho_0(z)$ – равновесная плотность воздуха на высоте z , если $z > 0$ и $\rho_0(z) = \rho_0(0)$, если $z < 0$. Координата $z = 0$ соответствует поверхности Земли. Шкалы относительной плотности приведены в безразмерных единицах

Публикации:

1. Svetsov V.V., Shuvalov V.V. (2021) Assessments of aperiodic comet impact effects on Earth // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. V. 57. No. 5. P. 768–778. <https://doi.org/10.1134/S1069351321050190>.

3. СЛЕДЫ ВОЗДУШНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН В МАРСИАНСКОЙ ПЫЛИ

Тонкие слои пыли на поверхности Марса весьма подвижны. Переметание их ветром изменяет альbedo поверхности, создавая на ней различные фигуры. Было предположено, что воздушные ударные волны могут быть причиной некоторых изменений альbedo вокруг новых ударных кратеров. В данном проекте исследовано предположение о том, что взаимодействие воздушных ударных волн (преломление, отражение, столкновение) над запыленной поверхностью является причиной возникновения удлиненных искривленных альбедных полос («гиперболы» и «скимитары» - см. рис.). Сравнение геометрии и ширины этих полос с теоретическими представлениями позволило оценить (1) эффективность возбуждения воздушных ударных волн при высокоскоростных ударах по поверхности в условиях разреженной марсианской атмосферы и (2) давление и импульс в воздушных ударных волнах при образовании следов на запыленной марсианской поверхности.

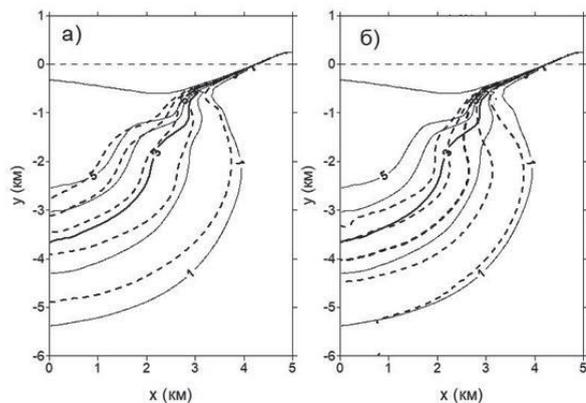


Слева направо: (1) изображение «гиперболы» - искривленная темная полоса, проходящая между двумя кратерами, скрытыми темными гало; (2) геометрия полосы в сравнении с теоретической гиперболой; (3a) – схема образования гиперболы как геометрического места пересечений полусферических ударных волн, генерированных в точках удара 1 и 2 при запаздывании удара 2; (3b) – теоретические формы гипербол при различных временах запаздывания удара 2 относительно удара 1; (4) – пример одновременного образования «скимитара» (открытые черные стрелки) и «гиперболы» (открытые белые стрелки). Для сравнения показан след пылевого вихря (залитые черные стрелки)

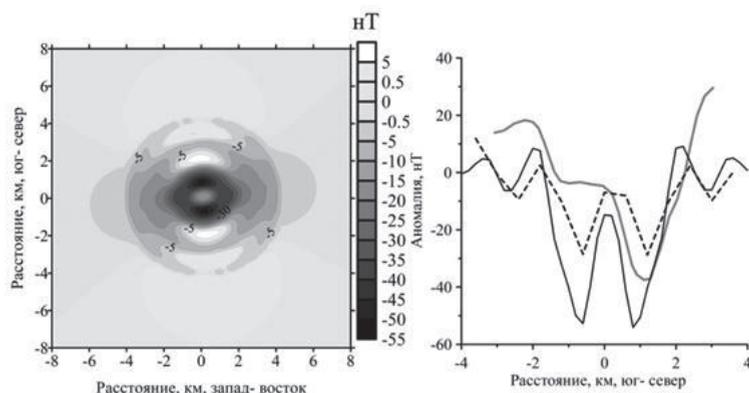
Работа доложена на международной конференции [Ivanov, B., **Mars surface dust activation at small meteoroid's impacts**. In vEGU21, the 23rd EGU General Assembly, held online 19-30 April, 2021, Vienna, abs. № 10018.]

4. МАГНИТНАЯ АНОМАЛИЯ, СВЯЗАННАЯ С КРАТЕРОМ БОСУМТВИ

Образование ударных кратеров на поверхности Земли сопровождается воздействием ударных волн на горные породы. Ударно-волновое сжатие приводит к возникновению нагрева горных пород вплоть до плавления и испарения при разгрузке. Прямое механическое действие ударного сжатия и остаточный нагрев изменяют магнитные свойства горных пород. Геофизическое моделирование используется для определения источников магнитной аномалии по интерпретации полей, измеренных на поверхности, но при таком моделировании не учитывается ударное размагничивание пород. В данной работе представлен пример анализа магнитной аномалии над хорошо изученным кратером Босумтви (Гана, диаметр 10,5 км), включающего численное моделирование процесса образования кратера и построение модели магнитной аномалии на основании смоделированных параметров ударного сжатия и данных бурения кратера. Показано хорошее совпадение результатов моделирования с данными наблюдений.



Изобары максимального давления под модельными кратерами: а) уравнение состояния Тиллотсона, сплошные кривые – скорость удара 10 км/с, пунктирные кривые – скорость удара 20 км/с; б) удары со скоростью 10 км/с по мишени с уравнением состояния Тиллотсона (сплошные кривые) и ANEOS (пунктирные кривые). Показаны изобары с записанным давлением 1, 2, 3, 4 и 5 ГПа



Магнитная аномалия, полученная с учетом влияния области размагничивания, слоев импактитов, кратерного вала и данные измерений. Слева – общий вид магнитной аномалии на высоте 140 м над уровнем мишени, справа – значения аномалий на высоте 70 м вдоль диаметра в направлении юг–север. Серая кривая – данные измерений, черные кривые – результаты численного моделирования

Публикации:

1. Kuzmicheva M. Yu., and Ivanov B. A. **Modeling the Magnetic Anomaly of the Bosumtwi (Ghana) Complex Meteorite Crater by Taking Into Account the Impact Demagnetization and Morphological Features** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2021, Vol. 57, No. 5, pp. 795–804. DOI 10.1134/S1069351321050128.

№ 121121000241-9 Развитие новых методов измерения параметров ионосферы–магнитосферы с использованием современных GPS-ГЛОНАСС приемников (рук. проекта д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ)

Одной из актуальных задач современной геофизики является контроль состояния и динамики нижней ионосферы Земли в условиях природных и антропогенных возмущений, оказывающих существенное влияние на функционирование навигационных, управляющих и связных радиосистем. Основным методом получения экспериментальных данных о возмущениях нижней ионосферы является анализ параметров ОНЧ-радиосигналов. Существенные ограничения метода связаны с малым количеством пунктов приема радиосигналов и отсутствием алгоритма их совместного использования. В рамках государственного задания была разработана концепция создания пространственно-распределенной системы анализа состояния нижней ионосферы и требования к ее параметрам. В 2021 г. в Калининградской области был развернут измерительный пункт, оснащенный измерительным комплексом ИДГ РАН. Результаты, полученные при совместном использовании приемных пунктов ЗО ИЗМИРАН в Калининграде и геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево», позволили получить принципиально новые данные о пространственно-временном распределении ионосферных неоднородностей.

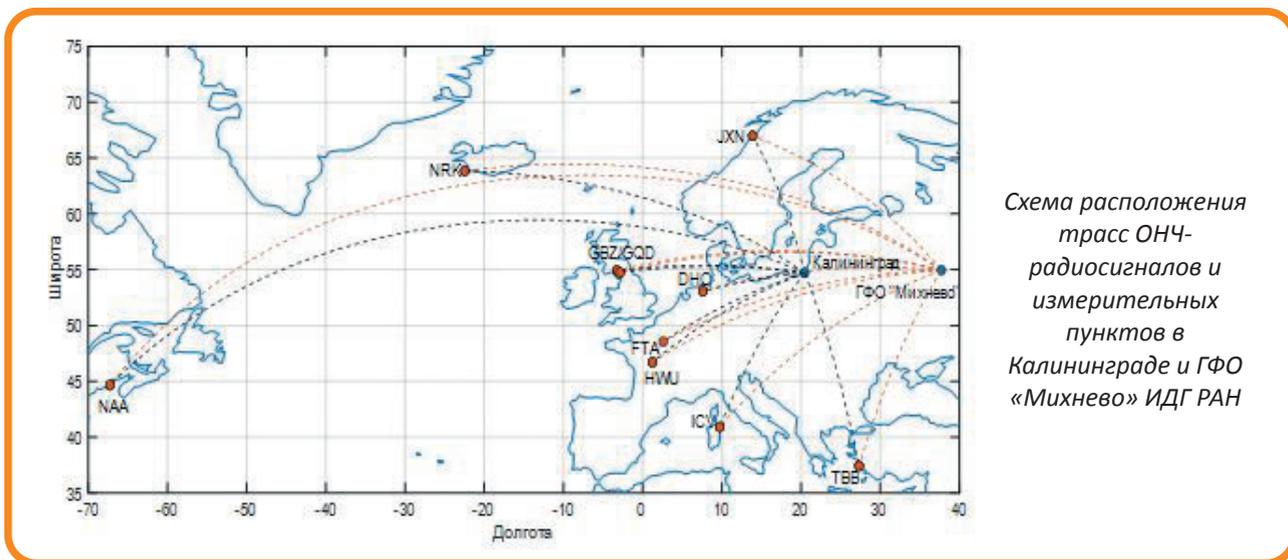


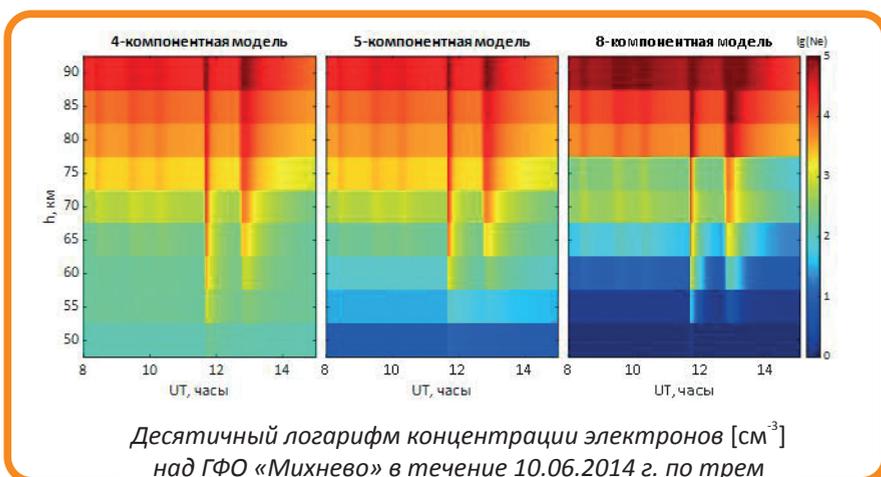
Схема расположения трасс ОНЧ-радиосигналов и измерительных пунктов в Калининграде и ГФО «Михнево» ИДГ РАН

Публикации:

1. Ryakhovskiy I.A., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V., Bekker S.Z., Ermak V.M. Research of the state and dynamics of the ionosphere according to the data of synchronous radio signals recording of the ELF/VLF and HF-UHF range in the geophysical observatory «Mikhnevo» // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2021, № 5, pp. 1–14
2. Bekker S.Z., Ryakhovsky I.A., Korsunskaya J.A. Modeling of the lower ionosphere during solar X-ray flares of different classes // J. Geophysical Research: Space Physics. 2021. 126. e2020JA028767.
3. Poklad Yu.V., K.V. Babaykina, V.M. Ermak, E.N. Kozakova, M.O. Plaksina, Ryakhovskiy I.A. Change in the ionospheric parameters during f series of X-ray flares on September 6-10, 2017. Proc. SPIE.

№ АААА-А19-119082790056-6 Исследование процессов в ионосфере при воздействии рентгеновского и гамма-излучения Солнца (рук. проекта д.т.н. А. Н. ЛЯХОВ)

Построены и сопоставлены несколько плазмохимических моделей D-области ионосферы, которые учитывают различное количество протекающих в среде фотохимических процессов. Получена пространственно-временная динамика концентраций электронов и ионов во время рентгеновских вспышек различного класса. Для отдельных высот определены физические механизмы и химические реакции, оказывающих ключевое влияние на вариацию концентрации электронов в спокойных и возмущенных условиях.



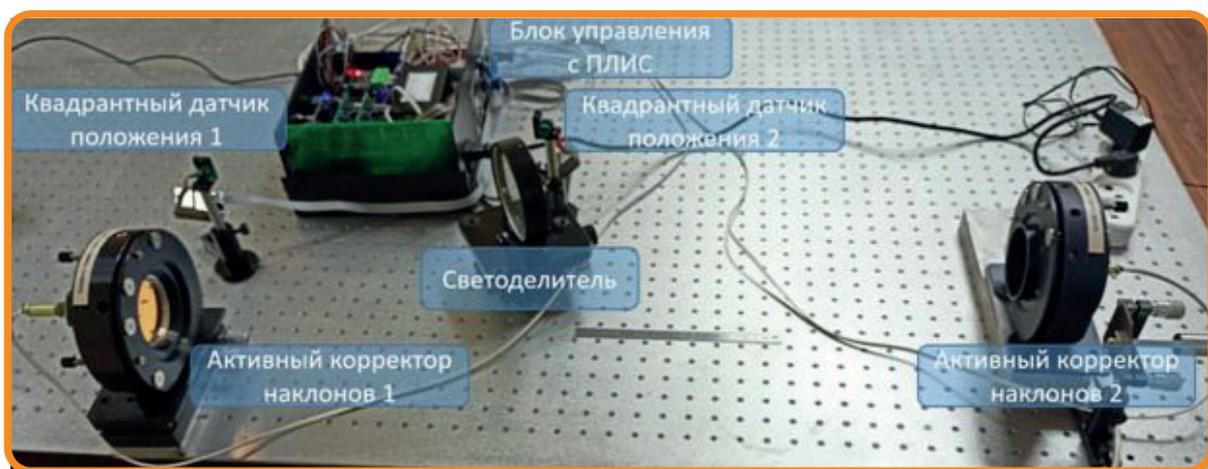
Десятичный логарифм концентрации электронов [см⁻³] над ГФО «Михнево» в течение 10.06.2014 г. по трем плазмохимическим моделям

Публикация:

1. Bekker S.Z., Ryakhovsky I.A., Korsunskaya J.A. Modeling of the lower ionosphere during solar X-ray flares of different classes // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2021. 126. e2020JA028767; <https://doi.org/10.1029/2020JA028767>.

