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 2020 г.

Москва-2021

Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2020 г.
М.: ИДГ РАН. 2021. – 56 с. : ил.

Сборник содержит информацию об основных научных результатах, полученных сотрудниками ИДГ РАН в 2020 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 2020 г.

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

ВВЕДЕНИЕ

В 2020 г. основные научные исследования в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук выполнялись по следующим пунктам Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг.:

- **«Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий».**
- **«Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика (инфраструктура пространственных данных и ГИСтехнологии)».**

Работы велись по 8 темам Государственного задания, а также по инициативным проектам, поддержанным грантами научных фондов и по договорам с различными организациями.

Обобщение результатов наблюдений за крупномасштабными процессами при помощи моделей, построенных на основе лабораторных и численных экспериментов, является традиционным инструментом школы исследователей, основанной М. А. Садовским, и составляющей ядро коллектива Института. Большая часть работ ведется в рамках основного направления деятельности Института – изучение взаимодействия природных явлений и техногенных процессов. Исследования, проводимые в Институте, включают теоретические разработки, полевые, лабораторные и численные эксперименты. Основные источники данных включают материалы, полученные в ходе натурных исследований, проводимых в различных регионах России, данные лабораторных экспериментов на специально созданных установках. Теоретические исследования направлены на создание физико-математических и феноменологических моделей явлений и процессов, протекающих во взаимодействующих геосферах. Численные расчеты проводятся с использованием оригинальных программ, разработанных специалистами ИДГ РАН. Интерпретация результатов экспериментов и наблюдательного материала проводится в ходе тесного сотрудничества ученых и инженеров разных специальностей, что позволяет решать широкий круг современных научных проблем.

Важнейшие результаты работ 2020 г. связаны такими работами, как обобщение результатов многолетних наблюдений за микробарическими вариациями в приземном слое земной атмосферы, вызванными источниками природного и техногенного происхождений; впервые осуществленные инструментальные наблюдения техногенных микроземлетрясений с низкой скоростью распространения разрыва; разработка нового аппаратно-программного комплекса для мониторинга и исследования нижней ионосферы Земли; проведение новых лабораторных экспериментов, направленных на разработку более точных методов определения тектонических напряжений при проведении гироразрыва пласта.

Результаты выполнения Государственного задания учеными Института в 2020 г. опубликованы в 153 публикациях, в том числе в 2 монографиях, 89 статьях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science, 64 статьях, индексируемых в РИНЦ.

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

Полученные результаты доложены на ряде представительных международных и Всероссийских мероприятий, в большинстве случаев, в режиме видеоконференции.

Инновационная деятельность Института в 2020 году была направлена на внедрение результатов научных исследований и разработок в практику и производство. Выполнялись исследования в интересах организаций оборонного комплекса, предприятий горнодобывающей промышленности и др.

Традиционно, большое внимание уделялось подготовке высококвалифицированных кадров. Работа ведется в нескольких направлениях: базовая кафедра «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем» Московского физико-технического института, аспирантура ИДГ РАН, ведущая научная школа «Геомеханика: механика природных объектов с неоднородной структурой».

Ниже приведены краткие сведения о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН в 2020 г.

Важнейшие результаты научных исследований ИДГ РАН за 2020 год

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КАК ПРИРОДНЫЙ ТРИГГЕР МЕЖГЕОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№ АААА-А19-119021890067-0)

Исполнители: акад. РАН В. В. АДУШКИН, к.ф.-м.н. Ю. С. РЫБНОВ, к.ф.-м.н С. А. РЯБОВА, д.ф.-м.н. А. А. СПИВАК, к.ф.-м.н В. А. ХАРЛАМОВ

На основе результатов комплексных инструментальных наблюдений впервые на значительных расстояниях от очагов землетрясений установлены геофизические эффекты в виде вариаций атмосферного давления в диапазоне периодов 8–11 часов, акустико-гравитационных волн и микробарических вариаций в инфразвуковом диапазоне частот и на частотах, близких к синглетам вырожденной частоты основной моды 0S2 собственных колебаний Земли, а также сопутствующие землетрясениям вариации магнитного поля Земли, атмосферного электрического поля и атмосферного тока. Полученные данные позволяют рассматривать землетрясения в качестве механизма, интенсифицирующего межгеосферные взаимодействия и процессы, связанные с взаимодействием и преобразованием геофизических полей разной природы.

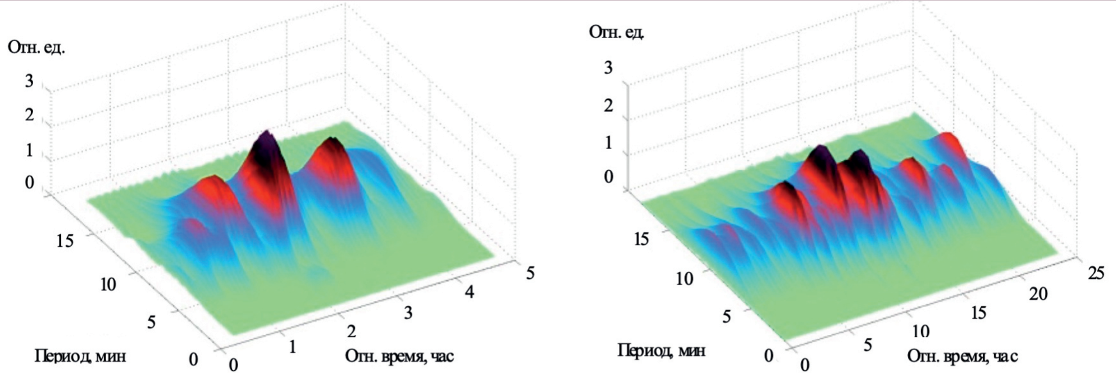


Рис. *Спектры барических вариаций в период землетрясения в Греции 24.05.2014 г. по данным ГФО ИДГ РАН «Михнево» (слева) и Центра геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН (справа)*

Публикации:

1. *Спивак А.А., Рябова С.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.* **Геофизические эффекты землетрясения 26.11.2019 г., Албания** // Доклады академии наук. 2020. Том 490. № 3.
2. *Шалимов С.Л., Спивак А.А., Харламов В.А.* **Колебания атмосферного давления в диапазоне периодов 8 -11 часов вызванные землетрясением Тохоку** // Доклады академии наук. 2020. Т. 490. № 1. С. 33–36.
3. *Спивак А.А., Шалимов С.Л., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Об атмосферных проявлениях сильных землетрясений** // Физика Земли. 2020. № 4. С. 51–60.
4. *Рябова С.А., Спивак А.А.* **Удаленный отклик электрического поля и атмосферного тока на сильные землетрясения** // Доклады российской академии наук. 2020. Т. 495. № 1. С. 41–46.
5. *Riabova S.A., Rybnov Yu.S., Romanovsky Ya.O., Spivak A.A., Kharlamov V.A* **Geophysical effects in the surface atmosphere caused by earthquake in Turkey on January 24, 2020**. Proceedings SPIE. Vol. 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115607K (12 November 2020), doi:10.1117/12.2575703.

НОВЫЙ ПРИЗНАК ПОДГОТОВКИ ДИНАМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СЛАБЫХ ФОРШОКОВ

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 16-17-00095) «Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах»

Исполнители: к.ф.-м.н. А. Н. БЕСЕДИНА, к.ф.-м.н. С. Б. КИШКИНА, д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН, к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ, аспирант К. Г. МОРОЗОВА, к.ф.-м.н. А. А. ОСТАПЧУК, к.ф.-м.н. Д. В. ПАВЛОВ

Инструментальные наблюдения «in situ» и эксперименты в лаборатории показали, что параметры распределения Гуттенберга-Рихтера (b-value) определенного класса сейсмоакустических сигналов зависят от степени готовности разлома к динамическому срыву. При проведении сейсмического мониторинга на предприятиях Курской магнитной аномалии установлено, что излучаемые сейсмоакустические события могут быть статистически дифференцированны на сигналы с резким вступлением и на тремороподобные сигналы (около 45% всех событий). Впервые показано, что источниками второго типа сигналов являются микроземлетрясения с низкой скоростью распространения разрыва. Детальное исследование акустических колебаний, сопровождающих скольжение модельного разлома, выявило аналогичные два семейства акустических импульсов. Параметры распределения по энергии первого семейства в процессе скольжения остаются неизменными, а для тремороподобных сигналов второго типа определяются готовностью разлома к динамическому срыву. Обнаруженные закономерности позволяют заключить, что завершающую стадию подготовки динамического события можно обнаружить при анализе формы, спектра и статистических характеристик регистрируемых слабых форшоков.

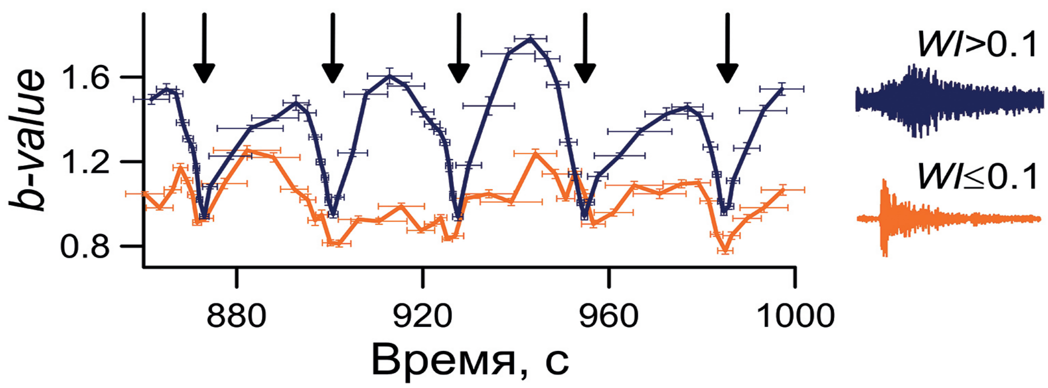


Рис. *Изменение b-value для двух типов сейсмоакустических импульсов при подготовке динамических срывов. Моменты динамических срывов обозначены стрелками. Примеры волновых форм, характерных для двух типов импульсов, представлены справа*

Публикации:

1. *Besedina A.N. et al.* (2020). **Weak Induced Seismicity in the Korobkov Iron Ore Field of the Kursk Magnetic Anomaly //** J Min Sci 56, 339–350, doi: 10.1134/S1062739120036818.

2. *Ostapchuk, A.A., Morozova, K.G.* (2020). **On the Mechanism of Laboratory Earthquake Nucleation Highlighted by Acoustic Emission** // Sci. Rep. 10, 7245, doi: 10.1038/s41598-020-64272-1.

3. *Ostapchuk A.A. et al.* (2020). **Seismic-Acoustics of a Block Sliding Along a Fault** // Pure Appl. Geophys. 177, 2641–2651, doi: 10.1007/s00024-019-02375-1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ДАВЛЕНИЮ ПРИ ГИДРОРАЗРЫВЕ ПЛАСТА

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№ АААА-А17-117112350011-7) и проекта РФФИ (№ 20-35-80018-Мол_эв_а)

Исполнители: Е. В. ЗЕНЧЕНКО, П. Е. ЗЕНЧЕНКО, Е. В. НОВИКОВА, М. А. ТРИМОНОВА, д.ф.-м.н. С. Б. ТУРУНТАЕВ

В лабораторных экспериментах по гидроразрыву пласта получено, что определение минимальных тектонических напряжений по кривой изменения давления закачки с использованием стандартной, широко используемой методики G-функции, может приводить к значительному завышению (в 3–5 раз) значений напряжений. Предложена модификация метода определения тектонических напряжений путем учета проницаемости горных пород и дополнительных сжимающих «обратных» напряжений, вызванных диффузией давления жидкости из создаваемой трещины в породу. Получено подтверждение влияния граничных условий на величину этих напряжений: при распространении вертикальной трещины в пласте, ограниченном непроницаемыми слоями горной породы, «обратное» напряжение увеличивается в два раза. Новый метод, по данным об изменении давления закачки, может быть использован для более точного определения тектонических напряжений жидкости при проведении гидроразрывов.

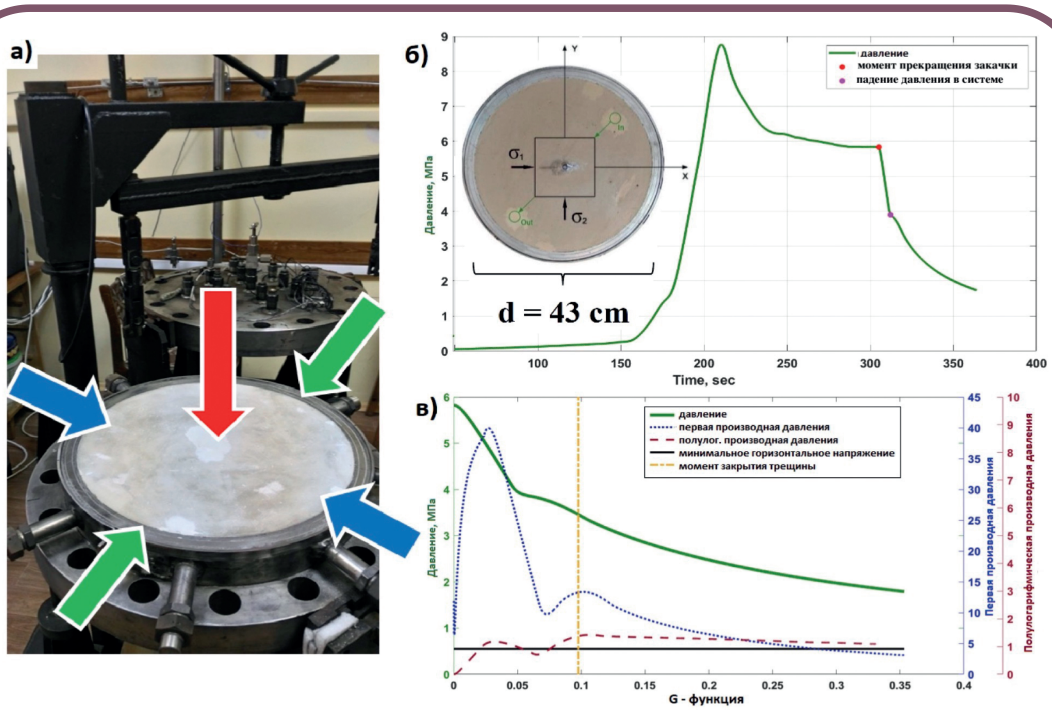


***Рис.** а – фотография установки для проведения ГРП в условиях истинно трехмерного напряженного состояния; б – фотография образца после ГРП (кривая – изменения давления закачки); в –* определение минимального напряжения с помощью G-функции

Публикации:

1. *Novikova E. and Trimonova M.* **The Advantage of Studying Pressure Curves Obtained from Laboratory Hydraulic Fracturing Experiments**. European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings: 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition, Dec 2020, Volume 2020, p. 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202011824.

2. *Novikova, H. and Trimonova, M.* **Analysis of the laboratory hydraulic fracturing curves**. EGU General Assembly 2020, online, 4–8 May 2020, EGU2020-9960, 2020. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-9960.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (№№ АААА-А19-1190282790056, АААА-А17-117112350014-8)

Исполнители: д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ, к.ф.-м.н. И. А. РЯХОВСКИЙ, к.ф.-м.н. С. З. БЕККЕР, к.ф.-м.н. Ю. В. ПОКЛАД, к.ф.-м.н. Ю. А. КОРСУНСКАЯ, к.т.н. А. Н. ЛЯХОВ, В. М. ЕРМАК, к.ф.-м.н. В. А. РЫБАКОВ

Разработан аппаратно-программный комплекс для мониторинга и исследования нижней ионосферы Земли. В состав комплекса входят средства регистрации амплитудно-фазовых характеристик СДВ-ДВ радиосигналов, программные средства восстановления параметров нижней ионосферы по экспериментальным данным с использованием ассимиляционно-прогностической модели. Комплекс впервые позволил восстановить высотные профили электронной концентрации ионосферы как во время солнечных вспышек, так и в спокойных условиях. Вычислительная модель впервые объединила в рамках единого комплекса данные спутниковых измерений параметров средней атмосферы и потоков жесткого излучения Солнца в рентгеновском и жестком УФ диапазонах. Полученные данные позволяют исследовать влияние жесткого электромагнитного излучения Солнца на климатические процессы, верифицировать теоретические модели средней атмосферы и прогнозировать влияние солнечных вспышек на распространение радиоволн.

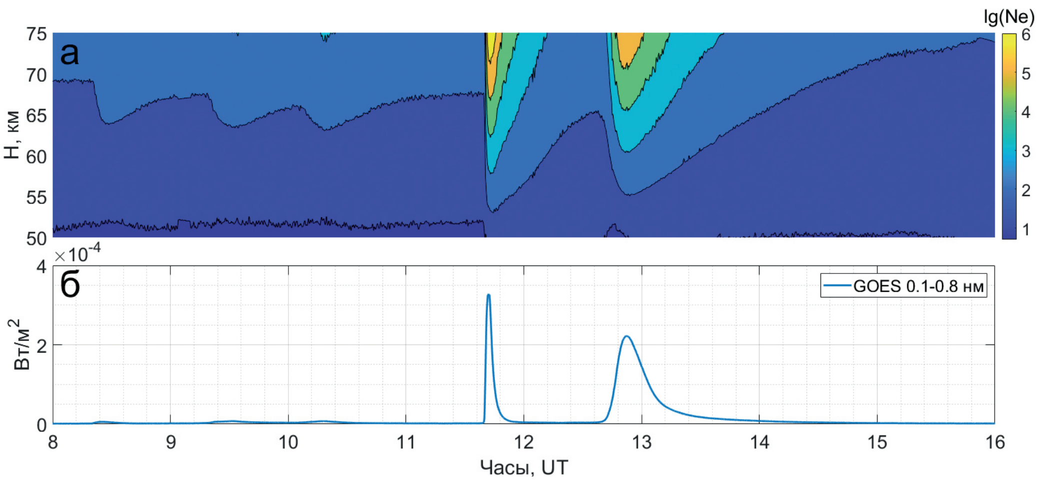


Рис. *Зависимость высотного профиля электронной концентрации нижней ионосферы (а) от потока рентгеновского излучения (б) при солнечных вспышках 10 июня 2014 года*

Публикации:

1. *Gavrilov B.G., Pilipenko V.A., Poklad Y.V., and Ryakhovsky I.A.* **Geomagnetic effect of the Bering Sea meteoroid** // Russian journal of earth sciences, 2020. vol. 20, ES6009, doi:10.2205/2020ES000748.
2. *Gavrilov B.G., Poklad Y.V., Rybnov Y.S., Ryakhovski I.A., and Sanina I.A.* **Remote electromagnetic and ionospheric effects of the earthquakes in Greece.** Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1156080 (12 November 2020). https://doi.org/10.1117/12.2574912

*Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ
(№ АААА-А19-119021890087-8)*
*Авторы: к.ф.-м.н. А. Н. БЕСЕДИНА, к.ф.-м.н. Н. В. КАБЫЧЕНКО,
С. Г. ВОЛОСОВ, к.ф.-м.н. С. А. КОРОЛЕВ*

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СХЕМА РАСШИРЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОПЕРИОДНОГО СЕЙСМОМЕТРА

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
Разработана схема приборной коррекции, которая позволила расширить АЧХ короткопериодного сейсмометра (на примере СМ-3КВ) в область низких частот вплоть до 0,05 Гц. Синтез передаточной функции схемы коррекции выполнен с помощью нестандартного фильтра – двойного интегратора с наклоном АЧХ – 12 дБ/октава в полосе частот от 0,05 до 0,5 Гц. Схема коррекции состоит из двух идентичных каскадов, соединенных последовательно. На входах каскадов стоят делители напряжения, формирующие необходимую передаточную функцию корректирующей схемы. Интегральный шум такой схемы в полосе 0,05–40 Гц (приведенный ко входу) составляет около 1,5–2 мкВ. Спектральная плотность шума на частоте 0,05 Гц составляет 25 мкВ^2/Гц .

ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
Разработанную схему можно использовать при проведении сейсмического мониторинга; для научных сейсмологических исследований.

СТЕПЕНЬ ГОТОВНОСТИ РАЗРАБОТКИ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ
Разработан прототип устройства коррекции на примере короткопериодного сейсмометра СМ-3КВ. Проведена его калибровка, апробация на вибростенде и в полевых условиях.
Апробация прототипа в полевых условиях позволяет говорить о возможности применения разработанной схемы на частотах от 0,05 Гц и выше.

ВОЗМОЖНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ И (ИЛИ) ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ
Применение разработанной схемы обеспечит значительное снижение (вплоть до 40%) стоимости приборного обеспечения сейсмических наблюдений: в случае организации мониторинга системой из семи станций, одна из которых, вместо дорогостоящей широкополосной аппаратуры будет заменена на созданное устройство. При организации научных сейсмологических исследований, нуждающихся исключительно в широкополосной аппаратуре, минимизация материальных затрат на аппаратурное обеспечение работ может достигать нескольких раз.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ИЗВЕСТНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ
В России данным направлением занимается группа исследователей из Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, однако они рассматривают численную коррекцию первичной сейсмограммы с помощью низкочастотной деконволюции. Приборные разработки в этом же направлении представлены за рубежом; например, в Национальном институте геофизики и вулканологии.

СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ И ПАТЕНТНОЙ ЗАЩИТЕ РАЗРАБОТКИ
Предложенная схема коррекции может быть защищена патентом полезной модели

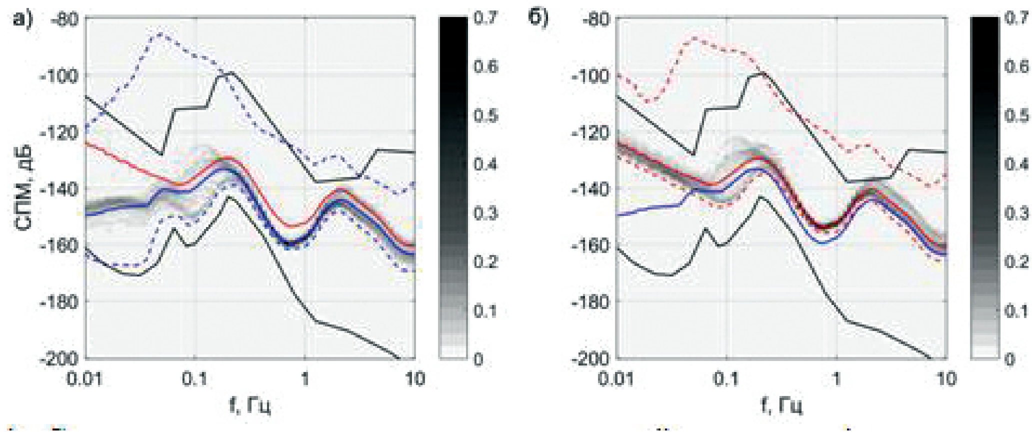


***Рис.** Спектральная плотность мощности микросейсмического фона по скорости по данным широкополосного сейсмометра Reftek-151-30 (а) и сейсмометра СМ-3КВ-кор (б) для вертикальной компоненты. В градациях серого показано вероятностное распределение уровня шума по частоте. Сплошными линиями показаны усредненные значения СПМ, пунктирные – минимальные и максимальные значения СПМ (синий – Reftek-151-30, красный – СМ-3КВ-кор)*

Публикации:

Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Волосов С.Г. Королев С.А. И**нструментальная схема расширения частотных характеристик короткопериодных датчиков на примере сейсмометра СМ-3КВ** // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 4. С. 29–42.

Результаты, полученные Институтом в 2020 году, по темам Государственного задания

НАУКИ О ЗЕМЛЕ: КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ЭНДОГЕННЫЕ И ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВКЛЮЧАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ: ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗА И СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

<u>АААА-А17-117112350020-9</u> **Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных режимов земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях** (рук. проекта д.ф.-м.н. Г.Г. КОЧАРЯН)

1. В лабораторных экспериментах исследованы параметры акустической эмиссии, сопровождающей различные режимы деформирования лабораторного разлома. Показано, что зарождение определенной моды скольжения определяется процессами самоорганизации, протекающими в центральной зоне разлома, а характеристики излучаемых акустических импульсов отражают эти процессы. Применение алгоритма машинного обучения продемонстрировало возможность определения с высокой точностью типа скольжения разлома и времени генерации как быстрых, так и медленных динамических событий на основе анализа каталога зарегистрированных сейсмических/акустических импульсов.

Разрабатываемый подход к определению характеристик скольжения может оказаться перспективным для создания новых методов мониторинга напряженных массивов при ведении горных работ. Полученные результаты показали, что о бученная нейронная сеть способна эффективно предсказывать возможные катастрофические события.

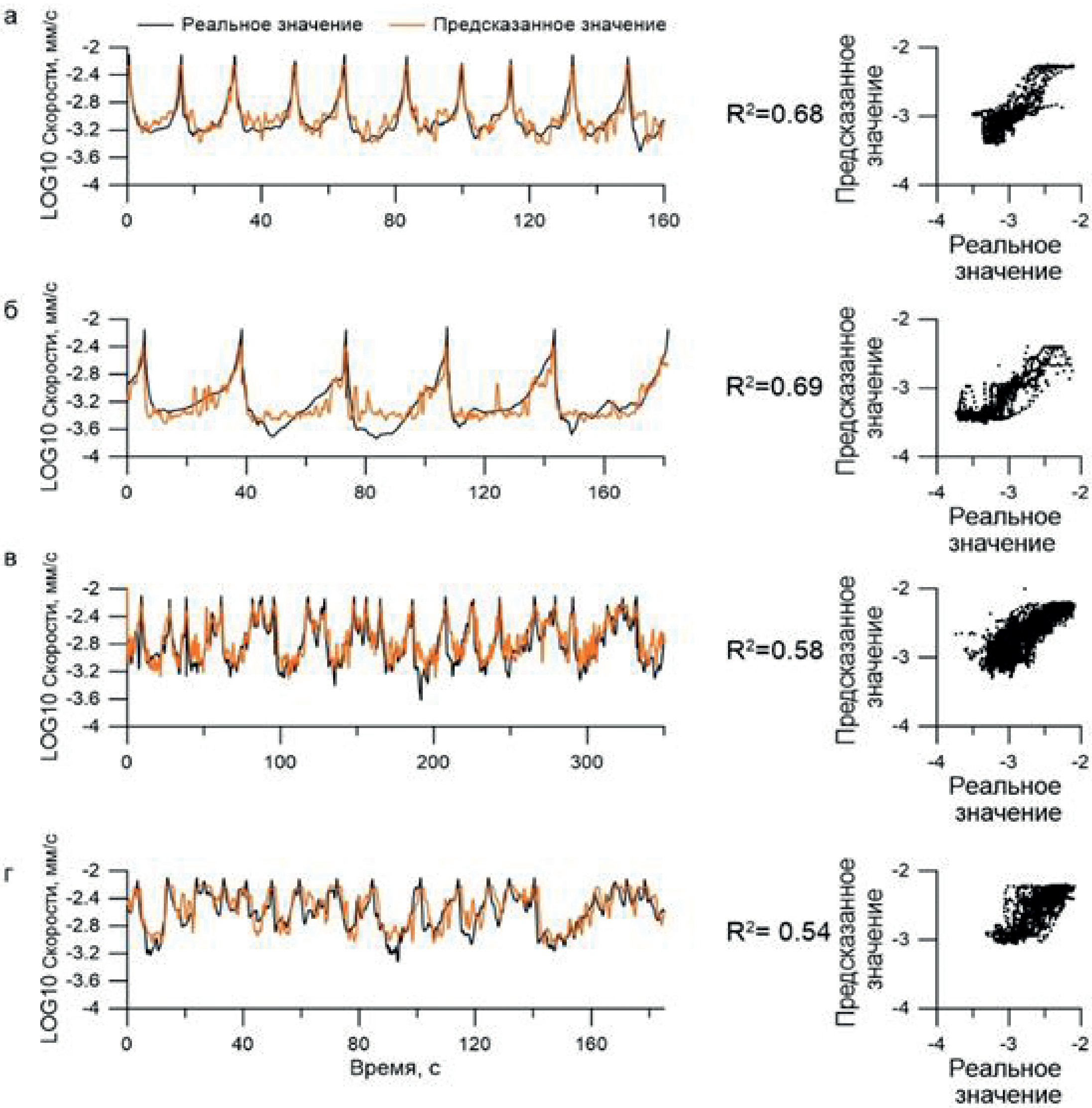


Рис. *Результат работы модели машинного обучения на данных для экспериментов с реализованным режимом стик-слип (а, б) и стохастическим режимом (в, г).*
Левая панель – результаты измерений (черная линия) и результат предсказанный методом машинного обучения (оранжевая). Справа – представлена диаграмма зависимости значений логарифма скорости скольжения, предсказанных моделью от их реальных значений, измеренных в ходе каждого эксперимента

2. Создана база данных вариаций уровня подземных вод, обусловленных динамическими и долговременными воздействиями природного и техногенного характера. При проведении гидрогеологических наблюдений вне зоны активного влияния техногенной нагрузки (ГФО ИДГ РАН «Михнево») и в техногенно-нарушенных условиях (вблизи горнодобывающих предприятий Курской

магнитной аномалии) – исследованы косейсмические изменения гидрогеологических параметров и эффекты постсейсмического изменения уровня порового давления. Установлены максимальные значения скорости смещения грунта и давления в системе «пласт-скважина», при которых наблюдается смена режима от пороупругой реакции к квазиобратимой.

Рис. *Зависимость амплитуды гидрогеологического отклика от максимальной массовой скорости в сейсмической волне по данным регистрации удаленных землетрясений и массовых взрывов*

3. Построена новая компьютерная модель образования Пучеж-Катункского ударного кратера. Данные расчета сопоставлены с результатами, полученными при анализе керна из Воротиловской глубокой скважины, где впервые в мире были получены образцы пород из центрального поднятия крупного ударного кратера диаметром около 40 км. Проведено изучение кратеров такого же размера на Луне, Венере и Марсе. Основным результатом является достижение количественного согласия результатов моделирования и геологических данных по керну. Подтверждены возможности использования численного моделирования для сопровождения геологических и геофизических исследований крупномасштабных природных событий с динамическим перемещением горных пород на многие километры по глубине и расстоянию. Эти исследования позволяют продвинуться в построении модели модификации трения при динамическом деформировании крупномасштабных геологических объектов.

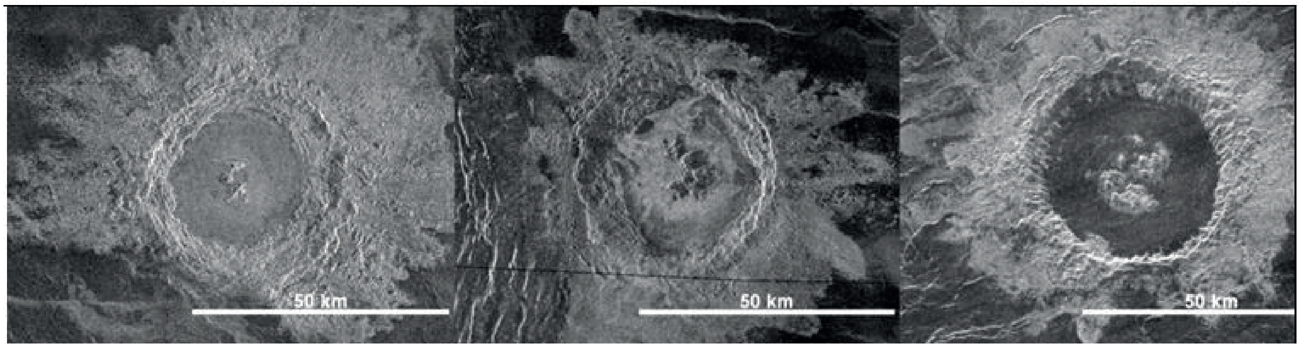


Рис. *Три ударных кратера на Венере, близкие по размеру к Пучеж-Катункской структуре, с диаметрами 39 км (слева), 40 км (в центре) и 40,5 км (справа)*

Публикации:

1. *Ivanov, B.A.* **Asteroid Impacts and Their Geological Consequences**. In: Masaitis V., Naumov M. (eds) / The Puchezh-Katunki Impact Crater. Impact Studies. Springer, Cham. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32043-06.
2. *Ivanov, B.A.* **Modeling of the Impact Structure Origin**. In: Masaitis V., Naumov M. (eds) The Puchezh-Katunki Impact Crater. Impact Studies. Springer, Cham. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32043-07.

3. *Kocharyan, G.G., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V.* **Fault Sliding Modes - Governing, Evolution and Transformation.** In: Ostermeyer GP., Popov V.L., Shilko E.V., Vasiljeva O.S. (eds) / Multiscale Biomechanics and Tribology of Inorganic and Organic Systems. Springer Tracts in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60124-915.
4. *Besedina A.N., Kishkina S.B., Kocharyan G.G. et al.* **Microseismic Noise before and after Strong Earthquakes: Case Study of Chilean Subduction Zone** // Izv., Phys. Solid Earth. 2020. https://doi.org/10.1134/S1069351320020020.
5. *Leonov M.G., Kocharyan G.G., Revuzhenko A.F., Lavrikov S.V.* **Tectonics of rock loosening: geological data and physics of the process** // Geodynamics & Tectonophysics. 2020;11(3):491–521. (In Russ.) https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0488.
6. *Pavlov D.V., Besedina A.N., Gorbunova E.M. et al.* **Response of an aquifer to the passage of seismic waves in the close-in zone of a ripple-fired explosion in a mine**. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. Norwegian Group for Rock Mechanics: EUROCK2020 Symposium Proceedings. ISBN 978-82-8208-072-9. ISRM-EUROCK-2020-166.
7. *Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б.* **Физическая мезомеханика очага землетрясения** // Физическая мезомеханика. 2020. 26 (6), 9–24.
8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020620930 от 05.06.2020 г. («Синхронные сейсмические, гидрогеологические и барометрические измерения при проведении массовых взрывов на железорудном месторождении КМА»).

AAAA-A19-1190282790056-6 **Исследование процессов в ионосфере при воздействии рентгеновского и гамма-излучения Солнца** (рук. проекта к.т.н. А. Н. ЛЯХОВ)

Построена модель нижней ионосферы, описывающая отклик среды на рентгеновские вспышки C-, M-, X- класса. За основу модели взята 5-компонентная схема ионизационно-рекомбинационного цикла D-области ионосферы. Рентгеновская составляющая спектра Солнца восстанавливалась по данным потока излучения, полученных на спутниках GOES и SDO. Входные параметры плазмохимической модели (концентрация и температура нейтралов) для каждой выбранной вспышки определялись по данным спутников AURA, SDO, GOES.

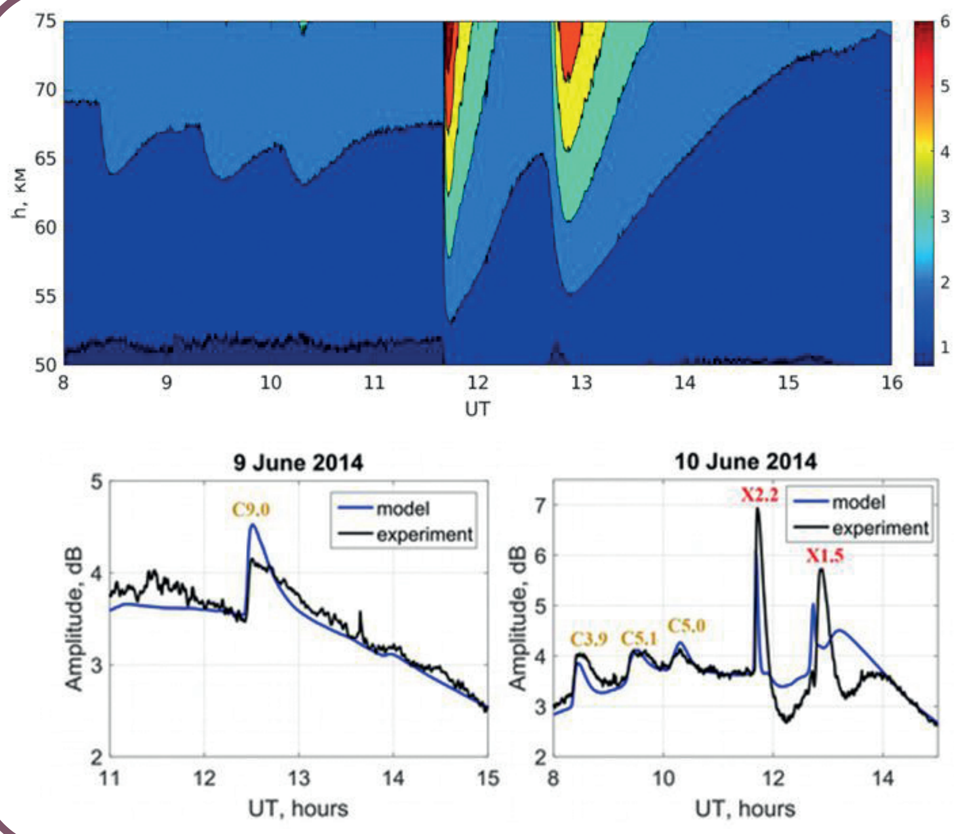


***Рис.** Восстановленная динамика электронной концентрации 10 июня 2014 года (верхняя панель) и результаты моделирования распространения СДВ радиосигналов при солнечных вспышках (нижняя панель)*

Построенная модель прошла верификацию по данным наземных радиофизических измерений, полученных в ГФО ИДГ РАН «Михнево». Расчет распространения СДВ сигналов через смоделированные профили электронной концентрации проводился с использованием программного комплекса LWPC. В результате сопоставления рассчитанного и экспериментального временного хода амплитуды радиоволны на шести европейских среднеширотных трассах было получено, что среднеквадратическая ошибка модели составляет 7, 14 и 18% для вспышек C-, M- и X-класса соответственно. Качественный и количественный анализ результатов верификации временного хода амплитуды СДВ сигнала продемонстрировал хорошие прогностические возможности построенной модели при описании слабо и средне возмущенной среды.

Публикации:

1. *Aksenov O. Yu., Kozlov, S. I., Lyakhov A.N., Trekin V.V., Perunov Yu. M., Yakubovsky S.V.* **Analyzing existing applied models of the ionosphere for calculating radio wave propagation and possibility of their use for radar systems. I. classification of applied models and the main requirements for radar applications** // SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS. 2020. 6(1).
P. 69–76. DOI: 10.12737/stp-61202008.
2. *Alpatov V.V., Bekker S.Z., Kozlov S.I., Lyakhov A.N.,. Yakim V.V, Yakubovsky S.V.* **Analyzing existing applied models of theionosphere to calculate radio wave propagation and a possibility of their use for radar-tracking systems. II. Domestic models** // Solar-Terrestrial Physics. 2020. 6(3). P. 60–66. DOI: 10.12737/stp-63202008.
3. *Lyakhov Andrey N., Korsunskaya Julia A.* **Solar-terrestrial links and aeronomy of the middle atmosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. 1156083. DOI: 10.1117/12.2575054.
4. *Lyakhov Andrey N., Goncharov Egor S., Losseva Tatiana V.* **FDTD, FDFD, and mode sum methods for VLF-LF propagation in the lower ionosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. 115608S. DOI: 10.1117/12.2575631.
5. *Adushkin V.V., Aksenov O.Yu., Veniaminov S.S., Kozlov S.I., Tyurenkova V.V.* **The small orbital debris population and its impact on space activities andecological safety** // Acta Astronautica. 2020. V. 176. P. 591–597. DOI: 10.1016/j.actaastro.2020.01.015.

<u>№ АААА-А17-117112350016-2</u> **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. Разработаны физико-математическая и численная модели ударов крупных (10 километров и более) космических тел по Земле. С помощью этих моделей проведено численное моделирование падения десятикилометровых астероидов на твердую поверхность 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. Полученные результаты показывают, что при падении астероидов размером порядка десяти километров в океан воздействие на атмосферу Земли будет, по-видимому, не менее сильным, чем при падении астероидов на сушу.
2. Объяснен механизм образования миллиметровых частиц древесного угля под выбросами из ударных кратеров размером 30–100 м. С помощью численного моделирования показано, что такие частицы могут образоваться при попадании астероида, создающего кратер, в дерево. Оценки показали, что при скоростях ударной волны в дерево 4–6 км/с (давления за фронтом 5–10 ГПа) время пиролиза древесины составляет от 5 мс до 10 мкс. При ударе астероида диаметром ~1 м в ствол дерева со скоростью ~10 км/с за время порядка 0,1 мс происходит нагрев древесины ударной волной и дробление, а за ~10 мс или быстрее – пиролиз древесины.

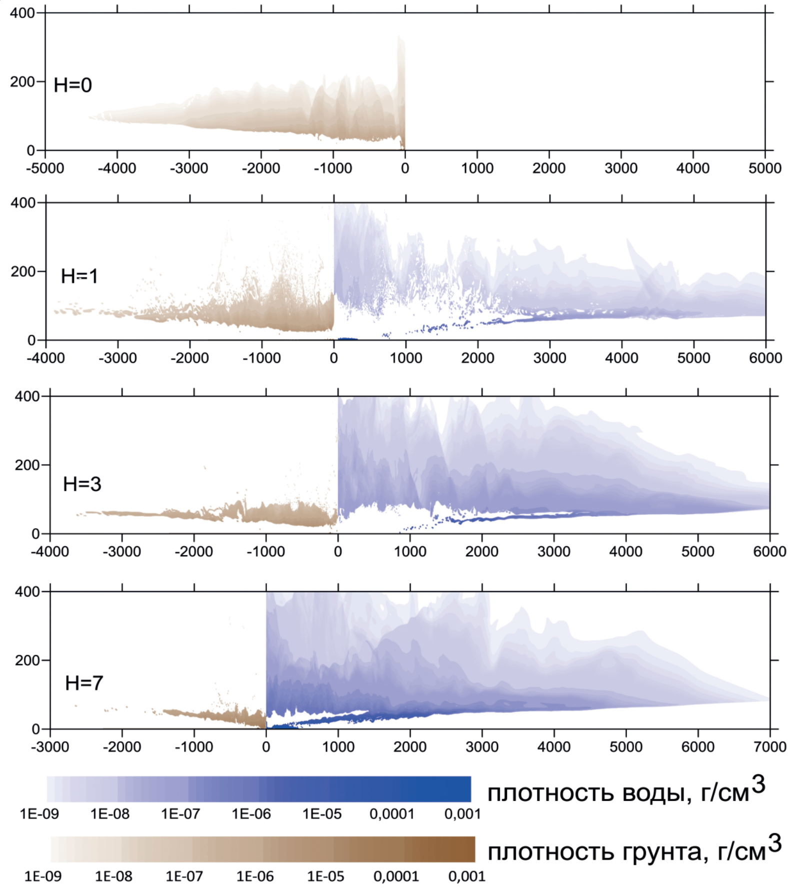
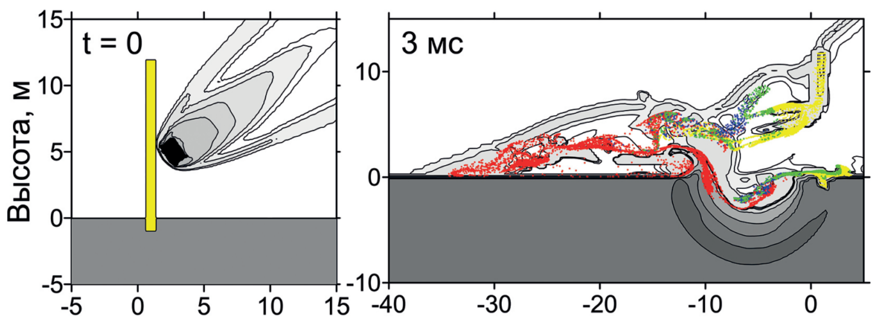


Рис. к результату 1
Распределения плотности воды (справа) и вещества грунта и ударника (слева) в г/см^3 через 30 минут после вертикального падения десятикилометрового астероида на твердую поверхность (H = 0) и в океан глубиной H, равной 1, 3 и 7 км. Все расстояния измерены в километрах



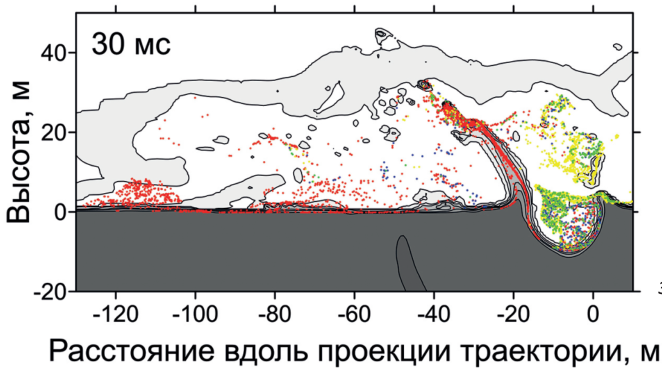


Рис. к результату 2. *Удар железного астероида в ствол дерева (желтый цвет) на высоте 4 м над поверхностью земли: в момент удара, через 3 мс и через 30 мс. В вертикальной плоскости серым цветом показаны изолинии плотности.*

Частицы древесины, испытавшие давления P > 10 ГПа показаны красными точками, 5 ГПа < P < 10 ГПа – синими, 2 ГПа < P < 5 ГПа – зелеными и P < 2 ГПа – желтыми

В течение ~10–100 мс частицы разлетаются, и часть их них сохраняется у поверхности. Через 1,5–3 с частицы засыпаются холодными выбросами и остывают. Древесный уголь может образоваться при ударах метеоритов, скорость которых больше ~4 км/с, что может быть проверено экспериментально.
3. Предложен метод определения траектории метеорита Озерки на территории Липецкой области и световой кривой по видеозаписям случайных видеокамер. Были оценены скорость входа в атмосферу (14,9 км/с), угол входа в атмосферу (77,60°) и азимут (58º). Была получена световая кривая и предложена ее калибровка. Высота максимальной яркости составила 27,2 км. Сравнение полученных результатов с оценками CNEOS/NASA показало хорошее согласие.

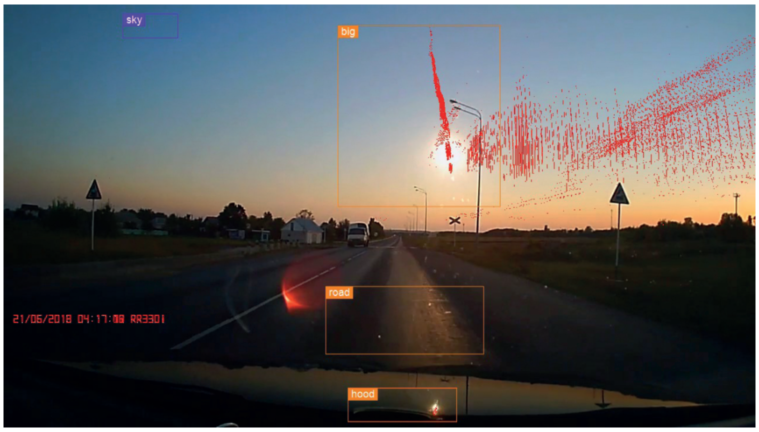


Рис. к результату 3.
Пользовательский интерфейс программы для извлечения кадров из видеозаписи и выделения областей для анализа световой кривой. Представлены несколько областей (оранжевые прямоугольники) для оценки средней яркости пикселей, представляющие непосредственно световую кривую болида или световую кривую отражений – используется для усреднения результатов. Фиолетовым прямоугольником обозначена область для извлечения фоновой динамики экспозиции (нужна для коррекции извлеченных световых кривых из областей в кадре, зафиксировавших болид). Множеством красных точек представлена область засветки, предположительно непригодная для оценки световой, пиксели которой удаляются из анализируемых областей

Публикации:
1. *Svetsov V., Shuvalov V., Kosarev I.* (2020) **Formation of Libyan Desert Glass: Numerical simulations of melting of silica due to radiation from near-surface airbursts** // Meteoritics and planetary Science. V. 55. Iss.4. P. 895–910.
2. *Светцов В.В., Шувалов В.В.* **Причины образования частиц древесного угля, найденных под слоем выбросов из небольших ударных кратеров** // Динамические процессы в геосферах. Выпуск 12: сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2020. С. 141–149.
3. *Kartashova A., Golubaev A., Mozgova A., Chuvashov I., Bolgova G., Glazachev D., Efremov V.* (2020). **Investigation of the Ozerki meteoroid parameters** // Planetary and Space Science. V. 193. 105034.

AAAA-A17-117112350011-7 **Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа** (рук. проекта д.ф.-м.н. С. Б. ТУРУНТАЕВ)

1. Разработана численная модель подвижек по разлому, инициированных повышением порового давления в результате закачки флюида в недра. Модель позволяет описывать процесс фильтрации флюида в породе, содержащей разломы и трещины, и вызванный фильтрацией флюида процесс деформации разлома, трение на котором описывается 2-х параметрическим законом rate-and-state. Проведено исследование различных форм законов трения, действующего на берегах разлома, и показано, что 2-х параметрический закон трения позволяет описывать наиболее широкий спектр наблюдаемых режимов скольжения. На основе представленных численных моделей сделаны выводы об условиях, способствующих возникновению сейсмической подвижки на разломе. Результаты расчетов применены для моделирования сейсмических режимов, инициированных закачкой жидкости.

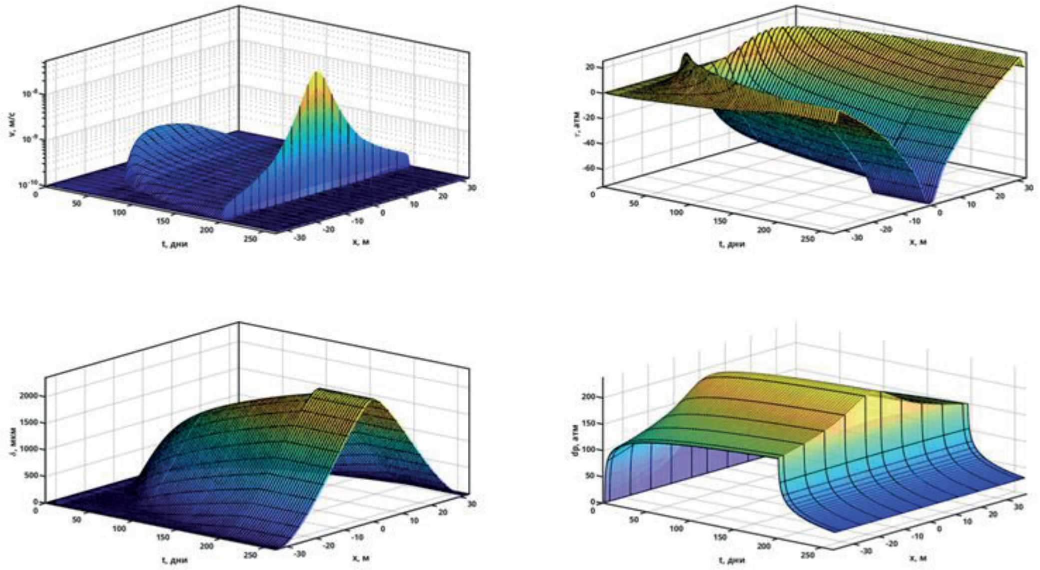


Рис. к результату 1.
Пример результатов расчета реакции разлома на закачку жидкости в течение 200 дней. На графиках слева направо и сверху вниз: изменение скорости скольжения берегов разлома, изменение касательных напряжений, перемещение берегов разлома, давление жидкости в различных точках разлома. Время указано от начала закачки, расстояние – от точки проекции положения скважины

2. Предложена методика проведения и обработки данных экспериментального определения проницаемости горных пород, позволяющая проводить исследования зависимости эффективной проницаемости от градиентов порового давления порядка 0,01 МПа/м, что сопоставимо с характерными градиентами давления, возникающими в ходе разработки нефтяных месторождений. Показано, что наблюдаемое снижение эффективной проницаемости может быть обусловлено присутствием газовой фазы в поровом пространстве, что может быть обусловлено возникновением адсорбционных слоёв с изменёнными свойствами на границах раздела жидкой и твёрдой фазы.

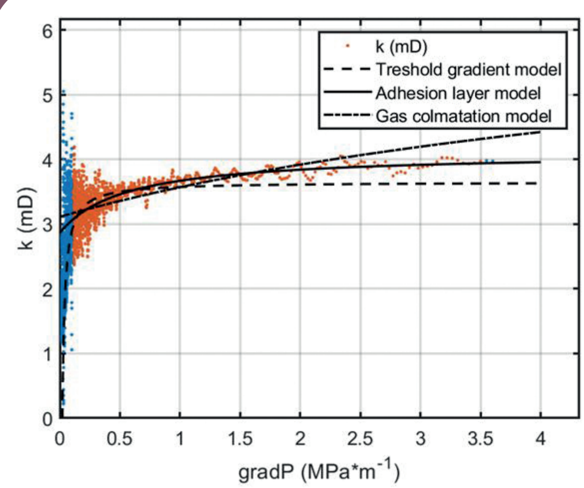


Рис. *Зависимость эффективной проницаемости образца от градиента порового давления*

Публикации:

1. *Барышников Н.А., Шаяхметов Р.И., Зенченко Е.В., Турунтаев С.Б.* **Экспериментальное исследование нелинейности зависимости эффективной проницаемости от градиента давления в области малых скоростей фильтрации** // Динамические процессы в геосферах. Вып. 12: Сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2020.

2. *Riga V., Turuntaev S.* **Analysis of seismicity caused by fluid injection**. EGU General Assembly 2020 (Online, 4–8 May, 2020). EGU2020-20594. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-6008.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ: НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ, ТЕХНОЛОГИЙ И СРЕДСТВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И НЕДР ЗЕМЛИ, АТМОСФЕРЫ, ВКЛЮЧАЯ ИОНОСФЕРУ И МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ, ГИДРОСФЕРЫ И КРИОСФЕРЫ; ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ГЕОИНФОРМАТИКА (ИНФРАСТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ И ГИС- ТЕХНОЛОГИИ)

AAAA-A19-119022090015-6 **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)

1. На основе анализа огибающей коды отраженных от поверхности внутреннего ядра Земли волн PKiKP, возбужденных взрывами, и с использованием технологии альфа-шейп восстановления гладких кривых, получены оценки фактора затухания Q = 447±43для четырех районов под Арктикой, центральной и Юго-Восточной Азией. Механизм формирования коды с полученным значением Q может быть обусловлен неоднородностями в верхней части внутреннего ядра с характерным линейным размером 1–4 км и вариациями скорости продольных волн порядка 1–3%.