№121121300383-3 Коррекция мощного светового излучения, прошедшего рассеивающую и сильно турбулентную атмосферу (рук. проекта д.ф.-м.н. А. В. КУДРЯШОВ)

Создание адаптивной оптической системы стабилизации положения светового пучка в пространстве одно из значимых результатов работы в рамках государственного задания. Основным элементом системы являются зеркала, способные изменять наклон по двум координатам в зависимости от приложенного напряжения. Исполнительный механизм использует пьезоприводы, которые позволяют создать компактную активную оправу, совместно с которой можно использовать различные типы зеркал. В качестве датчиков положения пучка используются квадрантные фотодиоды. Для достижения требуемой частоты контур управления с обратной связью замыкается с помощью программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Фотография установки приведена на рисунке



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА:

- Диаметр светового пучка – 50 мм;
- Диапазон длин волн – определяется покрытием зеркал и спектральной чувствительностью датчиков;
- Датчики положения пучка – квадрантные;
- Тип привода активных оправ – пьезоактюаторы;
- Частота работы системы – до 500 Гц;
- Точность стабилизации – 1 угловая минута;
- Диапазон управляющих напряжений – -20 – +180 В

Публикации:

1. Samarkin V., J. Sheldakova, V. Toporovskiy, A. Rukosuev, Kudryashov A. **High-spatial resolution stacked-actuator deformable mirror for correction of atmospheric wavefront aberrations** // Applied Optics 60(23), pp. 6719–6724, 2021, doi: 10.1364/AO.427375.
2. Рукосуев А.Л., В.Н. Белоусов, А.Н. Никитин, Ю.В. Шелдакова, И. В. Сиверцева, Кудряшов А. В. **Лабораторное моделирование атмосферной турбулентности в задаче коррекции искажений волнового фронта лазерного излучения с помощью быстрой адаптивной оптической системы** // Физика Земли, № 5, 2021.
3. Белоусов В.Н., В.А. Богачев, М.В. Волков, С.Г. Гаранин, А.В. Кудряшов, А.Н. Никитин, А.Л. Рукосуев, Ф.А. Стариков, Ю.В. Шелдакова, Шнягин Р.А. **Исследования пространственно-временных характеристик искаженного турбулентностью лазерного излучения при его динамической фазовой коррекции в адаптивной оптической системе** // Квантовая электроника, 51(11), 2021.

Геофизическая обсерватория «Михнево» ИДГ РАН

В 2021 г. по решению Ученого совета ИДГ РАН на территории ГФО «Михнево» была организована новая уникальная научная установка **Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево»** (руководитель УНУ СКГН «Михнево» к.ф.-м.н. Ю. В. ПОКЛАД)

В состав УНУ СКГН «Михнево», расположенной на территории площадью 1 км², входят системы инструментальной регистрации параметров различных геофизических полей. Выстроенная система инструментальных наблюдений направлена на исследование механизмов взаимодействия квазистатических и динамических процессов в разных геосферах и позволяет проводить синхронную регистрацию контролируемых параметров физических полей и энергомассообменных процессов.

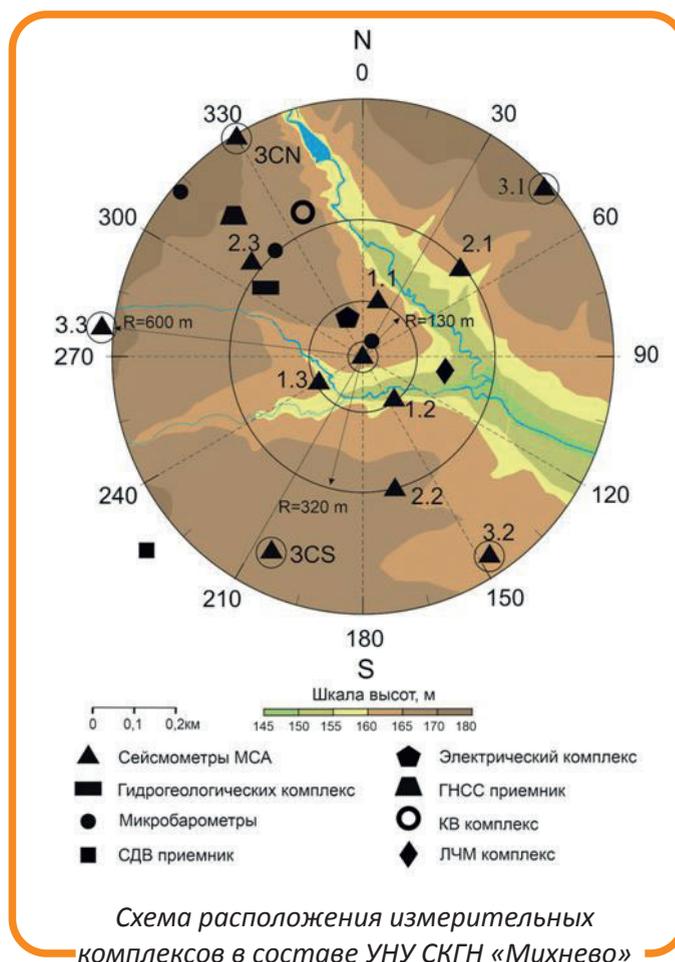
Измерительный комплекс состоит из ряда уникальных по своим характеристикам установок, позволяющих проводить наблюдения за процессами в литосфере, атмосфере и ионосфере.

На сегодняшний день исследования, проводимые на УНУ СКГН «Михнево», можно разделить на четыре научных направления, для которых созданы собственные системы наблюдений.

1. Сейсмологические исследования. Основные сейсмологические наблюдения проводятся на малоапертурной сейсмической антенне (МСА). Антенна представляет собой сейсмическую группу из 12 пунктов наблюдения. МСА является единственной подобной системой наблюдений на территории Центральной части Восточно-Европейской платформы и одной из 15-ти работающих в настоящее время в мире.

МСА может быть также использована как инструмент для высокоточных измерений скоростных, поглощающих и рассеивающих свойств земной коры. МСА позволяет решать задачи мониторинга, локации и верификации источников сейсмических сигналов природного и техногенного характера, проводить высокоточные измерения сейсмической добротности и ее вариаций во времени.

2. Гидрогеологические исследования. Комплекс гидрогеологических измерений состоит из 3 скважин глубиной 30, 115 и 60 м, которые оборудованы прецизионными датчиками уровня LMP308i с частотой дискретизации 1 Гц. Дополнительно регистрируются вариации атмосферного давления с использованием датчика Keller PAA-33X. Гидрогеологический аппаратно-измерительный комплекс является единственным установленным в платформенных условиях, который в автоматическом режиме позволяет отслеживать вариации уровня напорного и безнапорного водоносных горизонтов с точностью ежесекундной регистрации 1,7 мм вне зоны влияния активного техногенеза, позволяющий изучать закономерности реакции водонасыщенного коллектора на динамические воздействия разной интенсивности, а также



3. Атмосферные исследования. Инфразвуковые измерения ведутся станцией, состоящей из трех микробарометров МБ-03 ИДГ скважинного типа, размещенных в трех пунктах на расстояниях 300–600 м друг от друга. Параллельно с исследованиями микропульсаций атмосферного давления, сопровождающих основные атмосферные явления и процессы, проводятся наблюдения за характеристиками атмосферного электрического поля и концентрацией аэрозолей.

Для инфразвуковых исследований используются методика оценки пеленга на источник на основе множественной кросс-корреляции и методика обнаружения сигналов, регистрируемых в системе разнесенных микробарометров на основе многомерного вейвлет-анализа.

4. Среднеширотные ионосферные исследования. Радиофизический комплекс позволяет получать данные об особенностях структуры и динамики ионосферной плазмы в среднеширотной зоне Европейской части страны. В обсерватории проводятся непрерывные измерения вариаций электромагнитных полей в широком спектральном диапазоне, что позволяет решать многие научно-прикладные задачи в режиме квазиреального времени. Для исследования состояния геомагнитного поля Земли используются магнитовариационные данные, полученные трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-018 и высокочастотными индукционными магнитометрами MFS-06 и MFS-07. Исследования динамики нижней ионосферы проводятся по данным измерений вариаций электромагнитного поля в КНЧ/ОНЧ диапазоне. Низкий уровень промышленных шумов в ГФО «Михнево», высокая чувствительность и широкий динамический диапазон аппаратуры позволяют принимать сверхслабые сигналы амплитудой в единицы фТл.

В состав комплекса также входят электростатические флюксометры, регистрирующие вертикальную компоненту напряженности электрического поля, и компенсационный измеритель приземного атмосферного тока (КИПАТ).

Для наблюдения за процессами, происходящими в E- и F-областях ионосферы, в обсерватории непрерывно проводятся измерения в КВ диапазоне, ЛЧМ зондирование ионосферы, регистрация сигналов глобальных навигационных спутниковых систем.

Контроль состояния верхней ионосферы проводится с использованием ЛЧМ ионозонда. Комплекс в целом позволяет принимать и анализировать параметры электромагнитных сигналов в диапазоне частот от 0,0001 Гц до 17 МГц. Радиофизический комплекс позволяет получать обширную информацию о состоянии среднеширотной ионосферы, как в спокойных условиях, так и при возмущениях, вызванных такими явлениями как солнечные затмения, магнитные бури, солнечные вспышки.



Строительство в ГФО "Михнево" магнитных павильонов в соответствии с требованиями международной сети "Интермагнет". Павильоны предназначены для абсолютных и вариационных измерений магнитного поля и собираются "без единого гвоздя"

РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОНД

№ 21-17-00161 Разработка пространственной структурно-динамической модели взаимодействия приповерхностных геологических форм и геофизических процессов с глубинными неоднородностями земной коры и верхней мантии центральной и арктической частей Кольского полуострова (рук. проекта академик РАН В. В. Адушкин)

Представлены новые результаты по глубинному строению массивов в арктической части Кольского полуострова методом функций приемника на основе 28 летнего ряда непрерывных наблюдений по двум широкополосным сейсмическим станциям – Апатиты (АРА) и Ловозеро (LVZ). Геометрия расположения станций относительно массивов (рис. 1) позволяет восстановить глубинное скоростное строение каждой из интрузий в отдельности, сопоставить их между собой и со скоростной структурой окружающего Балтийского щита.

По результатам моделирования были построены четыре скоростных разреза (рис. 2) – по одному, характеризующему Хибинский и Ловозерский массивы, и два, характеризующих структуру Балтийского щита по данным каждой из станций. На моделях выделяется ряд особенностей: резкое и значительное понижение скоростей на глубинах 5–11 км в модели Хибинского массива, согласованное по всем разрезам положение границы Мохо на глубине 40 км, а также опускание границы Мохо и, как следствие, утолщение мощности земной коры до 47 км под Ловозерским массивом.

Такое локализованное и резкое изменение глубины залегания фундаментальной границы Мохо в тектонически стабильной структуре Балтийского щита может быть объяснено только условиями формирования Ловозерского массива. Выявленная аномалия свидетельствует в пользу плюмовой гипотезы генезиса изучаемой структуры, а также показывает, что глубинное строение Кольского полуострова сохраняет следы древних периодов тектонической активизации.