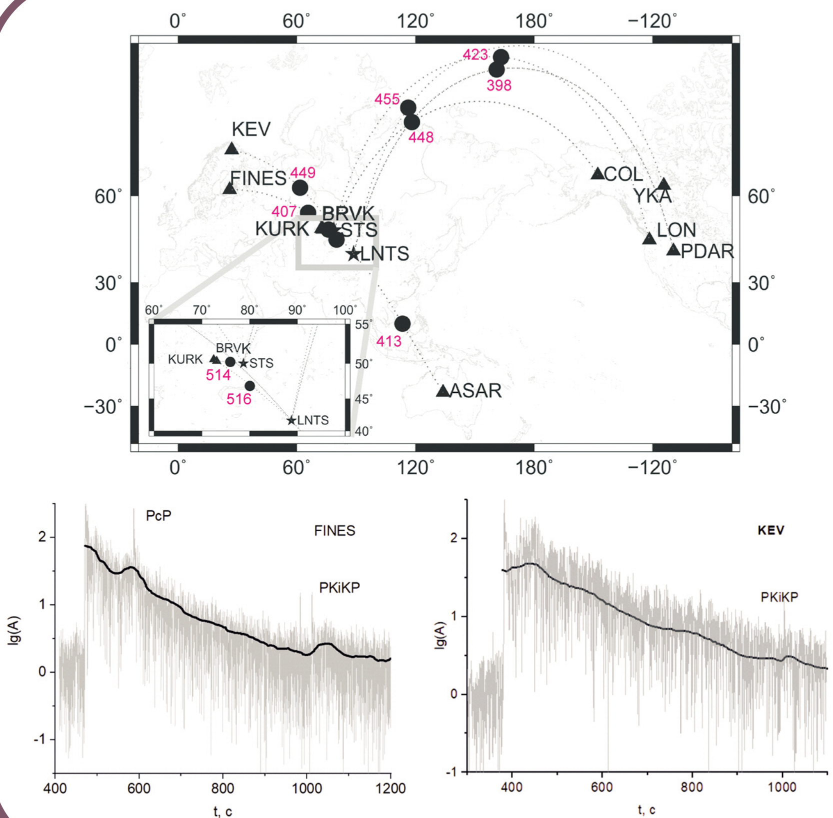


***Рис.** Сверху – карта взаимного расположения полигонов и сейсмических станций с дугами большого круга (пунктир): STS – Семипалатинский полигон, LNTS – полигон Лобнор, BRVK, KEV, COL, LON – трёхкомпонентные сейсмические станции, ASAR, FINES, KURK, PDAR, YKA – станции сейсмического группирования. Черные кружки – проекции точек отражения волн PKiKP от внутреннего ядра Земли на дневную поверхность, рядом красным цветом – оценки фактора затухания. Снизу – огибающие Гильберта (серый цвет) на станциях KEV и FINES и результат сглаживания методом альфа-шейп (черные кривые)*

2. Впервые численным расчетом получены размеры трубок чувствительности для волн PKIKP, PKIIKP, PKPab на эпицентральных расстояниях 170–180 градусов. Проведенное исследование амплитудных ядер чувствительности в зависимости от скорости поперечных волн показывает, что мантийные неоднородности вносят в 5 раз (при условии равенства объемов) бóльший вклад в картину возмущений в зоне PKIIKP волны, чем неоднородности во внутреннем ядре, и могут приводить к неоднозначной интерпретации природы обнаруженных сигналов.

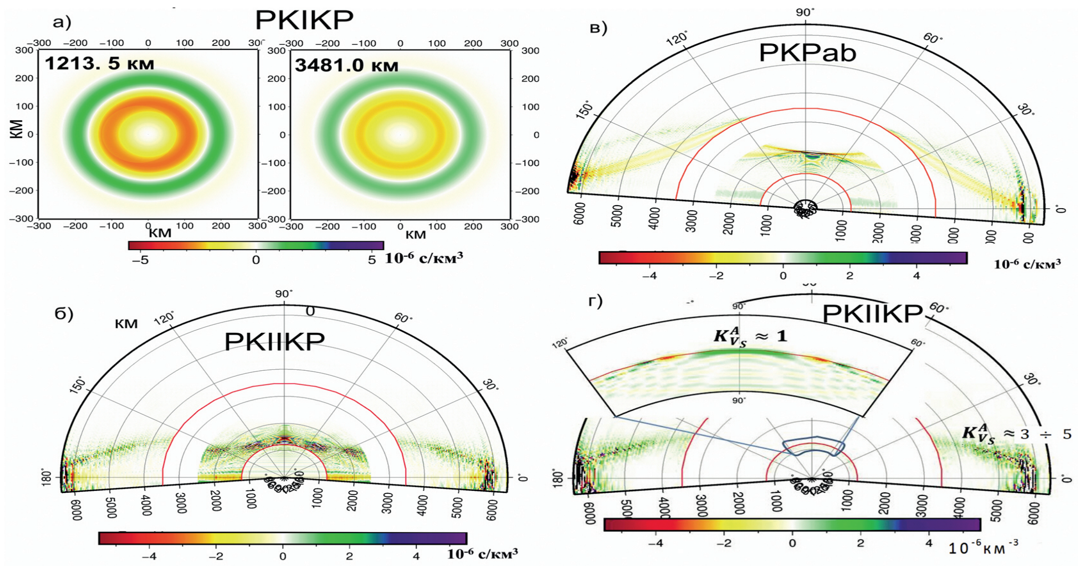


Рис. *а – сечения ядер чувствительности времени пробега волн* PKIKP *от скорости продольных волн* V_P *на эпицентральном расстоянии 180° для волн с доминирующим периодом 2 с на фиксированной глубине, полученные с использованием лучевого подхода; б, в – ядра чувствительности времени пробега в зависимости от скорости продольных волн* V_P *для всей Земли для* PKIIKP *на 180° и* PKPab *на 170°; г – амплитудное ядро чувствительности в зависимости от скорости поперечных волн* V_S *для* PKIIKP *на 179,6°. Расчеты для (б, в, г) выполнены в полноволновом приближении на сетке 20 км, по радиусу 0,5°, по азимуту для минимального периода 2 с с использованием программы DSM Kernel Suite*

3. Предложен новый подход к распознаванию природы сейсмических событий, основанный на характере наклона кривой зависимости логарифма отношений амплитудных спектров волн P и Lg- $\lg(A_p/A_{Lg})$ - относительно частоты колебания. Показано, что отрицательный тренд при увеличении частоты характерен для короткозамедленных взрывов, положительный тренд - для землетрясений. Метод опробован на записях 405 промышленных взрывов и 24 землетрясений, удаленных от ГФО «Михнево» на расстояния 350–900 км.

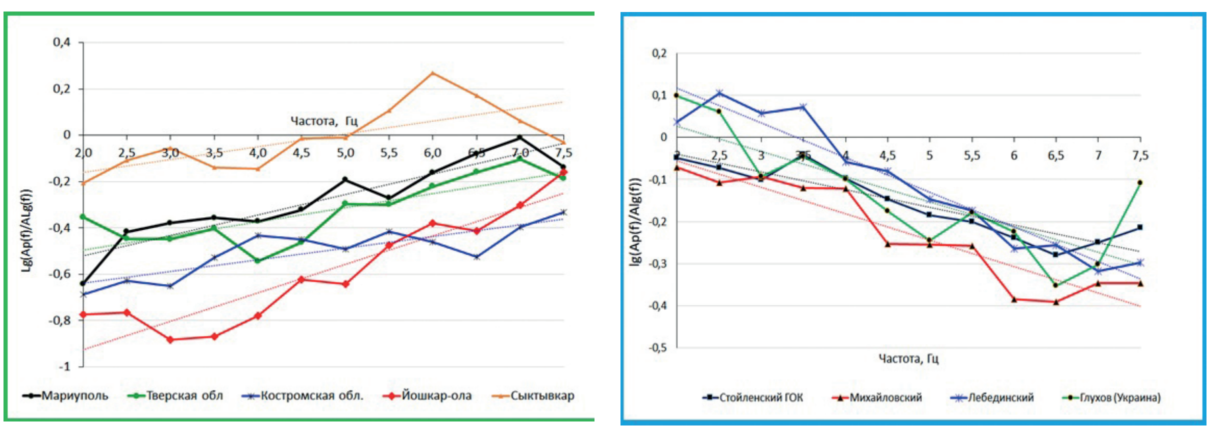


Рис. *Кривые логарифма отношения* $\lg(A_p(f)/A_{Lg}(f))$ *для взрывов на карьерах, расположенных на расстояниях более 300 км и линии тренда (слева); кривые логарифма отношения* $\lg(A_p(f)/A_{Lg}(f))$ *для региональных землетрясений на расстояниях до 900 км и линии тренда (справа)*

Публикации:

1.*Krasnoshchekov D.* **Inner core scattering estimates inferred from PKiKP coda waves**: Тезисы доклада на Генеральнаую ассамблею Европейского геофизического союза 2020 (4–8 мая, 2020 г.), online. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-13416.

2. *Усольцева О.А., Овчинников В.М.* **Моделирование ядер чувствительности волн PKIKP, PKIIKP и PKPab на антиподальных расстояниях** // Динамические процессы в геосферах. Вып.12: Сб. научных трудов ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2020. С. 10–16. DOI: 10.26006/IDG.2020.41.61.019.

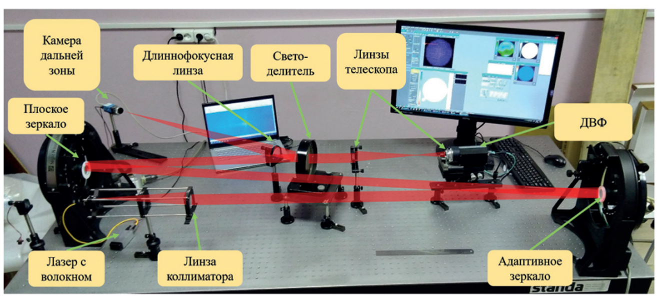
3. *Усольцева О.А. , Овчинников В.М.* **Особенности трубок чувствительности волн PKIKP и PKIIKP во внутреннем ядре Земли** // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции (21–22 сентября 2020 г., Москва) / Под. ред. Вл. В. Воеводина. Москва. МАКС Пресс, 2020. С. 133–134. ISBN 978-5-317-06400-6, e-ISBN 978-5-317-06458-7 https://doi.org/10.29003/m1406.RussianSCDays-2020.

4. *Санина И.А., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Габсатарова И.П.* **Распознавание природы сейсмических источников на Восточно-Европейской платформе, регистрируемых малоапертурной сейсмической группой «Михнево» на региональных расстояниях** // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 2. С. 56–76.

АААА-А17-117112350021-6 **Коррекция мощного светового излучения, прошедшего рассеивающую и сильно турбулентную атмосферу** (рук. проекта д.ф.-м.н. А.В. КУДРЯШОВ)

Разработан и изготовлен лабораторный макет адаптивной оптической системы, предназначенной для коррекции аберраций волнового фронта (ВФ) излучения, прошедшего сквозь турбулентную атмосферу. Макет содержит источник лазерного излучения, включающий в себя лазерный диод, сопряженный с волокном, коллиматор излучения, деформируемое зеркало, использующееся в качестве корректора, датчик волнового фронта излучения, состоящий из микролинзового растра и скоростной камеры. Искажения волнового фронта инициируются генератором турбулентности, выполненном на основе биморфного деформируемого зеркала. Качество коррекции оценивается по наблюдениям распределения интенсивности излучения в дальней зоне, формируемого длиннофокусной линзой. Лабораторный макет позволяет, в зависимости от используемых параметров турбулентности, определять оптимальную конфигурацию и число электродов корректирующего деформируемого зеркала, а также требуемую частоту работы системы коррекции волнового фронта.

Фото экспериментальной установки



Спектральная энергия вызванных турбулентностью возмущений волнового фронта при различных частотах коррекции

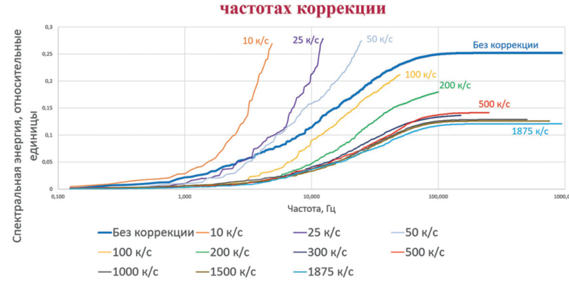
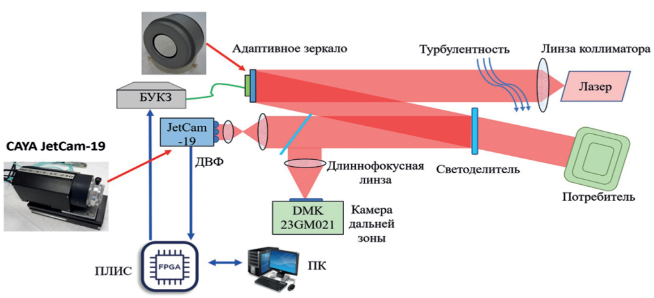


Схема экспериментальной установки



Публикации:

1.*Kudryashov A. et al.* **Real-time 1.5 kHz adaptive optical system to correct for atmospheric turbulence** // Opt. Express 28, 37546-37552. (2020). Doi.org/10.1364/OE.409201

2. *Galaktionov I., Sheldakova J.,Nikitin A., Samarkin V., Parfenov V., and Kudryashov A.* **Laser beam focusing through a moderately scattering medium using a bimorph mirror** // Opt. Express 28, 38061-38075. (2020). Doi.org/10.1364/OE.408899

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)

1. В рамках развития методов обработки и анализа получаемых данных отработаны алгоритмы, позволяющие анализировать параметры слабых сигналов, инициированных шахтными взрывами, даже в условиях невозможности использования традиционных методик классической сейсмологии. Предложен новый способ определения типа деформации в очаге слабых сейсмических событий, индуцированных горными работами в шахте. Путем классификации зарегистрированных слабых сейсмических событий показано, что из них 45% с большой вероятностью представляют собой трещины сдвига.

2. Представлены базовые принципы реализации системы сейсмологического мониторинга для оценки возможного проявления сейсмических и геодинамических процессов на территории размещения ОИАЭ на основе руководства по безопасности РБ-142-18.

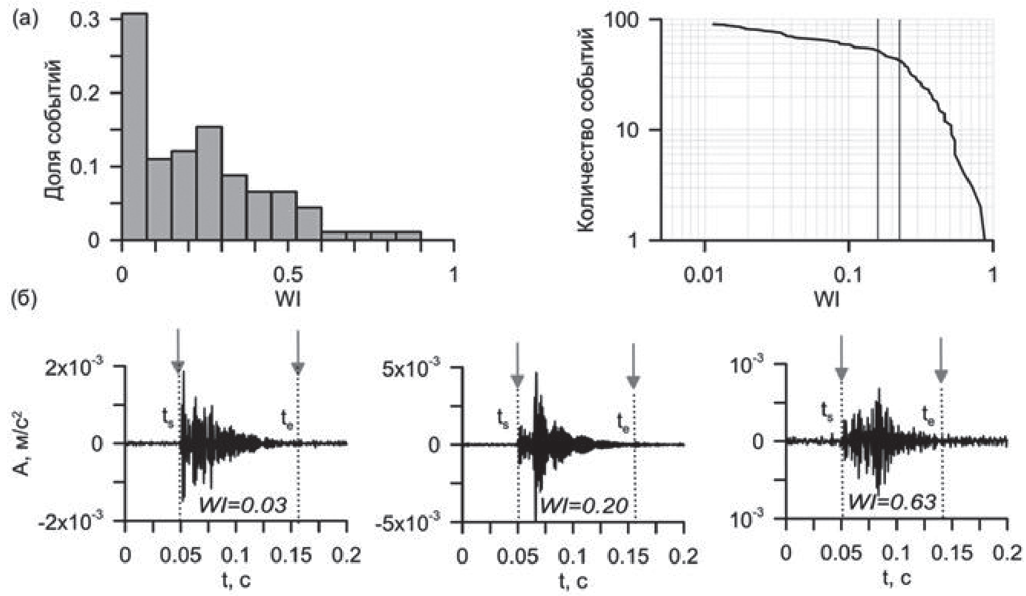


Рис. к результату 2.
(а) – распределение сейсмических событий, индуцированных взрывами 06.07.2019 г., по параметру волной формы WI. Гистограмма доли событий (слева), зависимость количества событий от параметра WI (справа); (б) - примеры волновых форм, соответствующие разным значениям параметра WI (стрелками указаны начало и окончание сигналов)

3. На территории Михайловского ГОК (Белгородская область, Курская магнитная аномалия) создан стационарный сейсмический пункт для регистрации и анализа сейсмического и акустического действия массовых взрывов на район расположения Михайловского карьера. Организованы временные сейсмические пункты и проведены оценки воздействия массовых взрывов в районе расположения Ситовского карьера (Липецкий район), который разрабатывает Сокольско-Ситовское месторождение флюсовых известняков – одного из крупнейших в Российской Федерации.

Публикации:

1. *Besedina, A.N., Kishkina, S.B., Kocharyan, G.G. et al.* **Weak Induced Seismicity in the Korobkov Iron Ore Field of the Kursk Magnetic Anomaly** // J Min Sci. 2020. 56, 339–350. https://doi.org/10.1134/S1062739120036818.

AAAA-A17-117112350014-8 **Развитие новых методов измерения параметров ионосферы-магнитосферы с использованием современных ГЛОНАСС-GPS приемников**
(рук. проекта д.ф.-м.н. Б. Г. ГАВРИЛОВ)

1. Разработан метод комплексного исследования состояния и динамики верхней и нижней ионосферы при мощных рентгеновских вспышках М и Х классов, использующий согласованные измерения полного электронного содержания с использованием современных ГЛОНАСС-GPS приемников и измерения параметров низкочастотных радиосигналов с использованием комплекса приемников КНЧ/ОНЧ радиоизлучения ГФО ИДГ РАН «Михнево».