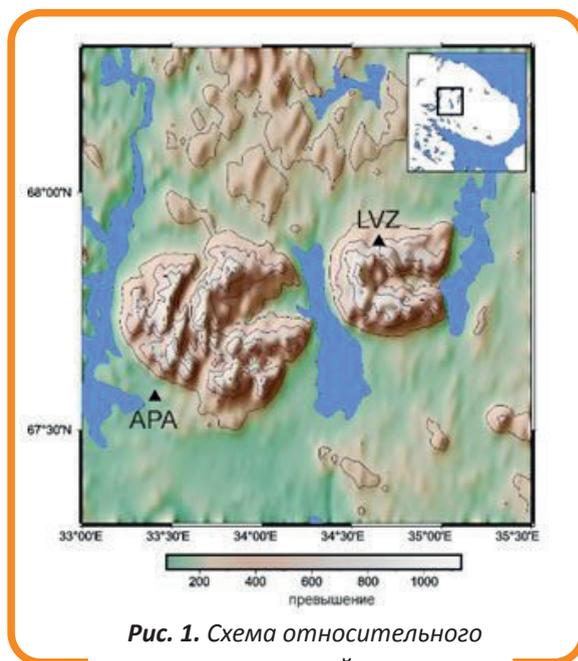


Рис. 1. Схема относительного расположения сейсмических станций (черные треугольники) и изучаемых массивов

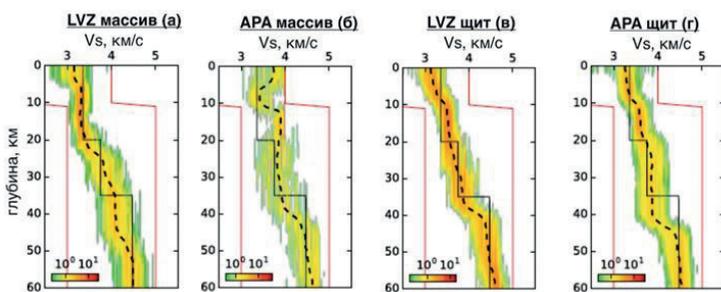


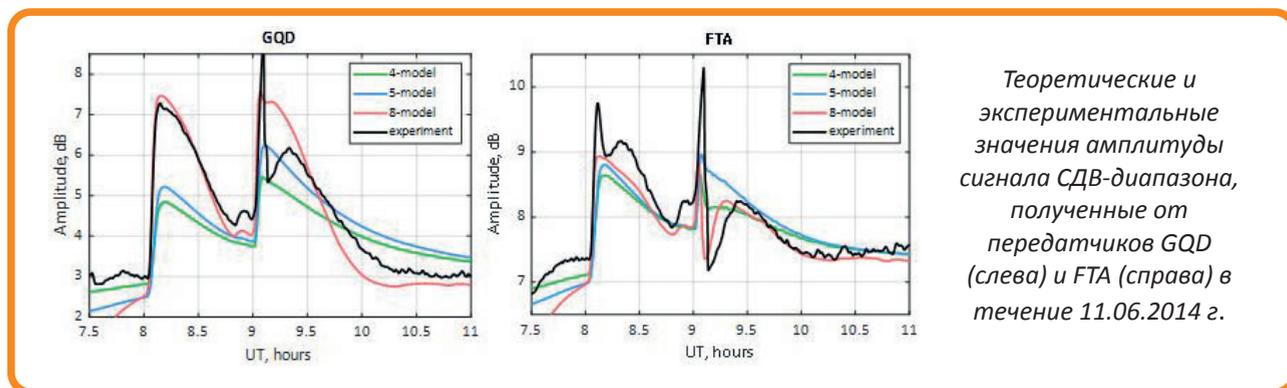
Рис. 2. Скоростные модели поперечных волн для станций АРА и LVZ. Модели Ловозерского и Хибинского массивов – а, б; близлежащих областей Балтийского щита – в, г. Пунктирными линиями показаны полученные модели. Черные линии представляют модель IASP91

Публикации:

1. Гоев А. Г., Санина И. А., Орешин С. И., Резниченко Р. А., Тарасов С. А., Федоров А. В. **Скоростное строение литосферы Хибинского и Ловозерского массивов (северо-восточная часть Балтийского щита) методом функции приемника** // Физика Земли, 2021, № 5, с. 30–40.

№ 21-77-00071 Построение и коррекция схемы ионизационно-рекомбинационного цикла для расчета параметров нижней ионосферы в спокойных условиях и во время рентгеновских вспышек
(рук. проекта к.ф.-м.н. С. З. БЕККЕР)

Были построены и проанализированы три схемы ионизационно-рекомбинационного цикла, нижней ионосферы, описывающие динамику 4, 5 и 8 заряженных составляющих среды в спокойных условиях и во время рентгеновских вспышек. В результате верификации построенных плазмохимических моделей D-области по независимым данным распространения сигналов СДВ-диапазона на четырех среднеширотных трассах во время 12 рентгеновских вспышек было получено, что восьмикомпонентная модель успешно воспроизвела не только качественный, но и количественный отклик амплитудно-фазовых характеристик на естественные возмущения различной мощности. Следовательно, для более корректного расчета динамики параметров нижней ионосферы во время рентгеновских вспышек различной мощности необходимо проводить независимый учет преобразования отрицательных кластерных ионов азотной и углеродной групп и отдельный учет ионизации простых ионов NO^+ и O_2^+ .



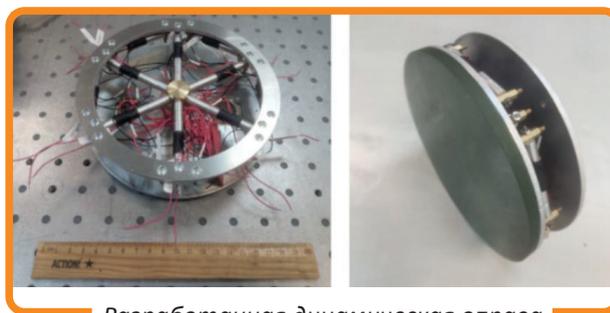
Публикации:

1. Bekker S.Z. **Verification of Plasma Chemical Models of the Ionospheric D Region of the According to Radiophysical Data from Mikhnevo Geophysical Observatory** // Geomagnetism and aeronomy. 2022. V. 62. N 2.

№ 20-69-46064 Адаптивная оптика для коррекции волнового фронта в сверхмощных лазерных комплексах (рук. проекта д.ф.-м.н. А. В. КУДРЯШОВ)

Цель проекта — разработка новых и модификация существующих компонентов адаптивной оптической системы для коррекции волнового фронта в петаваттных импульсных лазерах. Был разработан прототип динамической оправы с актюаторами изгибного типа — в оправу устанавливалось широкоапертурное биморфное деформируемое зеркало. Оправа была необходима для выполнения коррекции низших аббераций волнового фронта (дефокус, астигматизмы, комы и др.) и, тем самым, увеличения динамического диапазона деформируемого зеркала.

Проведён теоретический анализ необходимого количества управляющих элементов (пьезопакетов) с целью получения приемлемых значений радиуса кривизны для данной конфигурации актюаторов. Экспериментально была подтверждена эффективность использования подобного устройства для компенсации начальных искажений широкоапертурного биморфного деформируемого зеркала. Было выполнено исследование основных характеристик изготовленного биморфного зеркала на диагностическом стенде (амплитуда начальной поверхности зеркала составила 1,951 мкм (СКО – 0,41 мкм), амплитуда поверхности после подачи управляющих напряжений — 0,06 мкм (СОКО – 0,011 мкм), частота первого резонанса была обнаружена при 774 Гц). Были проведены численные и экспериментальные исследования и показано, что использование сплайн-аппроксимации имеет преимущество перед использованием аппроксимации через полиномы Цернике. Для оценки эффективности предкомпенсации гистерезиса был собран лабораторный макет адаптивной оптической системы и соответствующим образом модифицировано программное обеспечение.



Разработанная динамическая оправа

Публикации:

1. Котов А.В., С.Е. Перевалов, М.В. Стародубцев, Р.С. Земсков, А.Г. Александров, И.В. Галактионов, А.В. Кудряшов, В.В. Самаркин, Соловьев А.А. **Адаптивная система коррекции оптических aberrаций излучения мощных лазеров с динамическим определением эталонной формы волнового фронта** // Квантовая электроника. 2021. 51(7), с. 593–596,
2. Галактионов И., Никитин А, Шелдакова Ю., Кудряшов А. **B-spline approximation of a wavefront measured by Shack – Hartmann sensor**. Proc. SPIE, Laser Beam Shaping XXI. p. 118180N. 2021 г.
3. Галактионов И., Никитин А., Шелдакова Ю., Кудряшов А. **Spatial light modulator control algorithm to focus moderately scattered laser beam**: International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), pp. 1-4, 2021.
4. Кудряшов А., Александров А., Галактионов И., Хазанов Е., Кочетков А., Котов А., Перевалов С., Самаркин В., Шайкин А., Соловьёв А. **240-mm bimorph deformable mirror for wavefront correction at the PEARL facility**. Proc. SPIE. p. 116720V, 2021.
5. Канев Ф., Аксенов В., Макенова Н., Веретехин И. **Оценка возможности передачи информации с использованием оптических вихрей при наличии фона, сформированного массивом случайно расположенных дислокаций** // Оптика атмосферы и океана. 2021. 34(9), с. 716-725.

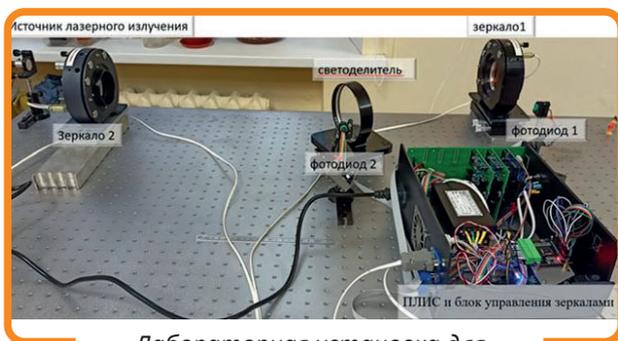
№ 20-19-00597 Адаптивная оптика для 6-ти метрового телескопа САО РАН

(рук. проекта к.ф.-м.н. Ю. В. ШЕЛДАКОВА

Основная научно-техническая задача, решаемая в данном проекте, заключается в повышении эффективности спектроскопии звёзд за счёт применения современных разработок в области адаптивной оптики на 6-метровом телескопе наземного базирования БТА.

В рамках выполнения проекта во второй год были проделаны следующие работы:

1. Разработан рассекаТЕЛЬ звёздного изображения, формируемого адаптивной системой. Адаптивная система частично устраняет искажения изображения звезды, вызванные атмосферной турбулентностью. Однако происходящее при этом уменьшение угловых размеров турбулентного диска изображения звезды не всегда является достаточным для согласования ширины щели спектрографа с элементом разрешения приемника, регистрирующего спектр.



Лабораторная установка для компенсации наклонов лазерного излучения

2. Проведены исследования, позволяющие получить информацию об искажениях на трассе распространения излучения из данных, характеризующих распределение оптических вихрей в плоскости наблюдения. Изучение особенностей распространения вихревого излучения было выполнено на основе методов численного эксперимента. Фазовая модуляция выполнялась в плоскости апертуры источника одним из полиномов Цернике или фазовым экраном, спектральная плотность флуктуаций показателя преломления, на котором задавалась спектром фон Кармана.

Публикации:

1. Toporovsky V., Samarkin V., Sheldakova J., Rukosuev A., Kudryashov A. **Water-cooled stacked-actuator flexible mirror for high-power laser beam correction** // Optics & Laser Technology. 144, p. 107427, 2021. doi:10.1016/j.optlastec.2021.107427.
2. Галактионов И.В., Шелдакова Ю.В., Никитин А.Н., Кудряшов А.В. **LCOS-SLM для задачи фокусировки лазерного излучения видимого диапазона сквозь умеренно рассеивающую среду**: Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Наука-Общество-Технологии-2021", 2021. с. 15-19,
3. Galaktionov I., Sheldakova J., Toporovsky V., Samarkin V., Kudryashov A. **Bimorph vs stacked actuator deformable mirror for laser beam focusing through a moderately scattering medium**. Proc. SPIE. p. 1167214, 2021, doi: 10.1117/12.2577604.

№ 19-19-00706 Разработка новых корректоров волнового фронта с высоким пространственным разрешением управляющих элементов (рук. проекта к.т.н. В. В. САМАРКИН)

Основная научно-техническая задача: разработка и создание новых типов миниатюрных корректоров волнового фронта (КВФ) с высоким пространственным разрешением управляющих элементов при использовании в адаптивных оптических системах (АОС) для современных лазеров, астрономии, беспроводной оптической связи, медицины, микроскопии и др. Были разработаны 2 вида корректоров: 1) деформируемые зеркала (ДЗ) на основе биморфного пьезоэлемента, которые с хорошей точностью воспроизводят и корректируют медленно меняющиеся крупномасштабные aberrации волнового фронта низких порядков, преобладающие в опто-электронных системах и лазерных источниках; 2) ДЗ на пьезоактюаторах, которые имеют высокое быстродействие, плотную упаковку актюаторов и позволяют воспроизводить мелкомасштабные aberrации волнового фронта высоких порядков.

В ходе выполнения проекта были разработаны методы уменьшения размеров корректоров и увеличения количества управляющих приводов при сохранении величины их перемещения. Рассмотрены вопросы увеличения скорости управления корректорами в замкнутых АОС.

Публикации:

1. Kudryashov A., Rukosuev A., Nikitin A. et al. **Real-time 1.5 kHz adaptive optical system to correct for atmospheric turbulence** // Opt. Express. 28(25), pp. 37546–37552, 2020, doi: 10.1364/OE.409201.
2. Toporovsky V., Samarkin V., Sheldakova J. et al. **Water-cooled stacked-actuator flexible mirror for high-power laser beam correction** // Optics & Laser Technology. 144, p. 107427. 2021, doi:10.1016/j.optlastec.2021.107427.



Фотографии биморфного (а) и пьезоактюаторного (б) деформируемых зеркал и быстрой адаптивной оптической системы (в)

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

№ 19-05-00671 Взаимосвязанные физические процессы в литосферно-атмосферно-ионосферной системе Земли по данным измерительного комплекса ГФО «Михнево»

(рук. проекта д.ф.-м.н. И. А. САНИНА)

Факт воздействия сейсмической энергии в сейсмоактивных районах на параметры ионосферы, электрические и магнитные поля хорошо известен и используется в частности при попытках прогноза землетрясений. Гораздо в меньшей степени исследованы дальнедействующие проявления сейсмических событий. Это связано с тем, что их исследование является сложной технической задачей, так как вызванные землетрясениями дальнедействующие эффекты могут быть обнаружены только высокочувствительными комплексами, включающими синхронно работающие сейсмические, акустические, ионосферные и магнитные измерительные средства при отсутствии существенных источников шумов и помех, то есть в асейсмичном районе.