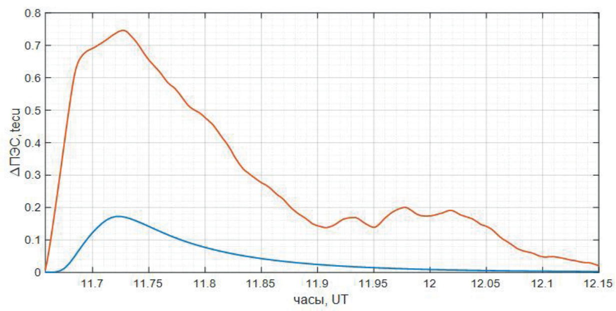


Рис. 1. *Приращение ПЭС во время солнечной вспышки 10.06.2014. Красная кривая – результаты расчета изменения величины ПЭС по данным приемника GPS. Синяя кривая – приращение ПЭС в диапазоне высот 50–80 км по данным амплитудно-фазовых характеристик сигналов КНЧ/ОНЧ диапазона*

2. В результате анализа амплитудно-фазовых характеристик КНЧ/ОНЧ сигналов удалось установить, что характер изменения эффективной высоты отражения радиосигнала и градиента нарастания электронной концентрации выходят на единый тренд, начиная с энергии, примерно 0,04–0,07 мДж/см^2. Анализ абсолютного значения полного электронного содержания позволил установить, что динамика роста ионизации ионосферы полностью определятся скоростью нарастания потока излучения. Использование данных мировых сетей приемников ГНСС показало, что основной вклад в ионизацию ионосферы во время вспышки вносит УФ излучение в диапазоне 24–50 нм.

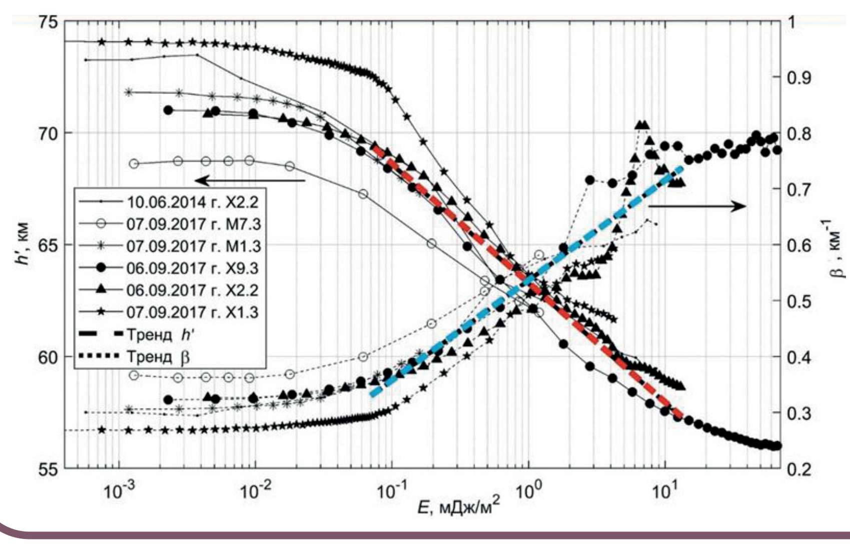


Рис. 2. *Зависимость эффективной высоты отражения h и градиента нарастания электронной концентрации от энергии рентгеновского излучения в диапазоне 0,05–0,4 нм при солнечных вспышках 2014-2017 гг. Штриховыми линиями показан тренд изменения эффективной высоты отражения радиосигнала (красная) и градиента нарастания электронной концентрации (голубая)*

Публикации:

1. *Гаврилов Б.Г., Ермак В.М., Ляхов А.Н. , Поклад Ю.В., Рыбаков В.А., Ряховский И.А.* **Восстановление параметров среднеширотной нижней ионосферы при солнечных вспышках М- и Х- классов** // Геомагнетизм и аэрономия, 2020, том 60, № 6, с. 762–768. DOI: 10.31857/S0016794020060048.
2. *Bekker S.Z. and Ryakhovsky I.A.* **Methodology of the lower ionosphere models verification based on VLF radio wave propagation during x-ray flares**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115607T (12 November 2020). https://doi.org/10.1117/12.2574613.

AAAA-A19-119021890067-0 **Возмущения геофизических полей в Московском мегаполисе**
(рук. проекта д.ф.-м.н. А. А. СПИВАК)

1. На основе результатов инструментальных наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории «Михнево» и в Центре геофизического мониторинга Москвы ИДГ РАН установлены геофизические эффекты аварийного взрыва в порту г. Бейрут (Ливия, 04.08.2020 г.). Показано, что на значительном от взрыва расстоянии, превышающем 2400 км, наряду с сейсмическим зарегистрированы акустические возмущения, а также возмущения магнитного поля и электрических характеристик приземной атмосферы. При этом акустические возмущения зарегистрированы в период прихода сейсмического сигнала в пункты наблюдений, а также в виде микробарических колебаний в инфразвуковом диапазоне частот в период прихода акустического сигнала, распространяющегося по атмосферному волноводу. Впервые выделено два типа разнесенных по времени возмущений физических полей в приземной атмосфере: бухтоообразные вариации горизонтальной компоненты геомагнитного и вертикальной компоненты электрического поля во время самого взрыва и знакопеременные вариации указанных полей в период прихода акустического сигнала, распространяющегося по атмосферному волноводу. Показано, что вызванные вариации вертикальной компоненты атмосферного тока и в первом, и во втором случае характеризуются знакопеременным характером.

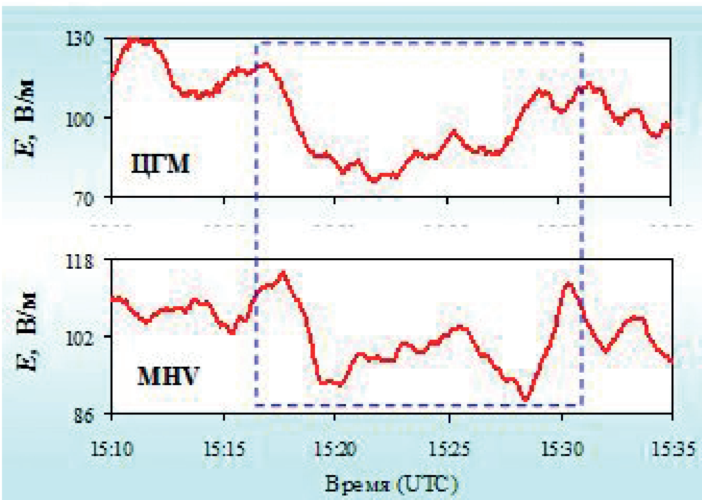


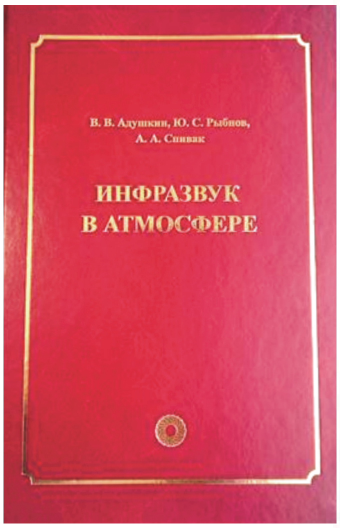
Рис. *Возмущение электрического поля, сопутствующие взрыву в г. Бейруте по данным ЦГМ и MHV*

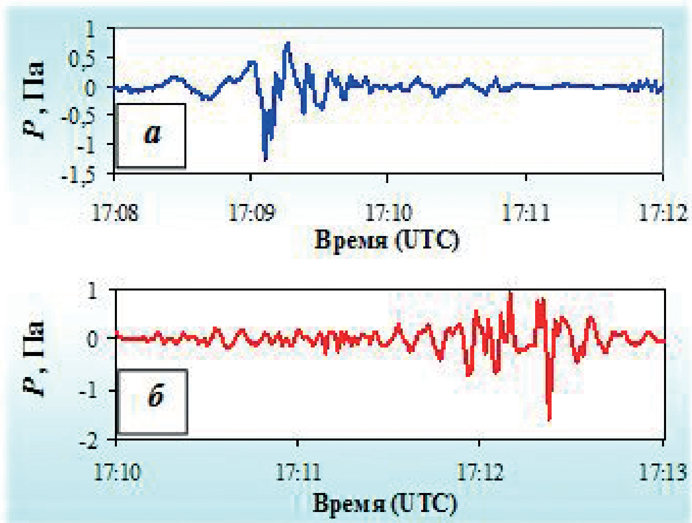
Публикации:

1. *Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Удаленные геофизические эффекты аварийного взрыва в Бейруте 04.08.2020 г.** // Динамические процессы в геосферах. Вып. 12. М.: ИДГ РАН. 2020. С. 114-122.
DOI: 10.26006/IDG.2020.10.31.015

2. Выполнен обобщающий анализ результатов инструментальных наблюдений за микробарическими вариациями в приземном слое земной атмосферы, вызванные источниками природного и техногенного происхождений.

Атмосферные возмущения в виде акустических волн разного диапазона частот их тел и вызванные солнечными затмениями, полярными сияниями и солнечным терминатором. рассматривались в качестве информативной характеристики геофизических процессов, протекающих в приземном слое атмосферы и приповерхностной области земной коры. Отдельно анализировались акустические эффекты при процессах взрывного типа, а также вызванные сильными землетрясениями, вулканическими извержениями, сильными атмосферными явлениями (смерчи, торнадо), сходом лавин и прохождением атмосферных фронтов. Наряду с этим рассмотрены акустические эффекты, вызванные авариями на трубопроводах, складах боеприпасов, работой нагревных стендов и крупными пожарами, полетами самолетов и ракет.





Микробарические вариации (сверху справа) в полосе частот 0,05–0,5 Гц в ГФО «Михнево» (а) и в Центре мониторинга Москвы (б), вызванные эксплозией вулкана Стромболи (Италия, 2019 г.)

Результаты исследований обобщены в виде монографии: *Адушкин В.В., Рыбнов Ю.С., Спивак А.А*. **Инфразвук в атмосфере.** М. : ТОРУС ПРЕСС, 2020. –332 с. : ил.

Лаборатория литосферно-ионосферных связей (зав. лаб. к.ф.-м.н. И. А. РЯХОВСКИЙ)

В геофизической обсерватории «Михнево» уже несколько лет ведется непрерывный мониторинг сигналов СДВ диапазона. Уникальные экспериментальные данные амплитудно-фазовых характеристик сигналов от СДВ станций, расположенных по всему миру, позволили провести верификацию и коррекцию пятикомпонентной плазмохимической модели нижней ионосферы в спокойных условиях и во время возмущений различной природы.

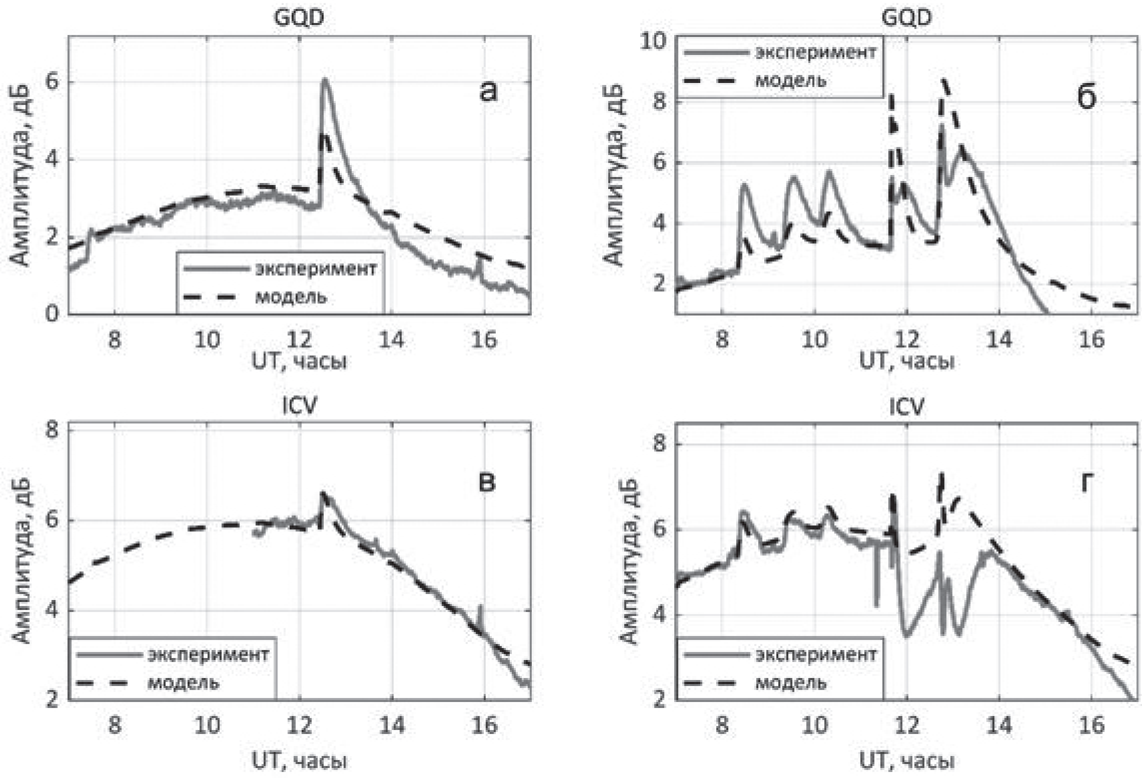


Рис. *Теоретический и экспериментальный ход амплитуды радиоволны от передатчика GQD во время рентгеновских вспышек C- и X- класса, произошедших 9 июня 2014 года (а), 10 июня 2014 года (б); от передатчика ICV – 9 июня (в) и 10 июня 2014 (г) соответственно*

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.

РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОНД

№ 16-17-00095 Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах

(рук. проекта академик РАН В. В. АДУШКИН)

Результаты, полученные в ходе выполнения проекта в 2019-2020 гг. интегрированы в феноменологическую модель инициирования техногенно-тектонических землетрясений горными работами, созданную на этапе работ 2016-2018 гг.

1. На геомеханическом стенде ИДГ РАН выполнялись лабораторные эксперименты по исследованию статистических закономерностей акустической эмиссии (АЭ) из зоны модельного разлома на разных стадиях подготовки динамического срыва и при различных режимах скольжения. В том числе был исследован случай инициирования подвижки экзогенным воздействием. Результаты лабораторных экспериментов продемонстрировали устойчивую связь статистических параметров сигналов АЭ, излучаемых в процессе сдвигового деформирования разлома, с его внутренней структурой. По результатам работ определены количественные характеристики слабой сейсмичности, которые могут оказаться информативными при проведении сейсмического мониторинга зоны тектонического разлома. Предложен метод пассивного сейсмического контроля зоны тектонического нарушения основан на статистической дифференциации регистрируемых сейсмоакустических импульсов по новому предложенному параметру – параметру формы и по амплитуде импульсов.

2. Одним из прикладных результатов проекта можно считать сделанный вывод о малой вероятности серьезных геодинамических проявлений в ходе разработки Коробковского месторождения при существующей глубине разработки или при незначительном ее увеличении. Для зарегистрированных микросейсмических событий создана база данных очаговых и кинематических параметров. Магнитуды зарегистрированных микроземлетрясений находятся в интервале M_w~(-2,7–1,4). Показано, что источниками большинства сигналов являются микроземлетрясения с низкой скоростью распространения разрыва, так что для обследуемого участка разломной зоны распространение геоматериалов, обладающих свойствами скоростного разупрочнения, нехарактерно.

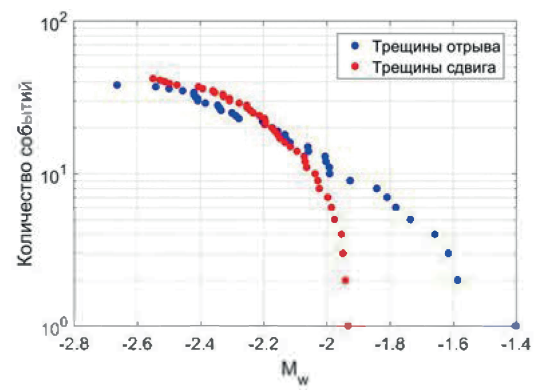


***Рис.** График повторяемости сейсмических событий, построенный для трещин отрыва и трещин сдвига*

3. Впервые в России применена инновационная методика оценки проницаемости пород по величине отношения значений амплитуд приливов, выделенных в колебаниях уровня подземных вод, к теоретически рассчитанным величинам. Отработана методика исключения участков, содержащих переходные, нестационарные режимы фильтрации, искажающие результаты расчета. На основе анализа отклика водонасыщенного коллектора на приливные воздействия выполнена оценка фильтрационных свойств пластов на обеих наблюдательных площадках и вариаций их эффективных характеристик.

4. При измерениях на поверхности в качестве аналога интенсивности сигнала используется значение спектральной меры когерентности, которая характеризует степень подобия сигналов на всех каналах группы в данном частотном диапазоне. При измерениях в шахте и на поверхности отмечается качественно схожее поведение зависимостей количества регистрируемых сигналов от времени: после взрыва наблюдается резкий всплеск сейсмической активности с последующим затуханием. Построен скоростной разрез массива под КМА до глубины 20 км. Полученные результаты использованы при локации сейсмических событий и могут оказаться полезны при построении улучшенных карт-схем строения региона.

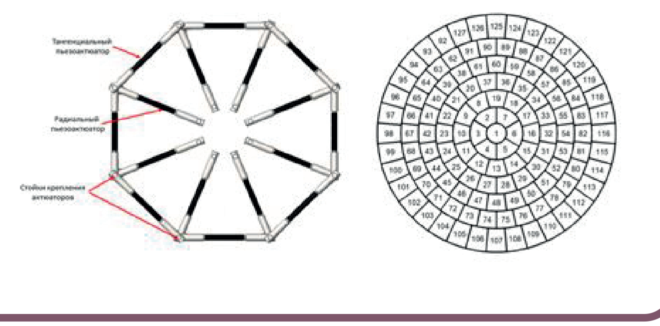
Публикации:

1. *Адушкин В.В., Варыпаев А.В., Кушнир А.Ф., Санина И.А. (Adushkin V.V., Varypaev A.V., Kushnir A.F., Sanina I.A.)* **Identification of induced seismisity in the fault zone of the kma Korobkovskoye field based on obseravtions of a small aperture seismic array** // Доклады Российской академии наук: Науки о Земле. Том 493 (1), 2020. С. 78–82. https://doi.org/10.31857/S268673972007004X.
2. *Besedina, A.N., Kishkina, S.B., Kocharyan, G.G., Kulikov,V.I., Pavlov, D.V.* **Weak Induced Seismicity in the Korobkov Iron Ore Field of the Kursk Magnetic Anomaly** // Journal of mining science, 2020. 56, P. 339–350. https://doi.org/10.1134/S1062739120036818.
3. *Ostapchuk, A.A., Morozova, K.G.* **On the Mechanism of Laboratory Earthquake Nucleation Highlighted by Acoustic Emission** // Scientific Reports. 2020. 10. 7245. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64272-1.
4. *Sanina I.A., Riznichenko O.Yu., Kushnir A.F., Varypaev A.V., Sergeev S.I., Volosov S.G.* **Recognizing of microseismic source types based on smallaperture seismic array data** // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2020. Т. 56. № 2. С. 260–278 https://doi.org/10.1134/S1069351320010127.