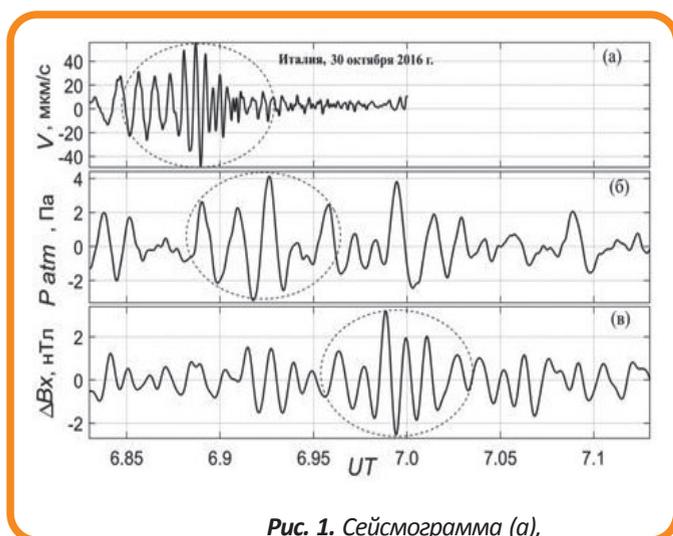


Рис. 1. Сейсмограмма (а), акустическое возмущение (б) и вариации B_x компоненты (в) по данным регистрации в ГФО «Михнево» после землетрясения в Италии 30 октября 2016 г.

Публикации:

1. Gavrillov, B.G., Poklad, Y.V., Rybnov, Y.S., Ryakhovsky, I.A., Sanina I.A. **Geomagnetic Effects of Remote Earthquakes** // Geomagn. Aeron., V.61, 108–116 (2021).
<https://doi.org/10.1134/S0016793221010047>

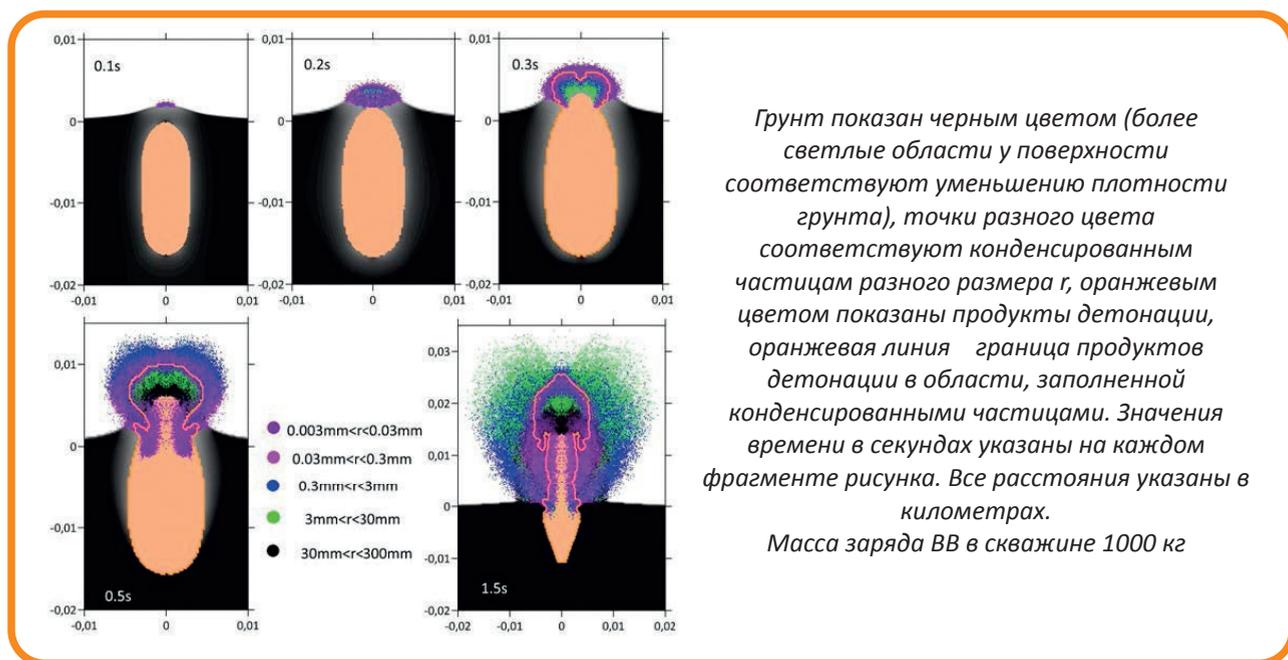
№ 19-05-50050 Пылегазовое загрязнение среды обитания и связанные с ним вариации геофизических полей (рук. проекта академик РАН В. В. АДУШКИН)

Проведены комплексные инструментальные наблюдения за развитием пылегазовых облаков промышленных взрывов на Лебединском карьере, одном из наиболее крупных железорудных карьеров Курской магнитной аномалии. Разработанная на основе аппаратной платформы Arduino Uno и лазерного датчика микрочастиц Sensirion SPS30 оригинальная система позволила в реальном времени наблюдать изменения концентрации микрочастиц в полевых условиях при проведении массовых взрывов на карьере.

Такая возможность реализована в геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» (54°57'25.92 N, 37°45'22.68 E). Для обнаружения и анализа соответствующих эффектов были исследованы землетрясения с магнитудой $\geq 6,5$, произошедшие в разных регионах Евразии, очаг которых находился в диапазоне расстояний $\sim 2000\text{--}3500$ км от обсерватории. На рис. 1 показан результат синхронной регистрации сейсмического (а), акустического (б) возмущения и вариаций геомагнитного поля (в) после землетрясения в Италии 30 октября 2016 г. Интерес к таким исследованиям связан не только с необходимостью изучения механизмов взаимодействия между геосферами, но и имеет важное практическое значение, так как появление возмущений электронной плотности и вариаций электромагнитных полей, вызванных удалёнными сейсмическими событиями, является источником шумов и помех, влияющих на точность проведения прецизионных физических измерений и на работу высокочувствительных технологических систем.

Продолжена разработка оригинальной теоретико-численной модели оценки концентрации микрочастиц в зависимости от напряженности атмосферного электрического поля. Показана возможность использования этой модели для оценки концентраций аэрозольных частиц с произвольным известным высотным профилем.

Разработана новая оригинальная модель формирования и подъема газопылевого облака, образующегося при взрывах зарядов в скважинах при проведении массовых взрывов на карьерах. Данная модель при последующем развитии позволит перейти к численным расчетам переноса микрочастиц горной породы в приземном слое атмосферы и решить ряд задач, связанных с загрязнением атмосферы при разработке полезных ископаемых на открытых карьерах. В отличие от других моделей рассматриваются все стадии процесса от выделения энергии в продуктах детонации до подъема газопылевого облака. Модель позволяет оценить количественные характеристики газопылевого облака (массу частиц разного размера и их распределения по пространству в разные моменты времени), которые невозможно или очень трудно определить экспериментально и, которые не рассчитываются в других моделях. Результаты исследований представлены в 7 публикациях, входящих в базы данных WoS, Scopus и РИНЦ.



Пуликации:

1. Khazins V.M., Shuvalov V.V., Soloviev S. P. **Dynamics of Fine Particle Emissions in Open Pit Mines** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2021 V. 57(5), p. 805–816. DOI:10.1134/S1069351321050104.
2. Adushkin, V.V., Soloviev, S.P. **Microparticles in the Atmosphere from Lithospheric Sources of Technogenic Origin** // Izv., Phys. Solid Earth. 57, p. 686–697 (2021), doi.org/10.1134/S1069351321050025.
3. Хазинс В.М., Соловьев С.П., Локтев Д.Н., Крашенников А.В., В. В. Шувалов В.В. **Перенос микрочастиц пыли ветром в планетарном пограничном слое** // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 13: сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : Графитекс, 2021. С. 147-156. DOI: 10.26006/22228535_2021_1_147.
4. Шувалов В.В., Хазинс В.М., Соловьев С.П. **Численное моделирование тротилового взрыва в скважине** // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : Графитекс, 2021. С. 140–147. DOI: 10.26006/22228535_2021_1_140.
5. Крашенников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П., Спивак А.А. **Компактные лазерные датчики концентрации микрочастиц в воздухе и их применение в центре геофизического мониторинга ИДГ РАН** // Наука и технологические разработки. 2021. Т. 100, № 3. С. 5–18.

№ 20-55-53031 Экспериментальное исследование эволюционного механизма разрушения геоматериала на основе комплексной сейсмоакустической и электромагнитной информации
(рук. проекта д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН)

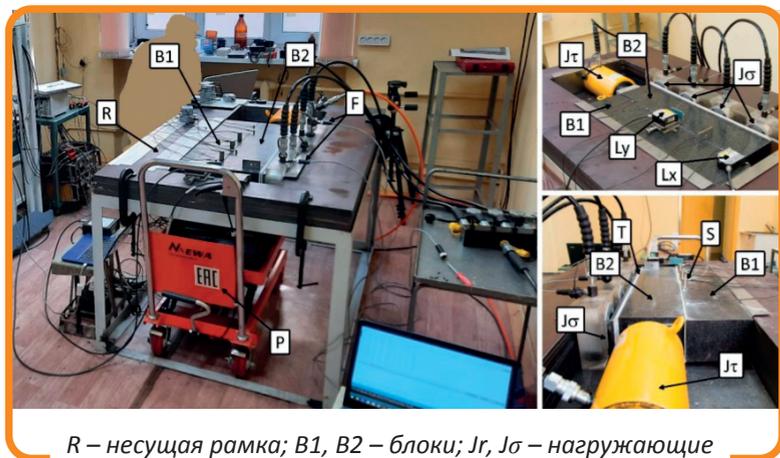
Создана методика оценки потенциальной опасности возникновения крупных техногенных землетрясений при разработке месторождений полезных ископаемых.

Основные результаты российской части проекта: разработана, изготовлена и введена в эксплуатацию новая не имеющая аналогов в России лабораторная установка метрового масштаба для исследования динамики скольжения по разлому (см. рисунок в приложении); исследованы закономерности развития динамической неустойчивости на модельном разломе с неоднородным распределением фрикционных свойств в зоне скольжения; разработан и апробирован новый метод анализа сейсмоакустических данных, направленный на выявление различных типов деформационных процессов, сопровождающих самоорганизацию геосреды при её переходе в метастабильное состояние.

Показано, что одним из возможных механизмов потери устойчивости гравитационным оползнем под воздействием низкоамплитудных сейсмических колебаний является снижение величины трения с ростом скорости скольжения на этапе ускоряющейся ползучести.

В численных экспериментах изучены закономерности взаимного влияния медленных и быстрых режимов скольжения, реализующихся на различных участках модельного разлома. На лабораторной модели гравитационного оползня исследованы закономерности развития неустойчивости на участке локализации скольжения при воздействии низкоамплитудных сейсмических колебаний.

Анализ данных по крупным индуцированным землетрясениям показал, что основным фактором, определяющим генерацию заметных сейсмических событий, очаги которых расположены на глубине более 2-3 км, является региональное поле напряжений, а техногенное инициирование таких землетрясений происходит из-за воздействия непосредственно на зону разлома. Судя по полученным результатам, перераспределение напряжений, вследствие выемки и перемещения больших объемов породы, является основным триггером таких событий.



R – несущая рамка; B1, B2 – блоки; Jr, Jσ – нагружающие домкраты; T – листы фторопласта; Lx, Ly – лазерные датчики перемещения; F – датчики силы; S – преобразователи АЭ; P – подвижная платформа

Публикации:

1. Кочарян Г.Г., Остапчук А.А., Павлов Д.В., и др. **Лабораторные исследования закономерностей фрикционного взаимодействия блоков скальной породы метрового масштаба. Методика и первые результаты** // Физика Земли, 2022, в печати.

№ 19-05-00378 Геомеханика процесса скольжения по разломам в массиве горных пород – зарождение, распространение и остановка разрыва (рук. проекта д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН)

Цель проекта – определение закономерностей инициирования крупных ($M > 2,8$) землетрясений наземными и подземными горными работами. Были проведены численные исследования процесса скольжения по разломам, поверхности которых представляют собой совокупность участков, обладающих разными фрикционными свойствами.

В результате показано, при каких условиях разрыв может выродиться в событие медленного скольжения, а когда – остановиться (это происходит на участке с низкой плотностью разупрочнения участков). Кроме того, численно исследованы условия возникновения «сверхскоростных» разрывов на гетерогенных границах раздела.

В соответствии с планом работ, аналитические и численные расчеты изменения поля статических напряжений, возникающие в результате крупномасштабной выемки породы (при разработке карьеров) были сопоставлены с результатами расчетов изменения поля напряжений, возникающего вследствие косейсмической подвижки в зоне афтершоков крупных землетрясений. Сравнение продемонстрировало возможность инициирования землетрясений горными работами.

В рамках проекта проанализированы сведения о расположении и иерархии вероятных зон «asperities» по результатам сейсмологических и геодезических наблюдений. В итоге предложено эмпирическое соотношение, связывающее характерный размер D-области, трактуемой как «asperity», и величину скалярного сейсмического момента землетрясения в широком диапазоне магнитуд.

В результате проведенных полевых работ расширена база данных параметров сейсмических и акустических колебаний от массовых взрывов. Впервые зарегистрирован рой «медленных землетрясений», индуцированных горными работами.

Публикации:

1. Kocharyan, G.G., Besedina, A.N., Kishkina, S.B., D.V. Pavlov, Sharafiev, Z.Z., Kamenev, P.A. **Slope Failure Initiation by Seismic Loading from Different Sources** // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2021. 57(5), pp. 614–626.

DOI:10.1134/S1069351321050116.

2. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Шарафиев З.З. **Лабораторное исследование устойчивости горных склонов при динамических воздействиях** // ФТПРПИ. 2021. № 6. с. 95–109.

DOI:10.26006/IDG.2020.61.73.008.

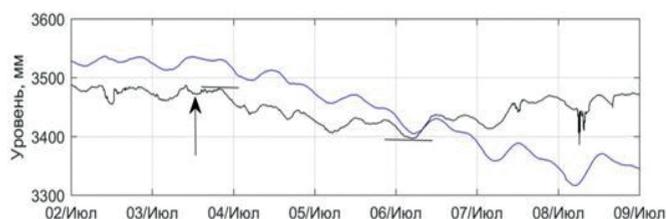
3. Будков А.М., Кочарян Г.Г. **Численное моделирование распространения сверхсдвигового разрыва по разломам с однородной и гетерогенной поверхностью** // *Динамические процессы в геосферах*, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2021, с. 10–19.