<u>№ 20-69-46064</u> **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 является комплексной задачей

Проведённые модельные и макетные исследования показали, что использование для регулировки сжатия эластичных прокладок в системе крепления круглого деформируемого биморфного зеркала диаметром 320 мм и толщиной около 7 мм шестнадцати дополнительных винтов, равномерно расположенных по кругу вне диаметра зеркальной подложки, позволяет не только обеспечить равномерное сжатие прокладок по всему пятну контакта, но и эффективно компенсировать возникающие при сборке зеркала начальные деформации поверхности в виде «многолистников» вплоть до 6-го порядка. Численные расчеты для модели круглого биморфного 127-электродного зеркала активным диаметром 320 мм показали, что при управляющих напряжениях 400, 500 и 600 В на электродах может быть достигнута максимальная деформация зеркальной поверхности 155, 190 и 230 мкм, соответственно, что соответствует радиусам кривизны поверхности 82, 66 и 55 м.



Была разработана конструкция и краткое техническое задание на изготовление активной механической оправы с тангенциальными и радиальными пьезокерамическими толкателями для крепления широкоапертурного зеркала. Были проведены измерения волнового фронта для исходной (прямоугольной) сетки субапертур и для прореженных масок линзового растра датчика Шака-Гартмана. Было показано, что прореживание сетки субапертур не приводит к сколь-нибудь существенному изменению параметров измеряемого волнового фронта, а значит такой алгоритм прореживания можно применять в адаптивной системе. На лазерной гравировальной установке была показана возможность выжигания лазерным излучением межэлектродных дорожек в пьезокерамической пластине для изготовления биморфного зеркала.

Публикации:

1. *Galaktionov I, Sheldakova J., Nikitin A., Samarkin V., Parfenov V., Kudryashov A.* **Laser beam focusing through a moderately scattering medium using bimorph mirror** // Optics Express. 2020. 28(25), p. 38061–38075.
2. *Kanev F., Aksenov V., Veretekhin I.* **Analyses of optical vortex registration methods.** Proceedings of SPIE, 11560, 115602B, 2020.
3. *Соловьев А.А., Котов А.В., Перевалов С.Е., Есюнин М.В., Стародубцев М.В., Александров А.Г., Галактионов И.В., Самаркин В.В., Кудряшов А.В., Хазанов Е.А., Шайкин А.А., Гинзбург В.Н., Яковлев И.В., Коробейникова А.П., Кузьмин А.А., Кочетков А.А.* **Адаптивная система коррекции волнового фронта лазерного комплекса PEARL** // Квантовая электроника. 2020. 50(12). 1115–1122.
4. Т*опоровский В.В., Кудряшов А.В., Самаркин В.В., Рукосуев А.Л., Никитин А.Н., Шелдакова Ю.В., Отрубянникова О.В.* **Исследование охлаждаемого деформируемого зеркала на пьезоактюаторах для коррекции атмосферных флуктуаций фазы** // Оптика атмосферы и океана. 2020. 33(9).

№ 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

1. Выполнен обзор результатов, характеризующих проблему применения методов адаптивной оптики на БТА (большом телескопе азимутальном). Оценен выигрыш, обеспечиваемый АО, как в светосиле по потоку, так и по числу одновременно передаваемых элементов спектра. Сформирована программа работ по применению метода АО по центральной звезде в спектроскопии высокого и сверхвысокого разрешения. На платформе фокуса Нэсмит-2 БТА подготовлена зона размещения элементов адаптивной оптической системы.
2. Построена модель распространения излучения в турбулентной среде. При моделировании излучения естественных внеатмосферных источников (астрономические объекты) учитывалась немонохроматичность и неполная когерентность излучения.
3. Было рассмотрено возникновение в плоской волне точек с нулевой интенсивностью. В них фаза излучения является неопределённой из-за равенства нулю как действительной, так и мнимой частей комплексной амплитуды поля. Был разработан алгоритм определения оптических вихрей в волновом фронте лазерного излучения и получены оценки точности его работы.
4. Начаты работы по созданию системы стабилизации положения светового пучка. Реализация такой системы целесообразна с использованием программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) в качестве основного управляемого элемента. В этом случае корректор будет состоять из следующих основных узлов: датчик положения луча на основе квадрантного фотодиода, ПЛИС, блока управления корректором наклонов и исполнительного механизма – зеркала, способного изменять свой наклон в двух плоскостях в зависимости от приложенных напряжений. Последовательность обработки данных схематично обозначена на рисунке.

Последовательность обработки информации в ПЛИС

Публикации:

1. *Клочкова В. Г., Шелдакова Ю. В., Власюк В. В., Кудряшов А. В.* **О повышении эффективности спектроскопии высокого разрешения на БТА методами адаптивной оптики** // Астрофизический бюллетень. 2020. 75(4), с. 528–542.

2. *Nikitin Alexander Nikolaevich , Rukosuev Alexey, Sheldakova Julia V., Belousov Vadim M., Galaktionov Ilya , Samarkin Vadim, Kudryashov Alexis.* **FPGA-based 2 kHz closed-loop adaptive optical system with stacked actuator deformable mirror**. Proc. SPIE . 2020. 11508, Unconventional Imaging and Adaptive Optics 2020, 115080K.

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

1. Разработаны и исследованы корректоры волнового фронта биморфного типа малого размера (менее чем 30 мм) с высокой плотностью расположения управляющих электродов для задач внутрирезонаторной коррекции аберраций лазерного излучения, беспроводной квантовой связи, а также, формирования заданного распределения.

2. Создан макет действующей адаптивной оптической системы на основе ПЛИС, позволяющий вести коррекцию ВФ лазерного излучения с частотой до 2.0 кГц. На макете проведены исследования качества коррекции при различных частотах работы системы при лабораторном моделировании турбулентности. Получена коррекция излучения походящего через турбулентную среду, при этом число Штреля было увеличено со значения $\mathrm{St} < 0{,}1$ (рис. *а*) до $\mathrm{St} \sim 0{,}7$ (рис. *б*).

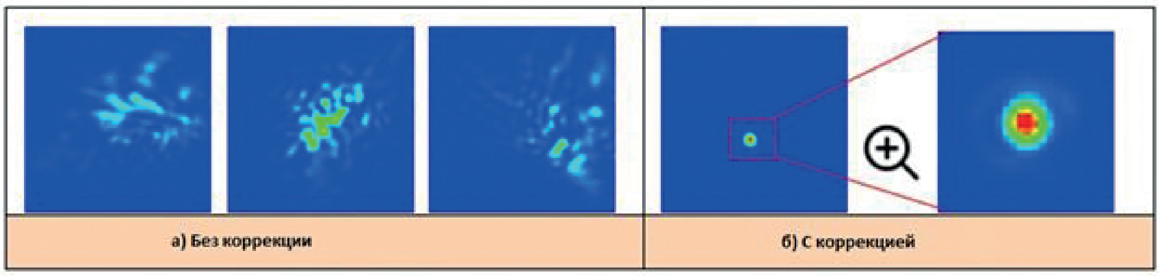


Рис. *Фокусировка излучения, проходящего через турбулентную среду до коррекции (а) и после коррекции (б)*

Публикации:

1. *Toporovsky V.V. et al.* **Development and investigation of small-aperture bimorph deformable mirror for correction of low-order aberrations of laser radiation**. Proc.of SPIE. Vol. 11560, p. 115601Z, 2020 .

2. *Toporovsky V.V. et al.* **Applicability of small-size wavefront correctors to compensate for wavefront distortions in laser systems**. Proc. SPIE. Vol.11266, p. 1126619-1, 2020. Doi: 10.1117/12.2575599.

3. *Sheldakova Julia et al.* **Flat-top beam formation with miniature bimorph deformable mirror**. Proc. SPIE. Vol. 11486, p. 114860E, 2020. Doi: 10.1117/12.2569387.

4. Kudryashov A. et al. **Real-time 1.5 kHz adaptive optical system to correct for atmospheric turbulence** // Opt. Express. 2020. 28(25), p. 37546–37552, doi: 10.1364/OE.409201.

5. Рукосуев А. Л. и др. **Быстрая адаптивная оптическая система для коррекции волнового фронта лазерного излучения, искаженного атмосферной турбулентностью** // Квант. электр. 2020. 50(8), с. 707–709, doi: 10.1070/QEL17382.

№ 20-77-10087 **Применение современных методов анализа данных для решения задач геомеханики разломных зон приповерхностной области континентальной коры**
(рук. проекта к.ф.-м.н. А. А. ОСТАПЧУК)
В рамках настоящего проекта будет разработана геомеханическая модель активной разломной зоны на основе мультидисциплинарного подхода, включающего комплексный анализ структурных, физико-механических и геолого-минералогических свойств горных пород

В настоящее время не существует комплексной геомеханической модели активного разлома, объясняющей весь спектр деформационных явлений, приуроченных к зонам разломов, а именно закономерности пространственно-временной эволюции структурных и механических свойств, вариаций режимов деформирования, включающий стабильный крип, медленные и быстрые землетрясения.
В условиях, когда развитие процесса сопровождается сложной картиной вариаций параметров, применение методов анализа многомерных рядов данных, одним из которых является машинное обучение, позволяет определить параметры состояние исследуемой динамической системы. Благодаря применению методом машинного обучения проведение исследований переходит на новый уровень сложности.
Выполнение проекта позволит существенно продвинуться в направлении прогноза и предотвращения инициированной сейсмичности.

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

№ 18-05-00619 **Изучение текстуры и свойств переходной зоны внутреннее - внешнее ядро Земли сейсмическими методами** (рук. проекта д.ф.-м.н. Д. Н. КРАСНОЩЕКОВ , к.ф.-м.н. О. А. УСОЛЬЦЕВА

Показаны преимущества метода компьютерной графики *альфа-шейп* для анализа огибающей быстро осциллирующей коды волны PKiKP, отраженной от границы между жидким внешним и твердым внутренним ядром, наблюдаемой на сейсмограммах ядерных взрывов по сравнению со сглаживанием скользящим средним.

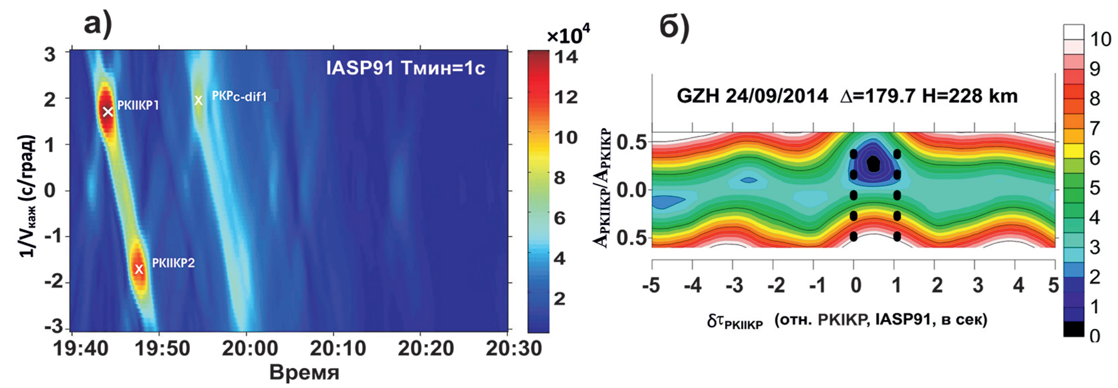


Рис. а) — *веспограмма (зависимость интенсивности волны от медленности и времени при постоянном азимуте), построенная по синтетическим сейсмограммам, имитирующим линейную эквидистантную группу из 11-ти сейсмоприемников с апертурой 2° на эпицентральных расстояниях 178–180° для стандартной модели IASP91 и минимального периода 1 сек*, б) — *относительная целевая функция в % (глобальный минимум которой необходимо найти) в зависимости от дифференциальной невязки времени запаздывания для фазы PKIIKP $\delta\tau_{PKIIKP1}$ и относительной амплитуды волны PKIIKP A_{PKIIKP}/A_{PKIKP} для станции GZH и землетрясения 24 сентября 2014 г. (пунктирные линии обозначают теоретические дифференциальные невязки времени запаздывания для фаз PKIIKP1 и PKIIKP2)*

Рассчитаны теоретические (синтетические) полноволновые сейсмограммы для различных моделей верхней части внутреннего ядра (рис. а) с использованием Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН. Создана база данных (http://doi.org/10.5281/zenodo.4409151) производных тензоров Грина для расчета теоретических сейсмограмм на сетке во внутреннем ядре с шагом по азимуту 0.2°, радиусу 20 км и минимальным периодом 1.2 с. База позволяет на бытовом компьютере рассчитывать сейсмограммы длительностью 1638 с, ядра чувствительности для различных (PKIKP, PKIIKP, PKPab, PKPc-dif и др) типов волн на расстояниях от 0 до 180° и оценивать размер и характеристики зон Френеля.

Использованы нелинейная инверсия и вероятностный метод определения глобального экстремума, ранее не применяемые на антиподальных эпицентральных расстояниях, для измерения дифференциальных невязок и амплитуд волны PKIIKP, отраженной от границы внутреннего ядра с внутренней стороны, по сейсмограммам одиночных станций на расстояниях 170-180° (рис. б).

Публикации:

1. *Krasnoshchekov D.* **Inner core scattering estimates inferred from PKiKP coda waves** // Тезисы доклада на Генеральную ассамблею Европейского геофизического союза 2020, 4 - 8 мая 2020 г., online https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-13416

2. *Усольцева О.А. , Овчинников В.М.* **Моделирование ядер чувствительности волн PKIKP, PKIIKP и PKPab на антиподальных расстояниях** // Динамические процессы в геосферах. Вып. 12: Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ИДГ РАН. С. 10–16, 2020. DOI: 10.26006/IDG.2020.41.61.019.

3. *Усольцева О.А. , Овчинников В.М.* **Особенности трубок чувствительности волн PKIKP и PKIIKP во внутреннем ядре Земли** // Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции (21–22 сентября 2020, г., Москва) / Под. ред. Вл. В. Воеводина. Москва. МАКС Пресс, 2020. с. 133–134. ISBN 978-5-317-06400-6, e-ISBN 978-5-317-06458-7.

№ 18-05-00923 **Определение возможности использования результатов регистрации параметров низкочастотного сейсмического фона для оценки напряженно-деформированного состояния разломной зоны** (рук. проекта к.ф.-м.н. А. Н. БЕСЕДИНА)

1. Выполнены натурные наблюдения на горнодобывающем предприятии АО «Комбинат КМАруда» с помощью малоапертурной сейсмической группы, установленной на глубине в шахте. Была проведена оценка очаговых параметров зарегистрированных сейсмических событий (рис. 1). Полученные значения магнитуд от –2,7 до –1,4 для событий с угловой частотой источника 126-760 Гц соответствуют радиусам очага в первые метры.

2. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния разломной зоны в горном массиве Коробковского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии, в том числе, с использованием результатов регистрации параметров сейсмического фона.

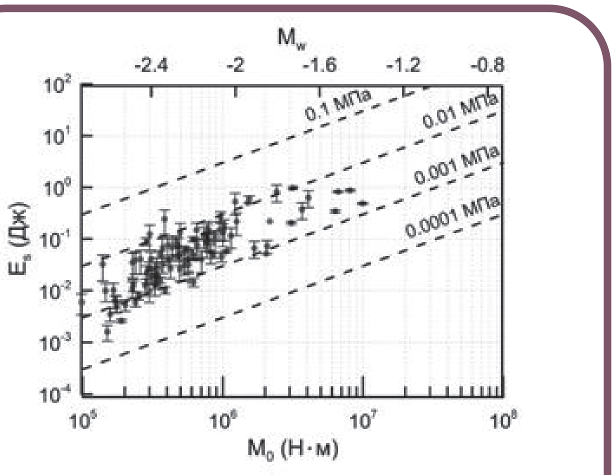


Рис. 1. *Излученная сейсмическая энергия E_s в зависимости от скалярного сейсмического момента M_0 (моментной магнитуды M_w). Уровни постоянного кажущегося напряжения σ_a показаны пунктирными линиями с учетом модуля сдвига 33 ГПа*

Использование кросс-корреляционного анализа позволяет оценить вариации скорости распространения сейсмических волн (рис. 2), которые рассматриваются как индикатор изменения напряженного состояния в среде.

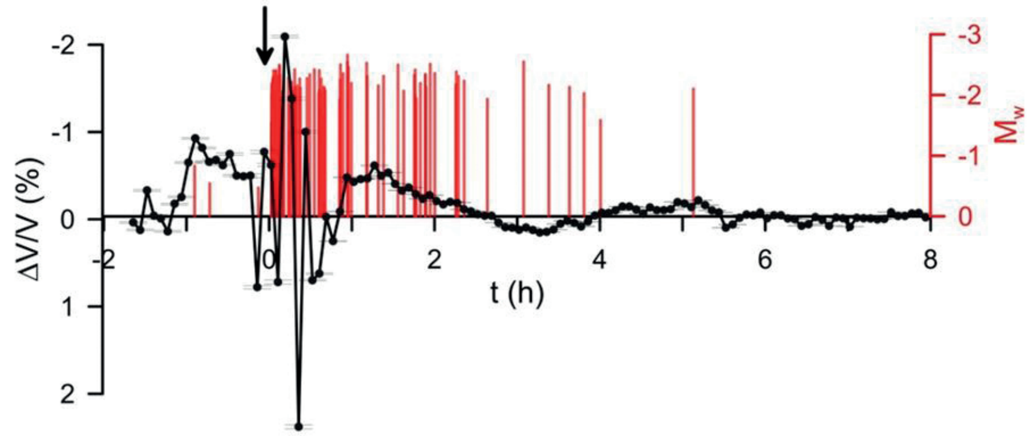


Рис. 2. *Изменения скорости распространения волны (точки), рассчитанные с помощью функции взаимной корреляции. Линии – зарегистрированные слабые сейсмические события, длина линии соответствует магнитуде M_w. Нулевая точка на оси времени и черная стрелка - момент взрыва*

Публикации:

1. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Волосов С.Г., Королев С.А.* **Инструментальная схема расширения частотных характеристик короткопериодных датчиков на примере сейсмометра СМ-3КВ** // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56. № 4. С. 29–42.

2. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Ряховский И.А.* **Анализ микросейсмического фона до и после сильных землетрясений на примере Чилийской зоны субдукции** // Физика Земли. 2020. № 2. С. 10–20.

3. *Besedina A.N.* (2020) **Study of microseismic ambient noise in mine of Korobkovskoe ore deposit**. AIP Conference Proceedings 2310, 020029 (2020). https://doi.org/10.1063/5.0034312.

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

Основные результаты 2020 г.:

1. Выполнены 2D и 3D численные расчеты влияния неоднородности фрикционных свойств на характеристики процесса скольжения.

2. Сопоставление результатов аналитических и численных расчетов изменения поля статических напряжений в результате крупномасштабной выемки породы с результатами расчетов изменения поля напряжений в зоне афтершоков крупных землетрясений позволило очертить область параметров при которых возможно инициирование землетрясений горными работами.

3. Предложено эмпирическое соотношение, связывающее характерный размер D области, трактуемой как «asperity», и величину скалярного сейсмического момента землетрясения в широком диапазоне магнитуд.

4. Впервые зарегистрирован рой «медленных землетрясений» индуцированных горными работами.

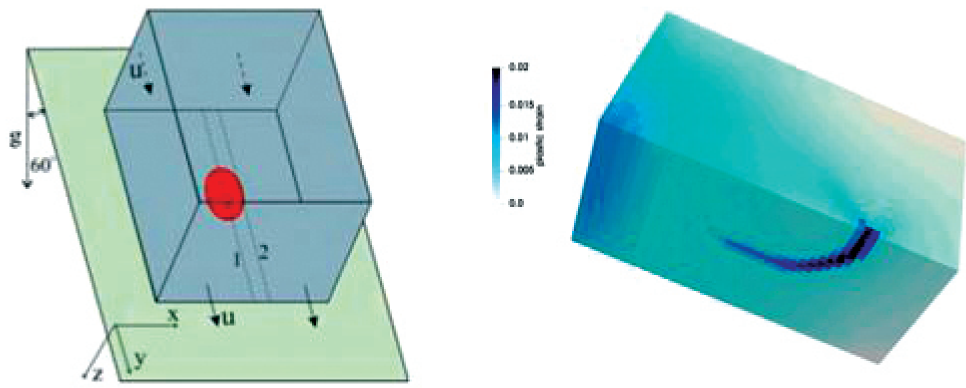


Рис. *Схема постановки расчета влияния неоднородности фрикционных свойств на характеристики процесса скольжения (слева) и распределение интенсивности сдвиговой пластической деформации в одном из вариантов расчета.*

В результате проведенных работ, расширена база данных параметров сейсмических и акустических колебаний от массовых взрывов. Эти данные направлены на достижение практической цели проекта – разработать предложения по оптимизации параметров буровзрывных работ с целью снижения негативных последствий сейсмического и акустического действия массовых взрывов на массивы горных пород, инфраструктуру, застройку и население регионов в окрестности карьеров и предприятий КМА.

Публикации:

1. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г.* **Параметры источников роя микросейсмических событий, инициированных взрывом на Коробковском железорудном месторождении** // Физика Земли, 2021, № 3.
2. *Kocharyan, G.G., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V.* **Fault Sliding Modes - Governing, Evolution and Transformation**. In: Ostermeyer GP., Popov V.L., Shilko E.V., Vasiljeva O.S. (eds) Multiscale Biomechanics and Tribology of Inorganic and Organic Systems. Springer Tracts in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60124-9_15 .
3. *Stefanov Yu. P., Bakeev R.A., Kocharyan G.G.* **Block displacement in the presence of a friction spot**. AIP Conference Proceedings, 2020, 020326.
4. *Беседина А.Н., Павлов Д.В. Шарафиев З.З.* **Инициирование оползня сейсмическими колебаниями** // Процессы в геосредах. 2021, № 1.

№ 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)

Проект направлен на решение фундаментальной научной задачи – исследование механизмов взаимосвязанных процессов в ионосфере, атмосфере и литосфере Земли, вызванных как природными, так и техногенными воздействиями. В 2020 г. на примере пяти сейсмических событий показаны закономерности формирования атмосферных и геомагнитных эффектов удаленных землетрясений и зависимость времени их появления от расстояния до сейсмического источника

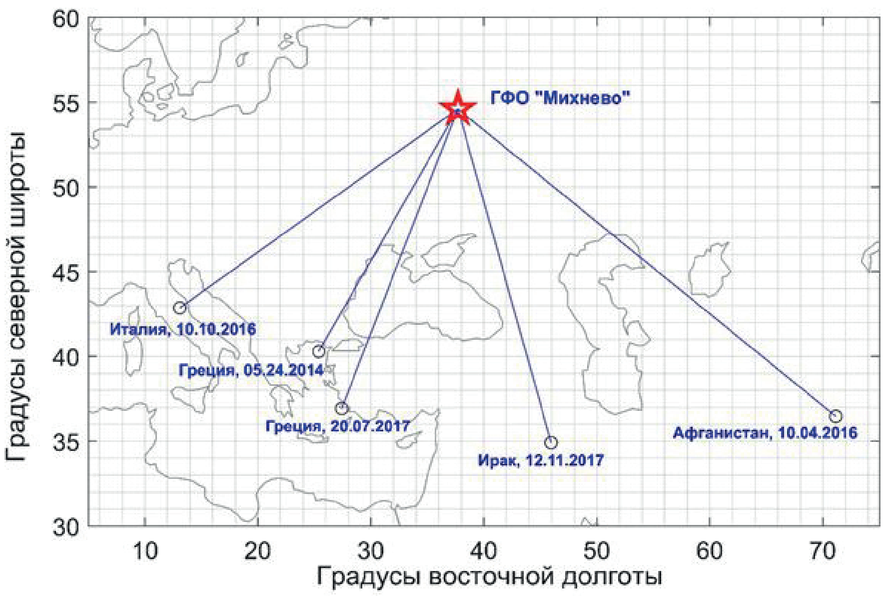


Рис. 1. *Расположение ГФО «Михнево» и исследованных землетрясений*

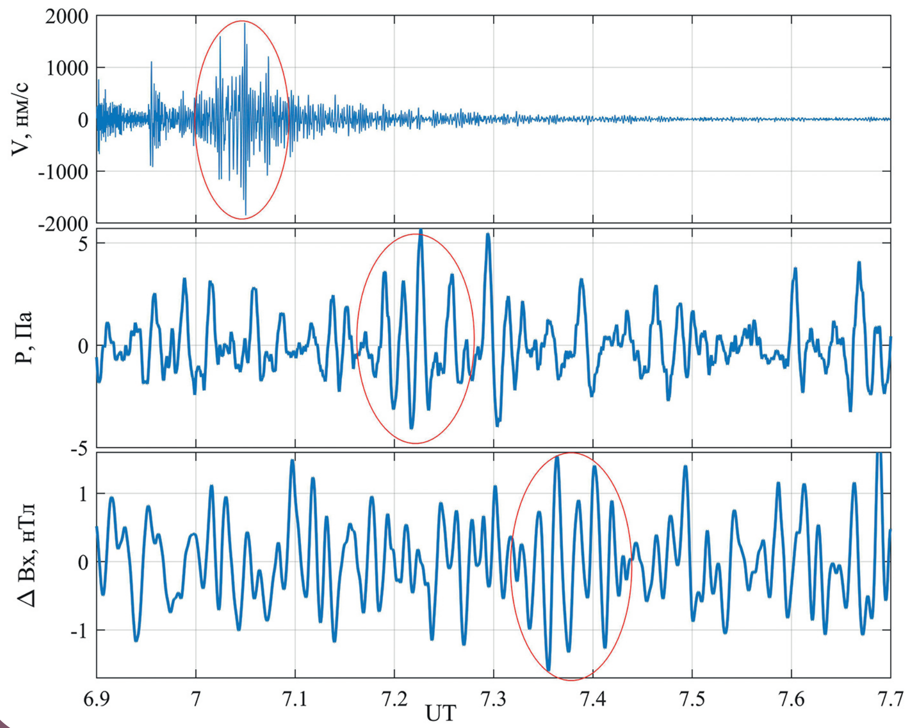


Рис. 2. *Сейсмические и акустические колебания и вариации геомагнитного поля во время землетрясения в Греции 24.05.2014 г.*

Публикации:

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

№ 19-05-00809-а **Механизм деформирования флюидонасыщенного коллектора при сейсмическом воздействии по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод**
(рук. проекта к.ф.-м.н. Э. М. ГОРБУНОВА)

В рамках проекта обработаны экспериментальные данные, полученные при проведении прецизионного мониторинга уровня подземных вод в наблюдательных скважинах, расположенных на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» и вблизи г. Губкин Белгородской области (рис. 1). Выполнена оценка амплитудно-частотных характеристик водонасыщенного коллектора в напорных и безнапорных условиях. Проведен сравнительный анализ фоновых среднемесячных значений амплитуд объемной деформации и откликов уровня подземных вод с параметрами выделенных полусуточных и суточных приливных волн. Установлена зависимость между реакцией водонасыщенных коллекторов и массовой скоростью сейсмических волн от взрывов, проводимых в процессе разработки железорудного месторождения на приведенных расстояниях 60-400 м/кг$^{1/3}$ (рис. 2). Подобные закономерности увеличения давления флюида и амплитуд гидрогеологических откликов отмечены на приведенных расстояниях 0.7-20 м/кг$^{1/3}$ при катастрофических землетрясениях и крупномасштабных взрывах.

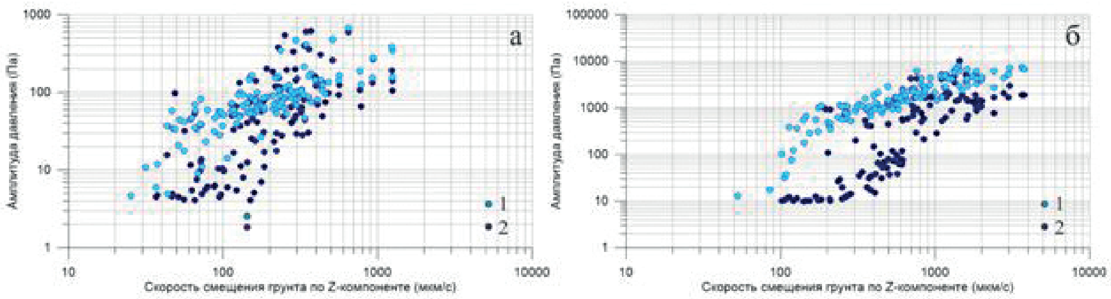


Рис. 1. *Зависимость между изменением давления воды в нижнем (1) и верхнем (2) горизонте и скоростью смещения грунта в диапазонах 1-10 (а) и 10-100 Гц (б) при проведении массовых взрывов в шахте*

Публикации:

1. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Динамическое деформирование флюиднасыщенных коллекторов по данным прецизионного гидрогеологического мониторинга на территории геофизической обсерватории «Михнево»** // Процессы в геосредах. 2020. № 4 (26). С. 867–876.
2. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Реакция водонасыщенных коллекторов на проведение массовых взрывов** // Динамические процессы в геосферах. Вы. 12: Сборник научн. тр. ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2020. С. 36–45. DOI: 10.26006/IDG.2020.77.82.005.
3. *Gorbunova E., Besedina A.* **Study of the hydrogeological responses to mass explosions during mining at the iron ore deposit**. EGU2020-21353.
4. *Kabychenko N.V., Gorbunova E.M., Besedina A.N.* S**tudy of Amplitude-Frequency Characteristics of Water-Saturated Collector.** AIP Conference Proceedings. 2020. 2310, 020128. https://doi.org/10.1063/5.0034394.

Рис. 2. *Оборудование пунктов измерений при проведении экспедиционных работ вблизи г. Губкин Белгородской области.*
На фото: *аспирант 2-го года обучения София ПЕТУХОВА*

№ 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 Ситовском карьере. Разработана оригинальная система регистрации концентрации частиц на основе лазерного датчика твердых частиц Sensirion SPS30, способного измерять не только массовую, но и счетную концентрацию частиц диапазона от 0,3 до 10 мкм с частотой 1 Гц. Такая достаточно высокая частота опроса измерительного тракта позволила зарегистрировать изменение концентрации мелкодисперсных частиц при прохождении пылегазового облака взрыва массового взрыва на Ситовском карьере.

На основе данных синхронных натурных наблюдений за концентрацией твердых частиц в атмосфере и напряженностью электрического поля в г. Москве (Центр геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН) и Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН, расположенной вне зоны влияния мегаполиса, разработан новый метод оценки загрязнения атмосферы мегаполиса на основе анализа электрических характеристик приземной атмосферы.

Разработана оригинальная теоретическая модель развития пылегазового облака крупномасштабных промышленных взрывов, позволяющая численно моделировать газодинамические процессы от момента подрыва ВВ до стадии его зависания в стратифицированной атмосфере для одиночных взрывов с эквивалентной массой 1-1000 т.

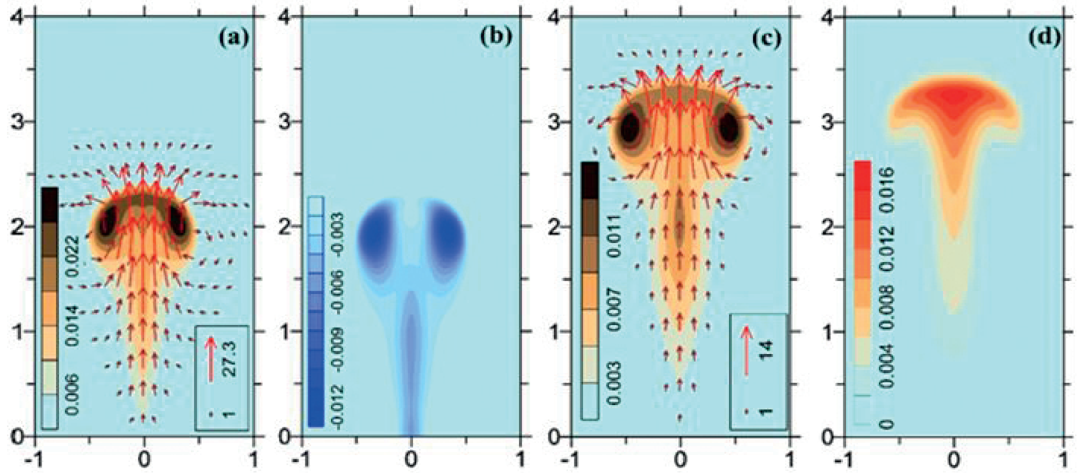


Рис. *Взрыв массой 500 т.*
Распределения плотности примеси в сопоставлении с полем скорости (a, c) и плавучести (b, d) в радиальном сечении газопылевого облака в моменты времени 2 и 4 минуты (панели (a, b)и (c, d) соответственно). Синим цветом отмечены области с положительной плавучестью, красным – с отрицательной. Максимальные значения скорости в [м/с] *приведены в прямоугольниках. Расстояния по осям – в километрах*

Определены простые соотношения, позволяющие оценить размеры облака в указанном диапазоне энергий взрыва к моменту его зависания Полученные результаты важны для расчета последующей дисперсии пыли в поле ветра и оценки загрязнения приземных слоев атмосферы в окрестности карьеров.

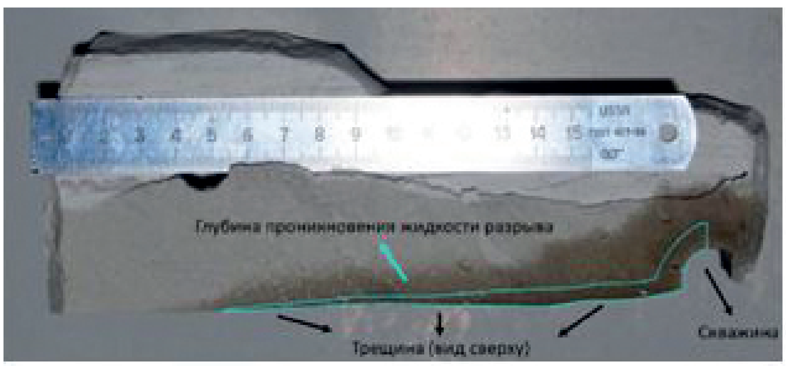
Публикации:

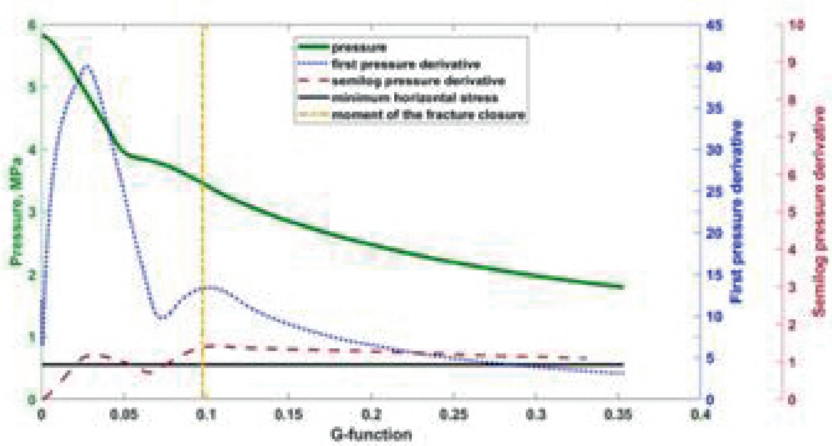
1. *Khazins, V.M.; Shuvalov, V.V.; Soloviev, S.P.* **Numerical Modeling of Formation and Rise of Gas and Dust Cloud from Large Scale Commercial Blasting** // *Atmosphere.* 2020. Vol. 11. Issue 10. P. 1112. https://doi.org/10.3390/atmos11101112

2. *Адушкин В.В., Соловьев С.П., Спивак А.А., Хазинс В.М.* **Геоэкологические последствия проведения горных работ на карьерах с применением взрывных технологий** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 2. С. 164–178. DOI: 10.15372/FTPRPI20200219.
3. *Adushkin V.V., Solov'ev S.P., Spivak, A.A., Khazins V. M.* **Open Pit Mining with Blasting: GeoEcological Aftermath** // J. Min. Sci. 2020. Vol. 56, P. 309–321. https://doi.org/10.1134/S1062739120026794.
4. *Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* **Аэрозольное загрязнение мегаполиса и возмущения атмосферного электрического поля** // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19. № 2. С. 5–18. DOI: 10.21455/gpb2020.2-1.
5. *Krasheninnikov A.V., Loktev D.N., Soloviev S.P.* **Megacity Aerosol Pollution and Atmospheric Electric Field Disturbances** // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2020. Vol. 56, P. 759–772. https://doi.org/10.1134/S0001433820080046

№ 20-35-80018 мол_эв_а **Учёт фильтрационных процессов при определении величин тектонических напряжений в нефтенасыщенных коллекторах по данным гидроразрыва пласта**
(рук. проекта м.н.с. М. А. ТРИМОНОВА)

Предложена модификация широко используемой методики определения минимального тектонического напряжения по данным гидроразрыва пласта на основании G-функции. Показана необходимость учета дополнительных сжимающих напряжений (back-stress), вызванных диффузией давления жидкости разрыва из трещины в породу. Получено экспериментальное подтверждение влияния граничных условий на величину обратного напряжения: при распространении вертикальной трещины в пласте, ограниченном с двух сторон непроницаемыми слоями горной породы, обратное напряжение увеличивается в два раза. Новая методика успешно верифицирована на экспериментальных данных.