DOI:10.26006/22228535_2021_1_10.

№ 19-05-00809 Механизм деформирования флюидонасыщенного коллектора при сейсмическом воздействии по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод

(рук. проекта к.ф.-м.н. Э. М. ГОРБУНОВА)

В ходе исследований установлена взаимосвязь между снижением уровня водоносного горизонта и формированием зон наведенной трещиноватости [Gorbunova, 2021]. Аномально высокая скорость снижения уровня, отфильтрованного от влияния атмосферного давления, по сравнению с фоновыми (суточными) вариациями, отмеченная в первые сутки после проведения взрывов в ближних камерах к пункту наблюдений, свидетельствует о постепенном оттоке подземных вод, связанном с заполнением зон наведенной трещиноватости. Необратимые изменения фильтрационных свойств надрудной толщи подтверждены результатами повторных откачек и комплексом геофизических исследований в скважинах.



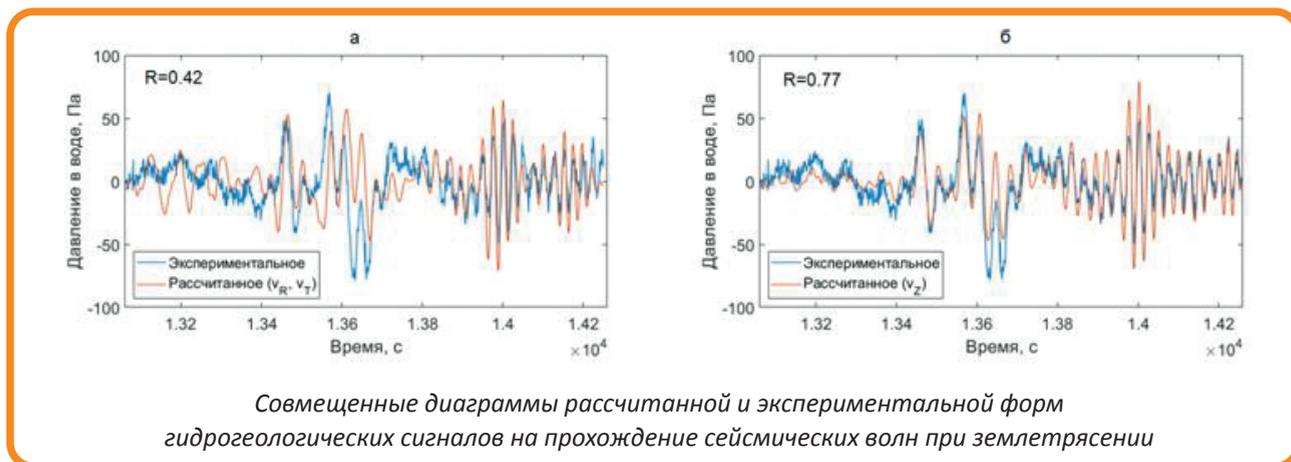
Диаграммы вариаций уровня подземных вод исходные (синяя линия) и отфильтрованные от влияния атмосферного давления (черная линия). Снижение уровня на 86 мм на протяжении 2,5 суток после подрыва двух камер 03.07.2021 г., расположенных на приведенных расстояниях 41-67 м/кг^{1/3} (стрелка – время взрыва)

Публикации:

1. Gorbunova E. Large-Scale Explosion and Induced Seismicity: Geological, Structural, and Hydrogeological Impacts. *Pure Appl. Geophys.* 178, 1223–1234 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02714-1>

№ 20-35-90016 Динамическое деформирование флюидонасыщенных коллекторов при сейсмическом воздействии (рук. проекта к.ф.-м.н. Э. М. ГОРБУНОВА)

В ходе исследований выполнена оценка проницаемости и водопроницаемости карбонатного коллектора по результатам анализа приливных волн, рассчитанных в смещении грунта и выделенных в вариациях уровня напорного водоносного горизонта, зарегистрированных на территории ГФО «Михнево»; апробирована методика расчета порового давления в коллекторе при сейсмическом воздействии в дальней зоне в соответствии с моделью пороупругости [Петухова и др., 2021; Gorbunova et al., 2021].



Совмещенные диаграммы рассчитанной и экспериментальной форм гидрогеологических сигналов на прохождение сейсмических волн при землетрясении 27.02.2010 г. M_w 8,8 вблизи побережья Центрального Чили с учетом объемной и девиаторной деформации (а), объемной деформации (б)

Публикации:

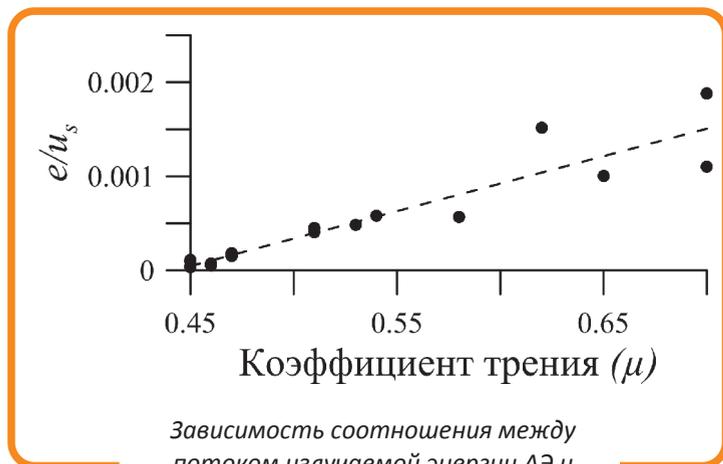
1. Петухова С.М., Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Батухтин И.В. **Удаленные землетрясения в вариациях уровня подземных вод по данным высокоточных измерений на территории геофизической обсерватории «Михнево»** // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов: Труды Восьмой научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский. 26 сентября–2 октября 2021 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2021. С. 99–103.
2. Gorbunova E.M., Besedina A.N., Batukhtin I.V., Petukhova S.M. **Hydrogeological Responses of Fluid Saturated Collectors to Remote Earthquakes**. Processes in GeoMedia. Volume IV. Switzerland: Springer Geology. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76328-2_22.

№ 20-35-90074 Деформирование разломов с гетерогенной структурой интерфейса (рук. проекта к.ф.-м.н. А. А. ОСТАПЧУК)

Проект направлен на выявление новых признаков перехода локальных областей активных разломов в метастабильное состояние и исследование закономерностей инициирования распространения разрыва на разломе с гетерогенной структурой. На первом этапе проекта была реализована серия лабораторных экспериментов по сдвиговому деформированию модельного разлома в постановке слайдер-модели. Такие эксперименты являются действенным инструментом для получения информации о закономерностях зарождения лабораторных землетрясений.

На основе данных всех экспериментов была установлена функциональная зависимость между фрикционной прочностью трещины, скоростью её деформирования и потоком излучаемой энергии АЭ. Выявленная зависимость указывает на определяющую роль пространственной структурированности гранулированного слоя модельной трещины.

Предложен новый параметр состояния трещины – обобщенный дефицит, который позволяет с высокой точностью контролировать стадию цикла её нагружения. Обобщенный дефицит учитывает вариации потока энергии АЭ и перемещения берегов трещины, тем самым учитывает процессы, протекающие на микро- и макроуровнях, соответственно. Скорость изменения обобщенного дефицита имеет единую картину эволюции при всех реализованных режимах скольжения и может быть использована как индикатор перехода трещины в предельное состояние.



Зависимость соотношения между потоком излучаемой энергии АЭ и скоростью её деформирования e/u_s от коэффициента трения μ для всех проведенных экспериментов по сдвиговому деформированию модельной трещины

Результаты были представлены на 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ (г. Москва, 29 ноября–3 декабря 2021 г.) тема доклада: **Вариация обобщенного дефицита при сдвиговом деформировании модельного разлома.**

№ 20-35-80018

Учет фильтрационных процессов при определении величин тектонических напряжений в нефтенасыщенных коллекторах по данным гидроразрыва пласта (рук. проекта научный сотрудник М. А. ТРИМОНОВА)

№ 20-35-80028 **Исследование движение проппанта в трещине гидроразрыва пласта под действием фильтрационных сил(физический эксперимент)** (рук. проекта к.ф.-м.н. Г. В. БЕЛЯКОВ)

№ 20-15-50255 **Возникновение и развитие процессов скольжения в зонах континентальных разломов под действием природных и техногенных факторов** (рук. проекта д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН)

ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОГОВОРЫ

1. № 03/2018-1252/2019 **Исследование детонационных процессов во взрывчатых веществах.** Заказчик АО «Комбинат КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
2. № МГ- 210091(4 этапа) **Мониторинг и обеспечение сейсмической и акустической безопасности массовых взрывов в карьере АО «Михайловский ГОК» им. А. В. Варичева».** Заказчик ПАО «Михайловский ГОК» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
3. № ЛГ- 202286(4 этапа) **Мониторинг и обеспечение сейсмической и акустической безопасности массовых взрывов в карьере АО «Лебединский ГОК».** Заказчик АО «Лебединский ГОК» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ)
4. № 10/2021.(4 этапа) **Исследование сейсмического действия массовых взрывов на застройку города**

Губкин. Заказчик АО «КОМБИНАТ КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).

5. №96-2021/107 **Разработка предложений по экспериментальному моделированию высокоскоростных плазменных образований и магнитным полем в условиях активного геофизического ракетного эксперимента «Северная звезда» с использованием моделирования источника плазмы.** Заказчик РФЯЦ ВНИИЭФ ФГУП (отв. к.т.н. А. Н. ЛЯХОВ).

6. № 13/2021-БС-04 **Изготовление быстродействующего датчика волнового фронта с управлением с программируемой логической интегральной схемы.** Заказчик РФЯЦ ВНИИЭФ ФГУП (отв. к.ф.-м.н. А. Л. РУКОСУЕВ).

7. № 0320Э **Экспертиза отчета о сейсмической обстановке севера о. Сахалин.** Заказчик ООО Геофизтех (отв. к.ф.-м.н. Д. Н. ЛОКТЕВ).

8. № 0321/Э. **Экспертиза отчета о сейсмической обстановке севера о. Сахалин.** Заказчик ООО Геофизтех (отв. к.ф.-м.н. Д. Н. ЛОКТЕВ).

Интеграция науки и образования

Одним из приоритетных направлений деятельности ИДГ РАН им. академика М. А. Садовского является подготовка молодых высококвалифицированных кадров и привлечение талантливой молодежи в сферу науки

БАЗОВАЯ КАФЕДРА «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА ГЕОСИСТЕМ» Московского физико-технического института (национального исследовательского университета)

На протяжении более полувека в Институте действует базовая кафедра Московского физико-технического института «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА ГЕОСИСТЕМ». Возглавляет кафедру директор ИДГ РАН, д.ф.-м.н. С. Б. ТУРУНТАЕВ. Кафедра готовит бакалавров и магистров по направлению **03.04.01 – прикладные математика и физика.**

В рамках учебного процесса в бакалавриате студенты МФТИ получают базовые теоретические знания по физике ионосферы, физике Земли, физике метеорных явлений, сейсмологии, физике атмосферы, осваивают современные методы обработки геофизических данных и компьютерное моделирование в геофизике, получают опыт выполнения исследований в научных группах. В магистратуре студентам выбирают гибкие траектории обучения, которые дают возможность

углубить знания в вопросах верхних геосфер или физике твердой Земли, а также освоить блок дисциплин по анализу временных рядов, анализу пространственно-распределенных данных, машинному обучению в геофизике. Лекции и практикумы проводят ведущие ученые, профессора и доценты Института, включая 5 докторов и 11 кандидатов наук.

В 2021/22 учебном году на кафедре обучается 12 студентов и 5 аспирантов. Студенты кафедры принимают активное участие в текущей научно-исследовательской работе Института, участвуют в студенческих, всероссийских и международных научных конференциях. В 2021 году в рамках 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ было организовано заседание секции **«Теоретическая и экспериментальная физика геосистем»**, на которой студентами МФТИ и молодыми сотрудниками ИДГ РАН было представлено 10 докладов.

*В 2021 году научные исследования студентов и сотрудников кафедры были поддержаны
3 грантами РНФ*

АСПИРАНТУРА

В соответствии с Федеральным законом РФ «О высшем образовании» от 22.08.1996 г. № 125-ФЗ докторантура и аспирантура являются основными формами подготовки педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования, представляющими гражданам Российской Федерации возможность повышения уровня научной квалификации.

Согласно лицензии на право осуществления образовательной деятельности послевузовского профессионального образования (регистрационный №1524 от 20.07.2011 г.) Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук проводит ежегодный набор в аспирантуру лиц, имеющих высшее профессиональное образование, по следующим специальностям: **25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых, 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.**

В 2020/21 учебном году в аспирантуре ИДГ РАН обучалось 12 аспирантов, трое из них по специальности **25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы.**

В 2021 году успешно защитили научно-квалификационные работы и получили дипломы об окончании аспирантуры аспиранты ИДГ РАН (профиль: **25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых**):

- ▲ К. А. ГАРИНА (научн. рук. С. Б. Турунтаев, лаб. Геомеханики и флюидодинамики), тема: **Анализ техногенной сейсмичности с помощью методов нелинейной динамики.**
- ▲ В. С. МАРТЫНОВ (научн. рук. А. А. Остапчук, лаб. Деформационных процессов в земной коре), тема: **Трансформация режима скольжения по модельному разлому при внешнем воздействии.**
- ▲ Р. А. РЕЗНИЧЕНКО (научн. рук. И. А. Санина, лаб. Сейсмологических методов исследования литосферы), тема: **Пространственная скоростная модель литосферы о. Сахалин по данным локальной сети.**
- ▲ Н. А. ЮДОЧКИН (научн. рук. А. А. Таирова, лаб. Геомеханики и флюидодинамики), тема: **Инструментально-методическое обеспечение лабораторных исследований в задачах геомеханики применительно к разработке месторождений углеводородов.**

На смену выпускникам в аспирантуру ИДГ РАН поступили 2 человека по специальности **25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых**, один – **25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы.**

Практически в каждом подразделении Института (Геомеханика и флюидодинамика, Деформационные процессы в земной коре, Сейсмологические методы исследования литосферы, Электродинамические процессы в геофизике, Литосферно-ионосферные связи, Атмосферная адаптивная оптика) обучаются аспиранты ИДГ РАН.

Совет молодых ученых

На протяжении многих лет в ИДГ РАН работает Совет молодых ученых (СМУ). Основными целями СМУ являются повышение уровня квалификации и содействие творческого потенциала молодых ученых, аспирантов, специалистов, обеспечение преемственности в сфере отечественной науки и высшего образования.

В 2021 году, при непосредственной поддержке руководства Института, молодые ученые ИДГ РАН приняли участие во многих международных и всероссийских конференциях.

За отчетный период молодыми сотрудниками ИДГ РАН в 2021 году было опубликовано более 15 научных работ в журналах первого и второго квартиля, включенных в международные системы цитирования Web of Science и Scopus.

Представители СМУ приняли активное участие в работе Конгресса молодых ученых, проводившемся в г. Сочи (декабрь, 2021 г.). В рамках Конгресса была разработана дорожная карта по совершенствованию мер поддержки молодых исследователей. Документ содержит проект плана мероприятий по реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.



На фото: слева – молодые ученые ИДГ РАН аспиранты (слева-направо) София Петухова, Ксения Морозова, Станислав Тарасов, принявшие участие в конференции **Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов** (г. Петропавловск-Камчатский, сентябрь, 2021 г.). Справа – представители СМУ на Конгрессе молодых ученых (г. Сочи, декабрь 2021 г.) (слева-направо) председатель СМУ к.ф.-м.н., зав. лаб. Литосферно-ионосферных связей И. А. РЯХОВСКИЙ, аспирант К. Г. МОРОЗОВА, к.ф.-м.н., зав. лаб. Деформационных процессов в земной коре А. А. ОСТАПЧУК



Участники проведения полевых работ по техническому контролю аппаратно-измерительного комплекса: (слева-направо) младшие научные сотрудники З. З. Шарафиев, А. В. Крашенинников, И. В. Батухтин

СМУ принимает активное участие в общественной жизни коллектива Института, уделяет совместному досугу особое внимание. Весной текущего года СМУ организовал спортивные соревнования по настольному теннису. Призеры были награждены памятными медалями и грамотами. Подобные мероприятия позволяют не только поддерживать физическую форму молодых ученых, но главное – сплачивают, позволяют в неформальной обстановке лучше узнать друг друга.

Патентно-лицензионная деятельность

1. № [2021621637](#) от 30.07.2021 г. **Синхронные сейсмические, гидрогеологические и барометрические измерения при проведении массовых взрывов на железорудном месторождении КМА в двух измерительных пунктах (БД)**

АВТОРЫ: кандидаты физ.-мат.-наук Э. М. ГОРБУНОВА, А. М. БЕСЕДИНА, м.н.с. И. В. БАТУХТИН, аспирант С. М. ПЕТУХОВА

2. № [2021622664](#) от 26.11.2021 г. **Каталог промышленных взрывов зарегистрированных геофизической обсерваторией ИДГ РАН «Михнево» в 2019 году (БД)**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. И. А. САНИНА, с.н.с. С. Г. ВОЛОСОВ, м.н.с. Т. В. ДАНИЛОВА, аспирант С. А. ТАРАСОВ, н.с. Н. Л. КОНСТАНТИНОВСКАЯ

3. № [2021622282](#) от 26.10.2021 г. **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО «Михнево» в 2019 году**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ, кандидаты физ.-мат. наук Ю. В. ПОКЛАД, И. А. РЯХОВСКИЙ, с.н.с. В. М. ЕРМАК, к.ф.-м.н. С. З. БЕККЕР

4. № [2021669811](#) от 02.12.2021 г. **Оценка высоты неосвещенной нижней ионосферы по данным амплитудных характеристик сигналов СДВ станций (Программа ЭВМ)**

АВТОРЫ: инженер-исследователь Е. Н. КОЗАКОВА, к.ф.м.-н. И. А. РЯХОВСКИЙ

5. № [2021622675](#) от 29.11.2021 г. **Мониторинг сейсмических событий Центральной части Восточно-Европейской платформы по данным малоапертурной группы «Михнево» и станции «Александровка» в 2020 году (БД)**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. И. А. САНИНА, с.н.с. С. Г. ВОЛОСОВ, м.н.с. Т. В. ДАНИЛОВА, к.ф.-м.н. А. Г. ГОЕВ, н.с. Н. Л. КОНСТАНТИНОВСКАЯ

6. № [2021622476](#) от 12.11.2021 г. **Мониторинг сейсмических событий Центральной части Восточно-Европейской платформы по данным малоапертурной группы «Михнево» в 2019 г. (БД)**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. И. А. САНИНА, н.с. Н. Л. КОНСТАНТИНОВСКАЯ, м.н.с. Т. В. ДАНИЛОВА, с.н.с. С. Г. ВОЛОСОВ, аспирант С. А. ТАРАСОВ

7. № [2021668289](#) от 12.11.2021 г. **Выделение пространственно-временных кластеров сейсмических событий, локализованных в плоскости тектонического разлома (Программа ЭВМ)**

АВТОРЫ: к.ф.-м.н. А. А. ОСТАПЧУК, техник, студент III курса МГТУ им. Н. Э. Баумана М. Ф. ПОПОВ

8. № [2021622355](#) от 01.11.2021 г. **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО «Михнево» в 2020 году**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ, кандидаты физ.-мат. наук Ю. В. ПОКЛАД, И. А. РЯХОВСКИЙ, с.н.с. В. М. ЕРМАК, к.ф.-м.н. С. З. БЕККЕР

9. № [2021622296](#) от 27.10.2021 г. **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО «Михнево» в 2018 году**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ, кандидаты физ.-мат. наук Ю. В. ПОКЛАД, И. А. РЯХОВСКИЙ, с.н.с. В. М. ЕРМАК, к.ф.-м.н. С. З. БЕККЕР

10. № [2021622954](#) от 15.12.2021 г. **Времена вступлений и амплитуды продольных сейсмических волн, зарегистрированных МСА «Михнево» от взрывов на карьере «Новогуровский» Тульской области за 2013-2016 гг. (БД)**

АВТОРЫ: д.ф.-м.н. И. А. САНИНА, с.н.с. С. Г. ВОЛОСОВ, м.н.с. Т. В. ДАНИЛОВА, аспирант С. А. ТАРАСОВ, н.с. Н. Л. КОНСТАНТИНОВСКАЯ

В 2021 г. изданы:

МОНОГРАФИИ

1. *Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А.* **Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов.** М. : ГЕОС, 2021. – 264 с.
2. *Козлов С.И.* **Аэрономия искусственно возмущенных атмосферы и иносферы Земли.** — Москва: ТОРУС ПРЕСС, 2021. 268 с.: ил. ISBN 978-5-94588-294-2.
3. *Перунов Ю.М., Дмитриев В.Г., Куприянов А.И.* **Радиоэлектронная борьба. Обнаружение и идентификация информационных каналов.** М. : Факториал, 2021. – 266 с.: ил.
4. *Перунов Ю.М.* **Радиоэлектронная борьба в информационных каналах.** — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 452 с. : ил., табл.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2021. – 212 с. ISSN 2222-8535.

ПУБЛИКАЦИИ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ

1. *Adushkin, V.V., Goev, A.G., Sanina, I.A., Fedorov, A.V.* **The Deep Velocity Structure of the Central Kola Peninsula Obtained using the Receiver Function Technique** // *Doklady Earth Sciences*. 2021, 501 (2), pp. 1049–1051. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21120011>.
2. *Adushkin, V.V., Soloviev, S.P.* **Microparticles in the Atmosphere from Lithospheric Sources of Technogenic Origin** // *Izv. Phys. Solid Earth*. 2021. 57, pp. 686–697 <https://doi.org/10.1134/S1069351321050025>.
3. *Adushkin, V.V., Spivak, A.A.* **Impact of Natural Extreme Events on Geophysical Fields in the Environment** // *Izv. Phys. Solid Earth*. 2021. 57, pp. 583–592. <https://doi.org/10.1134/S1069351321050037>.
4. *Aleshin, I.M., Goev, A.G., Kosarev, G.L. et al.* **Seismic Noise H/V Spectral Ratio Can Be Inverted Jointly with Receiver Functions** // *Izv. Phys. Solid Earth*. 2021. 57, pp. 559–566. <https://doi.org/10.1134/S1069351321040017>.
5. *Alexander A. Spivak, Svetlana A. Riabova, Yaroslav O. Romanovsky.* **Geomagnetic disturbances caused by the fall of Chelyabinsk (February 15, 2013) and Lipetsk (June 21, 2018) bolides** // *Proc. SPIE 11916*, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191651 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2601973>.
6. *Alexander A. Spivak, Svetlana A. Riabova, Yaroslav O. Romanovsky, Yuri S. Rybnov, Vladimir A. Kharlamov.* **Manifestation of strong atmospheric phenomena in geophysical field** // *Proc. SPIE 11916*, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119165Q (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603206>.
7. *Alexander A. Spivak, Yuri S. Rybnov, Svetlana A. Riabova, Yaroslav O. Romanovsky, Vladimir A. Kharlamov.* **Microbaric variations in atmospheric pressure during magnetic storms** // *Proc. SPIE 11916*, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191652 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2601974>.
8. *Alexander Nikitin, Ilya Galaktionov, Julia Sheldakova, Alexis Kudryashov, Vadim Samarkin, Alexey Rukosuev, and Vladimir Toporovsky.* **Focusing laser beam through pinhole using high-resolution stacked-actuator deformable mirror** // *Proc. SPIE 11672*, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, 116720W (5 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2578116>.

9. Alexey L. Rukosuev, Vadim N. Belousov, Alexander N. Nikitin, Julia V. Sheldakova, Alexis V. Kudryashov. **Analysis of laboratory turbulence by spectral methods** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119161H (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603463>.
10. Alexey V. Krasheninnikov, Dmitry N. Loktev, Sergey P. Soloviev, Svetlana A. Ryabova. **Impact of restrictions during the coronavirus pandemia on air pollution in Moscow** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119165Z (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603278>.
11. Alexey V. Krasheninnikov, Dmitry N. Loktev, Sergey P. Soloviev, Valery M. Khazins. **Transport of microparticles as stated by observation data in the open mining pit** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119165Y (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603277>.
12. Alexey V. Krasheninnikov, Yuri S. Rybnov, Sergey P. Soloviev, Alexander A. Spivak. **Infrasound from the aurora borealis** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119167Q (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603279>.
13. Alexis Kudryashov, Alexander Alexandrov, Ilya Galaktionov, Efim Khazanov, Anton Kochetkov, Alexander Kotov, Sergey Perevalov, Vadim Samarkin, Andrey Shaykin, and Alexander Soloviev. **240-mm bimorph deformable mirror for wavefront correction at the PEARL facility** // Proc. SPIE 11672, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, 116720V (5 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2578070>.
14. Andrei E. Lugovtsov, Vladislav D. Ustinov, Georgy S. Kalenkov, Sergey G. Kalenkov, and Alexander V. Priezhev. **Hyperspectral holography and laser diffractometry of erythrocytes** // Journal of Biomedical Photonics and Engineering. 2020. Volume 6, Issue 2 (020306), pp. 1–5; <https://dx.doi.org/10.18287/JBPE20.06.020306>.
15. Andrey N. Lyakhov, Egor S. Goncharov, Tatiana V. Losseva. **The numerical simulation of ELF-LF propagation in the Earth-ionosphere waveguide under WACCM-X results** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119167V (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603344>.
16. Babaykina K.V., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V. **Influence of electronic emissions on the state of the lower ionosphere and a mplitude characteristics of VLF radio signals** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119167P (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603265>.
17. Bekker, S.Z., Ryakhovsky, I.A. & Korsunskaya, J.A. **Modeling of the lower ionosphere during solar X-ray flares of different classes** // Journal of Geophysical Research: Space Physics, 2021. 126, e2020JA028767; <https://doi.org/10.1029/2020JA028767>.
18. Belousov V.N., Nikitin A.N., Rukosuev A.L., Sheldakov, Yu.V., Bogachev V.A., Volkov M.V., Garanin S.G., Starikov F.A., Shnyagin R.A., Kudryashov A.V. **Investigation of spatial and temporal characteristics of turbulent-distorted laser radiation during its dynamic phase correction in an adaptive optical system** // Quantum Electronics. 2021, 51 (11), pp. 992–999; <https://doi.org/10.1070/QEL17641>.
19. Besedina, A.N., Kabychenko, N.V., Volosov, S.G. et al. **Instrumental Circuit for Extending the Frequency Responses of Short-Period Sensors on the Example of the SM-3KV Seismometer** // Seism. Instr. 2021. 57, pp. 249–258; <https://doi.org/10.3103/S0747923921030026>.
20. Besedina, A.N., Kishkina, S.B. & Kocharyan, G.G. **Source Parameters of Microseismic Swarm Events Induced by the Explosion at the Korobkovskoe Iron Ore Deposit** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 348–365; <https://doi.org/10.1134/S1069351321030034>.
21. Chernonozhkin S.M., González de Vega C., Artemieva N. et al. **Isotopic evolution of planetary crusts by hypervelocity impacts evidenced by Fe in microtektites** // Nature Communications, 2021, 12 (1), № 5646; <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25819-6>.
22. Denisenko, V.V., Lyakhov, A.N. **Comparison of ground-based and satellite data on spatiotemporal distribution of lightning discharges under solar minimum** // Solar-Terrestrial Physics, 2021, 7 (4), pp. 104–112; <https://doi.org/10.12737/stp-74202112>.
23. Efremov V., Popova O., Glazachev D., Margonis A., Oberst J., Kartashova A. **Small meteor ablation model: Applying to Perseid observations** // Contrib. Astron. Obs. Skalnat´e Pleso. 2021, 51, pp. 186–206; <https://doi.org/10.31577/caosp.2021.51.3.186>.
24. Egor S. Goncharov, Andrey N. Lyakhov, Tatiana V. Losseva. **Seasonal Schumann Resonance variations**

- according to magnetic field measurements at **Mikhnevo observatory** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119167W (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603361>.
25. Galaktionov I.V., Kudryashov A.V., Nikitin A.N., Rukosuev A.L., Samarkin V.V., Sheldakova Y.V. **Features of FPGA Using in a Fast Adaptive Optical Syste**. In: Singh K., Gupta A.K., Khare S., Dixit N., Pant K. (eds) ICOL-2019 // Springer Proceedings in Physics, 2021, vol. 258. Springer, Singapore; https://doi.org/10.1007/978-981-15-9259-1_16.
26. Galaktionov, I., Nikitin, A., Sheldakova, J., Kudryashov, A. **B-spline approximation of a wavefront measured by Shack-Hartmann sensor** // Proc. SPIE 11818, The International Society for Optical Engineering, 118180N; <https://doi.org/10.1117/12.2598249>.
27. Galaktionov, I., Nikitin, A., Sheldakova, J., Kudryashov, A. **Spatial light modulator control algorithm to focus moderately scattered laser beam** // Proc. ITNT 2021, 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649424.
28. Galaktionov, V. Toporovsky, J. Sheldakova, A. Kudryashov **Comparison of stacked actuator and bimorph mirrors for scattered laser-beam focusing** // Proc. SPIE 11818, Laser Beam Shaping XXI, 118180O, 2021; <https://doi.org/10.1117/12.2599209>.
29. Gavrilov, B.G. **How do field-aligned currents influence plasma flows? Laboratory and space plasma experiments** // Advances in Space Research, 2021. V. 68, № 4, pp. 1890–1901; <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.04.030>.
30. Gavrilov, B.G., Poklad, Y.V. **Physical Effects Arising from the Motion of Plasma Flows in the Ionosphere** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 731–744; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050049>.
31. Gavrilov, B.G., Poklad, Y.V., Rybnov, Y.S. et al. **Geomagnetic Effects of Remote Earthquakes** // Geomagn. Aeron. 2021, 61, pp. 108–116; <https://doi.org/10.1134/S0016793221010047>.
32. Ginneken M.Van, Goderis S., Artemieva N. et al. **A large meteoritic event over Antarctica ca. 430 ka ago inferred from chondritic spherules from the Sør Rondane Mountains** // Sci. Adv. 2021, 7, eabc1008; <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc1008>.
33. Glazachev, D.O., Popova, O.P., Podobnaya, E.D. et al. **Shock Wave Effects from the Impacts of Cosmic Objects with Diameters from 20 m to 3 km** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 698–709; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050050>.
34. Goev, A.G., Sanina, I.A., Oreshin, S.I. et al. **Receiver-Function Velocity Structure of the Lithosphere beneath the Khibiny and Lovozero Massifs, Northeastern Baltic Shield** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 605–613; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050062>.
35. Gorbunova, E.M., Besedina, A.N., Kabychenko, N.V. et al. **Precision Hydrogeological Monitoring in Technogenically Disturbed Conditions: Organization, Execution, and Processing of Experimental Data** // Seism. Instr. 2021. 57, pp. 600–613; <https://doi.org/10.3103/S0747923921050030>.
36. Gorbunova, E. **Large-Scale Explosion and Induced Seismicity: Geological, Structural, and Hydrogeological Impacts** // Pure Appl. Geophys. 2021, 178, pp. 1223–1234; <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02714-1>.
37. Gorbunova, E.M., Batukhtin, I.V., Besedina, A.N., Petukhova, S.M. **Hydrogeological Responses of Fluid-Saturated Collectors to Remote Earthquakes**. Springer Geology, 2022, pp. 203–214; https://doi.org/10.1007/978-3-030-76328-2_22.
38. Gorbunova, E.M., Besedina, A.N., Kabychenko, N.V. et al. **Response of Water-Saturated Reservoirs to a Dynamic Impact Based on the Data of Groundwater-Level Monitoring by Precision Measurements** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 644–658; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050074>.
39. Ilya Galaktionov, Julia Sheldakova, Vladimir Toporovsky, Vadim Samarkin, and Alexis Kudryashov. **Bimorph vs stacked actuator deformable mirror for laser beam focusing through a moderately scattering medium** // Proc. SPIE 11672, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, 1167214 (5 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2577604>.
40. Iryna A. Sanina, Yuri S. Rybnov, Natalya L. Konstantinovskaya, Margarita A. Nesterkina **Seismoacoustic effects of strong earthquakes** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119163B (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603219>.
41. Ivanchenko, G.N., Gorbunova, E.M. **Formalized Lineament Analysis of Geological Structures in the Baikal Region** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 779–788; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050086>.

42. *Ivanov, B.A. Numerical Modeling of Impact Crater Shape with Mechanical Dynamic Softening // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 710–717; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050098>.*
43. *Kalenkov S.G. and Kalenkov G.S. Registration of digital holograms by means of resonant phase-shifting // J. Opt. Soc. Am. 2021, A 38, A7-A10; <https://doi.org/10.1364/JOSAA.404001>.*
44. *Khazins, V.M., Shuvalov, V.V. & Soloviev, S.P. Dynamics of Fine Particle Emissions in Open Pit Mines // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp.805–816; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050104>.*
45. *Kishkina, S.B., Kocharyan, G.G., Budkov, A.M., Ivanchenko, G.N., Loktev, D.N. Impact of Open Pit Mining in Gorlovka Coal Basin on Large Earthquakes // Journal of Mining Science, 2021, 57 (4), pp. 546–556; <https://doi.org/10.1134/S1062739121040025>.*
46. *Kocharyan G.G., Kishkina S.B. The Physical Mesomechanics of the Earthquake Source // Physical mesomechanics, 2021, vol. 24, No. 4, p. 343–356; <https://doi.org/10.1134/S1029959921040019>.*
47. *Kocharyan, G.G. Nucleation and Evolution of Sliding in Continental Fault Zones under the Action of Natural and Man-Made Factors: A State-of-the-Art Review // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2021, 57(4), pp. 439–473; <https://doi.org/10.1134/S1069351321040066>.*
48. *Kocharyan, G.G., Besedina, A.N., Kishkina, S.B. et al. Slope Failure Initiation by Seismic Loading from Different Sources // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 614–626; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050116>.*
49. *Kotov A.V., Perevalov S.E., Starodubtsev M.V. et al. Adaptive system for correcting optical aberrations of high-power lasers with dynamic determination of the reference wavefront // Quantum Electronics, 2021, Volume 51, Number 7; <https://doi.org/10.1070/QEL17542>.*
50. *Kozakova E.N., Ryakhovskiy I.A., Poklad Yu.V., Gavrilov B.G. The terminator influence on the amplitude of VLF stations' signals registered at the geophysical observatory «Mikhnevo» // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191681 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603385>.*
51. *Krasnoshchekov, D.N., Ovtchinnikov, V.M. & Usoltseva, O.A. Mechanical Q-Factor in the Earth's Upper Inner Core Inferred from PKiKP Coda Waves // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 593–604; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050141>.*
52. *Kuzmicheva, M.Y., Ivanov, B.A. Modeling the Magnetic Anomaly of the Bosumtwi (Ghana) Complex Meteorite Crater by Taking Into Account the Impact Demagnetization and Morphological Features // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 795–804; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050128>.*
53. *Losseva T.V., A.P. Golub', I.B. Kosarev, Yu.V. Poklad, A.N. Lyakhov Determination of the high-speed plasma jet injection parameters in the «Fluxus» // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191670 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603249>experiments.*
54. *Nachev, V.A., Dubinya, N.V., Tikhotskiy, S.A. Numerical Modeling of Bottom Soil Sampling Performed to Study Their Mechanical Properties: 55th U.S. Rock Mechanics / Geomechanics Symposium. 2021, 4.*
55. *Nepeina, K.S., An, V.A. Travel Time Curves of Seismic Waves from Underground Explosions on Amchitka Island // Acoustical physics, 2021, vol. 67, No. 6, p. 640–647; <https://doi.org/10.1134/S1063771021060117>.*
56. *Novikova, E.V., Trimonova, M.A. Determination of the fluid loss properties of samples for different flow regimes based on the data of laboratory experiments on hydraulic fracturing: 23th Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, № 86, 2021; <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202157086>.*
57. *Ostapchuk A, Morozova K, Markov V, Pavlov D and Popov M. Acoustic Emission Reveals Multiple Slip Modes on a Frictional Fault // Front. Earth Sci. 9:657487. 2021; <https://doi.org/10.3389/feart.2021.657487>.*
58. *Ostapchuk, A.A., Kocharyan, G.G., Morozova, K.G. et al. Peculiarities of Dynamic Slip Nucleation in a Thin Granular Layer // Izv., Phys. Solid Earth.2021, 57, pp. 659–670; <https://doi.org/10.1134/S106935132105013X>.*
59. *Ovtchinnikov V.M., Krasnoshchekov D.N. Seismic Studies of the Earth's Core // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 141–162; <https://doi.org/10.1134/S1069351321020087>.*
60. *Podobnaya, E.D., Popova, O.P., Glazachev, D.O. Trajectory estimation for fresh impacts on Mars //*

Contributions of the Astronomical Observatory Skalnate Pleso, 2021, 51 (3), pp. 241–248; <https://doi.org/10.31577/CAOSP.2021.51.3.241>.

61. Poklad Yu.V., K.V. Babaykina, V.M. Ermak et al. **Change in the ionospheric parameters during a series of x-ray flares on September 6-10, 2017** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119168E (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603566>.

62. Riabova S.A., Spivak A.A. **Variations of Electrical Characteristics of the Surface Atmosphere during Magnetic Storms** // Dokl. Earth Sc. 2021, 497, pp. 246–251; <https://doi.org/10.1134/S1028334X21030090>.

63. Riabova S.A., Spivak A.A., Kharlamov V.A. (2021) **Manifestation of the Quintet of the Fundamental Spheroidal Mode OS2 of Earth's Free Oscillations in Electromagnetic Variations at the Mikhnevo Observatory**. In: Chaplina T. (eds) Processes in GeoMedia - Volume II. Springer Geology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_29.

64. Riabova, S.A., Shalimov, S.L. **On the Geomagnetic Variations Observed on the Earth's Surface in the Period Range of Planetary Waves** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 46–53; <https://doi.org/10.1134/S1069351321010079>.

65. Riabova, S.A., Shalimov, S.L. **Variations of the Ionospheric Plasma Parameters Observed by the Ionosonde and Magnetic Station in the Range of Periods of Planetary Waves** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2021, 57 (6), pp. 927–934; <https://doi.org/10.1134/S1069351321060069>.

66. Riabova, S.A., Spivak, A.A. **Variations in Electrical Characteristics of Near-Surface Atmosphere during Strong Earthquakes: Observation Results** // Izv., Phys. Solid Earth. 2020, 57, pp. 547–558; <https://doi.org/10.1134/S1069351321040078>.

67. Riga, V.Y., Turuntaev, S.B. **Induced Seismicity Modeling Based on Two-Parameter Rate-and-State Law** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 627–643; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050153>.

68. Rukosuev A.L., Belousov V.N., Nikitin A.N. et al. **Wavefront correction of laser beam distorted by fan heater turbulence using an adaptive optical system with a frequency of 2000 Hz** // Proc. SPIE 11678, Free-Space Laser Communications XXXIII, 116780P (5 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2578143>.

69. Rukosuev, A.L., Belousov, V.N., Nikitin, A.N. et al.

Laboratory Simulation of Atmospheric Turbulence in the Problem of Correcting Laser Radiation Wavefront Distortions by Using a Fast Adaptive Optical System // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 789–794; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050165>.

70. Ryakhovskii, I.A., Gavrilov, B.G., Poklad, Y.V. et al. **The State and Dynamics of the Ionosphere from Synchronous Records of ULF/VLF and HF/VHF Radio Signals at Geophysical Observatory «Mikhnevo»** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 718–730; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050177>.

71. Ryakhovskiy I.A., Bekker S.Z., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V. **Concentration distribution of electrons in the lower and upper ionosphere during the X-class solar flare 10.06.2014** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191689 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603452>.

72. Ryakhovskiy I.A., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V., Bekker S.Z., Ermak V.M. **Studies of the state and dynamics of the mid-latitude ionosphere according to the data of the radiophysical complex in the Geophysical Observatory Mikhnevo** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191673 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603443>.

73. Rybnov, Y.S., Spivak, A.A. & Kharlamov, V.A. **Analysis of Methods for Estimating the Energy of Sources of Acoustic-Gravity Waves in the Earth's Atmosphere** // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 761–767; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050189>.

74. Samarkin, V., Sheldakova, J., Toporovsky, V., Rukosuev, A., Kudryashov, A. **High-spatial resolution stacked-actuator deformable mirror for correction of atmospheric wavefront aberrations** // Applied Optics, 2021, 60 (23), pp. 6719–6724; <https://doi.org/10.1364/AO.427375>.

75. Sanina, I.A., Nesterkina, M.A., Konstantinovskaya, N.L. et al. **Identification of the Nature of Seismic Events that Occurred in the East European Platform as Recorded by the Mikhnevo Small-Aperture Seismic Array at Regional Distances** // Seism. Instr. 2021, 57, pp. 38–54; <https://doi.org/10.3103/S0747923921010084>.

76. Schmalen A., Luther R., Artemieva N. **Campo del cielo strewn field: modeling and comparison with observations** // Meteoritics & Planetary Science 2021, V. 56, 1.

77. *Shalimov S.L., Riabova S.A. A Possible Mechanism of Variations in the Electric Field of the Surface Atmosphere during Strong Remote Earthquakes // Dokl. Earth Sc. 2021, 499, pp. 666–669; <https://doi.org/10.1134/S1028334X21080146>.*
78. *Shuvalov V.V. Release of Matter into the Atmosphere During the Fall of Ten-Kilometer Asteroids into the Ocean // Sol Syst Res. 2021, 55, pp. 97–105; <https://doi.org/10.1134/S003809462101007X>.*
79. *Spivak A.A., Loktev D.N., Rybnov Yu.S., Kharlamov V.A. Acoustic Noise in Moscow during the Covid-19 Quarantine Period in 2020 // Doklady Earth Sciences, 2021, Vol. 496, Part 1, pp. 63–65; <https://doi.org/10.1134/S1028334X21010232>.*
80. *Spivak A.A., Riabova S.A., Rybnov Y.S. et al. GPS Positioning Errors during Periods of Magnetic Storms // Dokl. Earth Sc. 2021, 500, pp. 852–856; <https://doi.org/10.1134/S1028334X21100160>.*
81. *Spivak, A.A., Rybnov, Y.S. Acoustic Effects of Strong Earthquakes // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 37–45; <https://doi.org/10.1134/S1069351321010092>.*
82. *Spivak, A.A., Rybnov, Y.S., Riabova, S.A. et al. Wave Disturbances in the Near-Surface Atmosphere during Magnetic Storms // Dokl. Earth Sc. 2021, 498, pp. 487–490; <https://doi.org/10.1134/S1028334X21060167>.*
83. *Svetlana A. Riabova, Yaroslav O. Romanovsky, Alexander A. Spivak Remote response of electrical characteristics of the atmosphere to strong earthquakes // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191655 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2602007>.*
84. *Svetlana A. Riabova, Yaroslav O. Romanovsky, Alexander A. Spivak. Variations of the electric field and current in the near-surface atmosphere during magnetic storms // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191653 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2601975>.*
85. *Svetlana Riabova (2021) Geomagnetic Diurnal Variation at Mikhnevo Geophysical Observatory. In: Chaplina T. (eds) Processes in GeoMedia - Volume II. Springer Geology. Springer, Cham; https://doi.org/10.1007/978-3-030-53521-6_42.*
86. *Svetsov, V.V., Shuvalov, V.V. Assessments of Aperiodic Comet Impact Effects on Earth // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 768–778; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050190>.*
87. *Toporovsky V.V., V. Samarkin, J. Sheldakova, A. Rukosuev, Kudryashov A. Water-cooled stacked-actuator flexible mirror for high-power laser beam correction // Optics & Laser Technology. 2021. V. 144, p. 107427; <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2021.107427>.*
88. *Toporovsky, V., Kudryashov, A., Samarkin et al. Stacked-actuator deformable mirror with rigid design made of piezoceramic // Proc. of ITNT 2021 - 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. DOI: 10.1109/ITNT52450.2021.9649014.*
89. *Turuntaev, S.B., Zenchenko, E.V., Zenchenko, P.E. et al. Hydraulic Crack Growth Dynamics from Ultrasound Transmission Monitoring in Laboratory Experiments // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 671–685; <https://doi.org/10.1134/S1069351321050207>.*
90. *Usoltseva, O.A., Ovtchinnikov, V.M. & Krasnoshchekov, D.N. The Peculiarities of the Earth's Outer-to-Inner Core Transition Zone from the Characteristics of PKIKP and PKP c-dif Waves // Izv., Phys. Solid Earth. 2021, 57, pp. 84–97; <https://doi.org/10.1134/S1069351321010109>.*
91. *Vadim Samarkin, Alexander Alexandrov, Vladimir Toporovsky et al. Water-cooled deformable mirrors for high power beam correction // Proc. SPIE 11849, Fourth International Symposium on High Power Laser Science and Engineering (HPLSE 2021), 1184917 (6 June 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2599116>.*
92. *Vasilev I.A., Dubinya N.V., Nachev V.A. e al. 3D modeling of stability of mobile jack-up rigs under seismic impacts: Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference. 2021, RPTC 2021; <https://doi.org/10.2118/SPE-206606-MS>.*
93. *Vladimir Toporovskiy, Alexis Kudryashov, Vadim Samarkin et al. Investigation of properties of the stacked-actuator deformable mirror made of the piezoceramic combs // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119161I (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603503>.*
94. *Vladimir Toporovsky, Alexis Kudryashov, Vadim Samarkin et al. Small-aperture stacked-array deformable mirror made of the piezoceramic combs // Proc. SPIE 11672, Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XXIII, 1167215 (5 March 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2578126>.*
95. *Volosov S.G., Korolyov S.A., Nestyorkin V.N. et al. Methods and Means of Synchronizing Seismic Stations Operating under Conditions of Inaccessibility of GPS Satellite Signals // Seism. Instr. 2021, 57,*

pp.397–408; <https://doi.org/10.3103/S0747923921040113>.
96. Yaroslav O. Romanovsky, Yuri S. Rybnov, Svetlana A. Riabova et al. **Errors in determining pseudo-coordinates during magnetic storms as a possible characteristic of the disturbed state of the ionosphere and the propagation conditions of the GPS signal** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1191650 (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2601971>.

97. Yury S. Rybnov, Sergey P. Soloviev D.V.M. **Synchronous variations of acoustic and electric fields during the passage of the solar terminator and the operation of heating stands** // Proc. SPIE 11916, 27th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 119167N (16 December 2021); <https://doi.org/10.1117/12.2603177>.

98. Zhu M.H., Morbidelli A., Neumann W. et al. **Common feedstocks of late accretion for the terrestrial planets** // Nat Astron (2021); <https://doi.org/10.1038/s41550-021-01475-0>.

99. Авдеева Л.И., Волосов С.Г., Гоев А.Г. et al. **Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах** // Землетрясения России в 2019 году. Обнинск, 2021 С. 183–194.

100. Беседина А.Н., Павлов Д.В., Шарафиев З.З. **Инициирование оползня сейсмическими колебаниями** // Процессы в геосредах. 2021. № 1 (27). С. 990–995.

101. Габсатарова И.П., Ассиновская Б.А., Санина И.А. и др. **Сейсмичность российской части Восточно-Европейской платформы и ближайшего окружения в 2015 г.** // Землетрясения Северной Евразии. 24 (2015), 2021. С. 182–191; <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.17>.

102. Габсатарова И.П., Дягилев Р.А., Баранов С.В., Санина И.А. и др. **Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь** // Землетрясения России В 2019 году. Обнинск, 2021. С. 139–142.

103. Гоев А.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л., Овчинникова О.В. **Возможности изучения слабой сейсмичности в центральной части Восточно-Европейской платформы с помощью новой широкополосной сейсмической станции «Александровка»** // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2021. № 6, с. 142–149; <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2021-6-142-149>.

104. Денисов Д.Г., Золотухина А.А., Кудряшов А.В., Никитин А.Н. **Сравнительный анализ методов ка-**

Гартмана // Успехи прикладной физики, 2021, том 9, № 2, с. 153–164.

105. Доронин А.П., Козлов С.И., Козлова Н.А., Тимощук А.С. **К вопросу о классификации воздействий на различные слои атмосферы: труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.** 2021, № 676, с. 138–143.

106. Кишкина С.Б., Бугаев Е.Г., Лободенко И.Ю. **Разработка и реализация системы сейсмологического мониторинга на основе руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Сейсмологический мониторинг участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов» (РБ-142-18)** // Ядерная и радиационная безопасность. 2021. № 1 (99). С. 28–42; <https://doi.org/10.26277/SECNRS.2021.99.1.003>.

107. Кишкина С.Б., Татаринцев В.Н., Бугаев Е.Г. et al. **Подземная исследовательская лаборатория: преодоление неопределенностей в оценке сейсмических условий участка Енисейский Нижне-Канского массива** // Радиационные отходы. 2021. 3(16). С. 80–94. <https://doi.org/10.25283/2587-9707-2021-3-80-93>.

108. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Шарафиев З.З. **Лабораторное исследование устойчивости горных склонов при динамических воздействиях** // ФТПРПИ, 2021. № 6, с. 95–110; <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20210609>.

109. Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П., Спивак А.А. **Компактные лазерные датчики концентрации микрочастиц в воздухе и их применение в центре геофизического мониторинга ИДГ РАН** // Наука и технологические разработки. 2021. Т. 100, № 3. С. 5–18; <https://doi.org/10.21455/std2021.3-1>.

110. Перунов Ю.М., Дмитриев В.Г., Куприянов А.И. **Деструктивное воздействие на среду распространения сигнала в информационных радиоканалах** // Известия института инженерной физики, 2021, № 2(60), с. 49–53.

111. Платов Ю.В., Николайшвили С.Ш., Алпатов В.В. et al. **Особенности оптических явлений, связанных с работой твердотопливных ракет в верхней атмосфере** // Гелиогеофизические исследования. 2021. № 3, с. 17–28.

112. Цветков Л.А., Пустовалов А.А., Бадун Г.А. et al. **Способы повышения удельной энергоемкости бета-вольтаических атомных батарей на основе трития** // Нано- и микросистемная техника, 2021. Т. 23, № 5, с. 223–231; <https://doi.org/10.17587/nmst.23.223-231>.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕОСФЕРАХ.

Выпуск 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН

М. : ИДГ РАН, 2021. – 212 с.

1. Будков А.М., Кочарян Г.Г. **Численное моделирование распространения сверхсдвигового разрыва по разломам с однородной и гетерогенной поверхностью** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 10–19;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_10.
2. Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г. **Изменения параметров поля напряжений участка земной коры в результате крупного землетрясения, инициированного горными работами** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 20–25;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_21.
3. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Батухтин И.В. и др. **Отклик коллектора на проведение взрывов в карьере Лебединского ГОКа** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 25–35;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_25.
4. Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. **Исследование структурного рисунка района водохранилищ Койна и Варна** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 35–42;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_35.
5. Кочарян Г.Г., Шарафиев З.З. **О критериях устойчивости склона при вибрационном воздействии** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 43–50;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_43.
6. Барышников Н.А., Зенченко Е.В., Турунтаев С.Б. **Лабораторное исследование нелинейности закона фильтрации в области низких скоростей в плотных породах** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 50–59;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_50.
7. Беляков Г.В., Таирова А.А., Юдочкин Н.А., Торрес Т.М. **Образование трещины в неоднородной пороупругой среде** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 60–63;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_60.
8. Начев В.А., Гребенщикова Е.М. **Построение численной модели пороупругопластического искусственного материала в процессе проведения ГРП** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 63–73;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_63.
9. Овчинников В.М., Усольцева О.А. **О рельефе поверхности внутреннего ядра Земли** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 73–81;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_73.
10. Гоев А.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л. **Особенности глубинного скоростного строения коллизионной зоны центральной части ВЕП по данным станций «Михнево» и «Обнинск»** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 81–89;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_81.
11. Тарасов, С.А., Юдочкин Н.А. **Оценка параметра добротности Центральной части ВЕП на основе математического моделирования** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 90–96;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_90.
12. Глазачев Д.О., Попова О.П., Подобная Е.Д. et al.. **Местоположение центра «метеорного взрыва»** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 98–107;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_98.
13. Иванов Б.А. **Геометрия возможных следов воздушных ударных волн на поверхности Марса** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 107–116;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_107.
14. Сергеев В.Н. **Участие крупных недифференцированных тел в формировании Земли** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 117–123;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_117.
15. Спивак А.А., Рябова С.А. **Электрические и геомагнитные эффекты в периоды прохождения сильных атмосферных фронтов** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 123–131;
https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_123.
16. Спивак А.А., Рябова С.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А. **Геомагнитный и акустический эффект**

при запусках ракет-носителей // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 131–140; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_131.

17. Шувалов В.В., Хазинс В.М., Соловьев С.П. **Численное моделирование тротилового взрыва в скважине** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 140–147; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_140.

18. Хазинс В.М., Соловьев С.П., Локтев Д.Н. *et al.* **Перенос микрочастиц пыли ветром в планетарном пограничном слое** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 147–156; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_147.

19. Ковалева И.Х., Ковалев А.Т. **О формировании альфвеновской волны в активном геофизическом эксперименте «North Star»** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 158–165. https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_158.

20. Корсунская Ю.А., М.В. Панкова. **Влияние жесткого рентгеновского и гамма излучений Солнца на ионосферу Земли и другие процессы в**

геосферах. Часть III. Ночная область // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 166–175; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_166.

21. Лосева Т.В., Голубь А.П., Косарев И.Б. *et al.* **Характеристики плазменной струи взрывного генератора в экспериментах «Флакрус»: измерения и численное моделирование** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021. С. 175–186; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_175.

22. Алимбеков М.С., Балаклецкий Н.С., Мачнев А.А. *et al.* **Гибридная импульсная лазерная система с перестраиваемыми спектрально-временными характеристиками** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 188–193; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_188.

23. Рукосяев А.Л., Никитин А.Н., Белоусов В.Н. *et al.* **Исследование искаженного турбулентностью волнового фронта методами адаптивной оптики** // Динамические процессы в геосферах, вып. 13: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН, 2021, с. 193–200; https://doi.org/10.26006/22228535_2021_1_193.

Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2021 г.
Утвержден к печати Ученым советом
от 20.01.2022 № 01/22

©ИДГ РАН, 2022
Отпечатано в типографии ООО «МАКИН-ПРИНТ»
121353, г. Москва, ул. Беловежская, д. 47