Фотография образца после ГРП; кривая изменения давления закачки; определение минимального напряжения с помощью G- функции

Публикации:

1. *Novikova E., Trimonova M.* **Calculation of minimum stress in mini hydraulic fracturing experiments and consideration of the effect of back stress**. The AGU Fall Meeting. 2020. https://agu.confex.com/agu/fm20/meetingapp.cgi/Paper/736587.

<u>№ 20-35-80028</u> **Исследование движение проппанта в трещине гидроразрыва пласта под действием фильтрационных сил (физический эксперимент)**

(рук. проекта к.ф.-м.н. А. А. ТАИРОВА)

Для определения условий образования трещины ГРП при влиянии сил трения пласта о непроницаемые кровлю и подошву была создана оригинальная экспериментальная установка. Моделями нефтяных массивов выбраны листы сжимаемого и проницаемого поролона, которые располагаются между плоскими и прозрачными стеклами, имитирующими непроницаемые кровлю и подошву пласта. С целью исключить поглощение энергии потока жидкости на разрыв тела пласта делается сквозной разрез на всю его длину.

Основным параметром, определяющим образование трещин, является степень деформации пласта. Данный параметр, полученный экспериментальным путем, сопоставим с теоретическими оценками. Опытным путем были измерены механические параметры свойств пористых сред представленных в экспериментах. Были выявлены условия образования трещин при влиянии сил трения пористого материала о поверхность ячейки, степень деформации пласта. Эксперименты показали, что в сжимаемой проницаемой среде из-за влияния сил трения образуется устойчивая трещина, которая не требует закрепления. В случае, когда силы упругости превосходят силы трения, трещина, образованная под действием силы давления жидкости, после остановки потока смыкается. Получено, что процесс изменения со временем скорости распространения трещины носит неустойчивый, колебательный характер.

Результаты данного исследования и знание механических параметров породы позволят в дальнейшем более точно прогнозировать геометрию трещины.

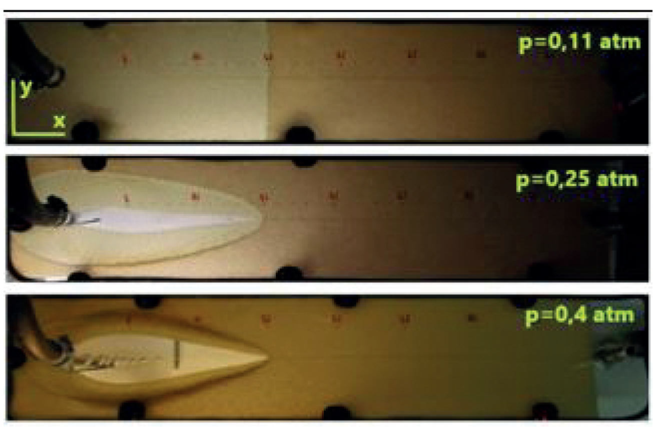


Рис. *Образование и развитие трещины при различных нагнетаемых давлениях*

Публикации:

1. *Belyakov G.V., Tairova A.A. , Iudochkin N.A.* **Formation and propagation of a hydraulic fracture. Physical experiment**: Сборник материалов шестой международной научной конфереции-школы молодых ученых «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах москва», ИПМЕХ РАН, 21-23 октября 2020, с. 14–16.

2. *Беляков Г.В., Таирова А.А., Юдочкин Н.А., Молокоедов А.С.* **Образование и распространение ГРП в градиентном фильтрационном поле**: ТРУДЫ VII Российской конференции «Многофазные системы: модели, эксперимент, приложения», посвященной 80-летию академика РАН Р. И. Нигматулина, Уфа, 5–10 октября 2020 г. С. 16–17. DOI:10.21662/mfs2020.1

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

Основное направление исследований - определение закономерностей динамического деформирования флюидонасыщенных коллекторов при прохождении сейсмических волн от разных типов источников - природных и техногенных

Для достижения заявленной цели проводится обобщение и систематизация опубликованных результатов обработки гидрогеологических откликов на региональные и локальные землетрясения. Продолжается формирование единой базы сейсмических, барометрических и гидрогеологических данных по регистрации землетрясений на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» и промышленных взрывов в пределах горнодобывающего предприятия АО «Комбинат КМА-руда» .

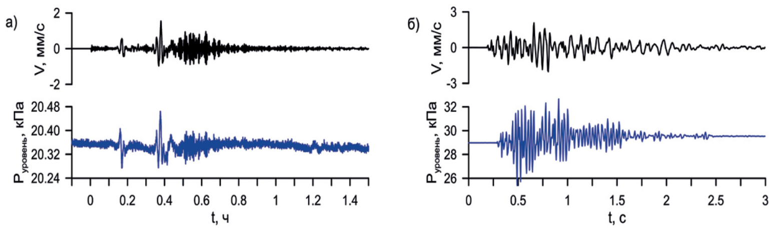


Рис. *Сейсмограммы (верхний ряд) и гидрогеологические отклики (нижний ряд), зарегистрированные при (а) землетрясении 11.04.2012* M_w *8.6 вблизи Северной Суматры на территории ГФО «Михнево» и (б) взрыве в шахте им. Губкина 18.04.2020 г. на приведенном расстоянии 68 м/кг*$^{1/3}$ *на площадке АО «Комбинат КМА-руда» (Белгородская область)*

Выполняется комплексный анализ полученных экспериментальных данных с учетом параметров сейсмических событий. При прохождении сейсмических волн от землетрясений и взрывов наряду с косейсмическими вариациями уровня подземных вод отмечены постсейсмические эффекты, которые могут свидетельствовать об изменении фильтрационных свойств флюидонасыщенных коллекторов.

Публикации:

1. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Исследование динамического деформирования флюидонасыщенных коллекторов по данным прецизионного гидрогеологического мониторинга на территории геофизической обсерватории «Михнево»**: Сборник трудов конференции «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах. Шестая международная научная конференция-школа молодых ученых». М. : Принт Про. 2020. С. 57–60.

2. *Петухова С.М.* **Влияние экзогенных факторов на гидрогеологическую обстановку (на примере ГФО «Михнево»** // Процессы в геосредах. 2020. № 2 (24). С. 710–717.

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

Настоящий проект направлен на разработку методики оценки неоднородности пространственного распределения структурных и фрикционных свойств модельного разлома и влияния свойств на динамику деформирования разлома. В рамках проекта планируется подготовка диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, содействие в трудоустройстве и закрепление молодых ученых в российских научных организациях

Установление закономерностей формирования, инициирования и трансформации различных режимов деформирования разломов земной коры является критически важным при решении многих фундаментальных и прикладных задач геомеханики, сейсмологии и горных наук. В настоящее время не существует моделей активного разлома, объясняющей весь спектр деформационных явлений, приуроченных к зонам разломов, и их пространственно-временную эволюцию. Применение новых методов интеллектуального анализа данных при решении вопросов геомеханики разломов позволит существенно улучшить наше понимание механики формирования и инициирования различных динамических событий на разломах.

№ 20-55-53031 _ГФЕН **Экспериментальное исследование эволюционного механизма разрушения геоматериала на основе комплексной сейсмоакустической и электромагнитной информации**
(рук. проекта д.ф.-м.н. Г. Г. КОЧАРЯН, рук. китайской части HONGWEN JING (The State Key Lab for Geomech. and Deep Underground Eng))

Основные результаты этапа 2020-2021 гг.:
1. Разработана, создана и введена в эксплуатацию новая уникальная лабораторная установка для моделирования динамики скольжения по разлому. В тестовых сериях экспериментов был реализован режим регулярного прерывистого скольжения, моделирующий в лаборатории циклический процесс подготовки тектонических землетрясений.
2. На основе анализа и обобщения наблюдательных данных, определены основные триггеры крупных землетрясений, индуцированных техногенной деятельностью, очаги которых расположены на глубине свыше 2-3км.
3. Выполнены лабораторные эксперименты, направленные на исследование закономерностей сейсмоакустической эмиссии при скольжении блока по поверхности с гетерогенной структурой. Полученные в ходе проведения экспериментов данные доступны на ресурсе (http://dx.doi.org/10.17632/kykwmjmpgf.3).
4. В серии численных расчетов исследованы закономерности взаимного влияния режимов скольжения, реализующихся на различных участках гетерогенного разлома.

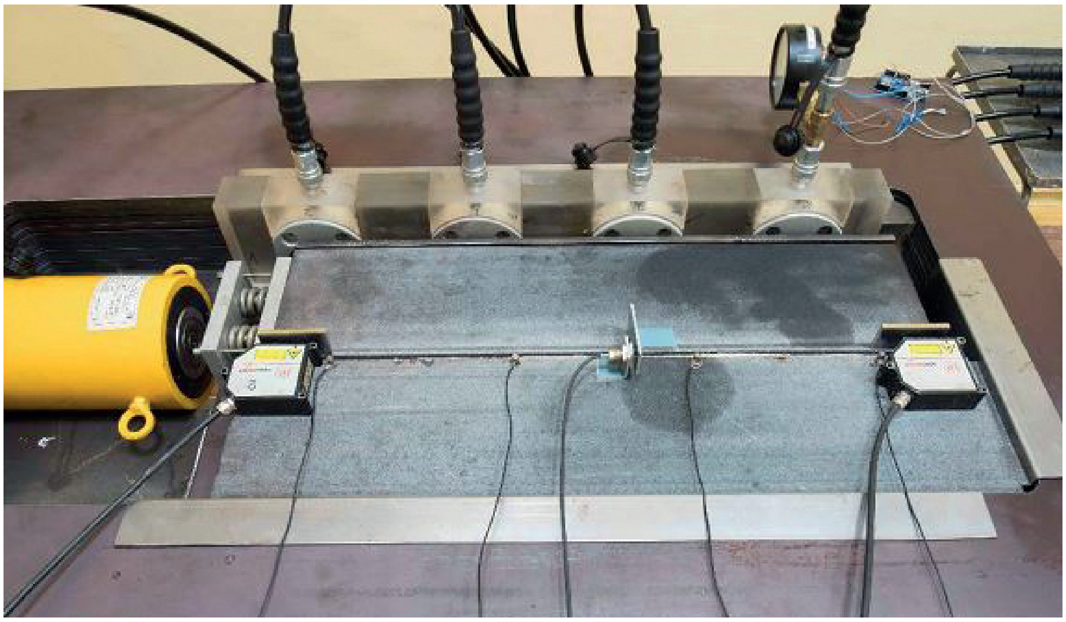


***Фото**: вид установка для моделирования различных режимов скольжения по разлому*

Публикации:

1. *Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б.* **Физическая мезомеханика очага землетрясения** //
Физическая мезомеханика 2020. V. 23 № 6, с. 9–24. DOI 10.24411/1683-805X-2020-16001.
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 (принята к публикации)
3. *Kocharyan G., Qi C., Kishkina S., Kulikov V.* **Potential triggers for large earthquakes in open-pit mines: A case study from Kuzbass, Siberia** // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering (на рассмотрении)

ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОГОВОРЫ

1. № ЛГ-192911 **Исследование сейсмического и акустического действия массовых взрывов, 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).
2. № 05/2019-1277/2019 **Исследование сейсмического действия массовых взрывов, на застройку города Губкина.** Заказчик ООО «Комбинат КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
3. № МГ-200032 **Мониторинг и обеспечение сейсмической и акустической безопасности массовых взрывов в карьере ПАО «Михайловский ГОК».** Заказчик ПАО «Михайловский ГОК» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
4. № 01/20 **Исследование сейсмического действия массовых взрывов в карьере АО «Стагдок» на населенные пункты (с. Воскресеновка и с. Введенка Липецкого района Липецкой области) для обеспечения сейсмической и акустической безопасности населенных пунктов**. Заказчик АО «СТАГДОК» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
5. № 03/2019-1252/2019 **Исследование детонационных процессов во взрывчатых веществах.** Заказчик ООО «Комбинат КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).
6. №0320/Э **Экспертиза отчетов по теме «О сейсмической обстановке Севера, о. Сахалин».** Заказчик ООО «Геофизтех» (отв. к.ф.-м.н. Д. Н. ЛОКТЕВ).
7. №1 **Оценка воздействия горных работ, проводимых на угольных разрезах Горловского бассейна, на сейсмичность Искитимского района (Новосибирская область)**. Заказчик АО «Сибантрацит» (отв. к.ф.-м.н. В. И. КУЛИКОВ).

Интеграция науки и образования

Одним из приоритетных направлений деятельности Института динамики геосфер РАН является подготовка высококвалифицированных кадров и привлечение талантливой молодежи в сферу науки. В Институте активно поддерживаются молодые ученые в их стремлении к творческому росту и достижению конкретных научных результатов. Работа с молодыми исследователями ведется в следующих направлениях: базовая кафедра, ведущая научная школа «Геомеханика: механика природных объектов с неоднородной структурой», аспирантура

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

В Институте динамики геосфер РАН на протяжении более полувека действует базовая кафедра МФТИ «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем». Возглавляет кафедру директор ИДГ РАН, д.ф.-м.н. С. Б. ТУРУНТАЕВ. Свои лекции и практикум проводят ведущие ученые Института, включая 7 докторов и 15 кандидатов наук.

Кафедра готовит бакалавров и магистров по направлению **«03.04.01 – прикладная математика и физика».**

В рамках учебного процесса бакалавры, магистры и аспиранты МФТИ получают новые знания в направлениях физики ионосферы, физики метеорных явлений, сейсмологии, геомеханики, приповерхностной геофизики, осваивают современные методы обработки геофизических данных и компьютерное моделирование в геофизике, получают опыт выполнения исследований в научных группах.

В 2020/21 учебном году на кафедре обучается 18 студентов 3-6 курсов и 4 аспиранта. Студенты кафедры принимают активное участие в текущей научно-исследовательской работе Института. В 2020 г. в соавторстве со студентами опубликовано 3 статьи и получено 3 патента.

Студенты кафедры постоянно участвуют в студенческих, всероссийских и международных научных конференция. В 2020 году ими было представлено 7 устных и стендовых докладов.

В 2020 году в рамках 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ было организовано заседание секции «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем». Студенты МФТИ и молодые сотрудники ИДГ РАН подготовили и представили 6 докладов.

*В 2020 году научные исследования студентов и сотрудников кафедры были поддержаны **грантами: РНФ – 2 и РФФИ – 4.***

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 РАН 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.**

Руководят аспирантами как Института динамики геосфер РАН, так и Московского физико-технического Института ведущие научные сотрудники ИДГ РАН.

В 2018/19 учебном году в аспирантуре ИДГ РАН обучается 12 аспирантов. Кроме того, ведущие сотрудники Института являются научными руководителями 3 аспирантов базовой кафедры МФТИ.

В 2019 году в аспирантуре обучались экстерны Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли и Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станция Российской академии наук в г. Бишкеке. В результате обучения каждый экстерн успешно защитил кандидатскую диссертацию на базе ИДГ РАН.

Совет молодых ученых

Активную роль в жизни Института играет Совет молодых ученых. С каждым годом число молодых исследователей постоянно растет. При поддержке Совета молодых ученых организован доступ Института к сервисам размещения вакансий и поиска сотрудников: HH.ru и Факультетус . Проводится активное сотрудничество с олимпиадой «Я – профессионал».

Молодые ученые участвуют в исследованиях всех научных направлений Института. В 2020 г. при непосредственном участии молодых исследователей было опубликовано 32 публикации и сделано более 40 устных и стендовых выступлений на российских и международных конференциях. Совет молодых ученых содействовал проведению заседания секции Теоретической и экспериментальной физики геосистем 63-ей Всероссийской научной конференции МФТИ.

Исследования молодых ученых поддерживаются многочисленными грантами научных фондов. В 2020 г. молодые ученые выиграли один молодежный грант «мол-а» и два гранта «аспирантура» Российского фонда фундаментальных исследований, а также один грант Президентской программы Российского научного фонда

Молодые ученые активно занимаются преподавательской деятельностью. Был разработан новый образовательный курс «Экспериментальный практикум по геофизике» для программы бакалавриата МФТИ. Молодые ученые являются научными руководителями двух магистерских и 3 бакалаврских работ.

Сформированная в Институте система научных ценностей и высокая мотивация молодых ученых дают широкий простор для творчества и самореализации молодым исследователям.

На фото: *Зульфат ШАРАФИЕВ (слева) аспирант 2-го года обучения, научный руководитель д.ф.-м.н. Г.Г. КОЧАРЯН – прокладка шурфа (прослеживание зоны контакта интрузивного массива); справа – установка деформометра для проведения мониторинга состояния разломной зоны*

На фото – *Рекогносцировка обнажений в зоне влияния Приморского разлома. (слева-направо) – аспирант 2-го года обучения (научный руководитель к.ф.-м.н. А. А. ОСТАПЧУК) Ксения МОРОЗОВА, к.ф.-м.н. Э. М. ГОРБУНОВА, аспирант Зульфат ШАРАФИЕВ, к.геол.-мин.наук, старший научный сотрудник ИГЕМ РАН А. В. ГРИГОРЬЕВА, А. А. ОСТАПЧУК*

Патентно-лицензионная деятельность

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 200198

Устройство для коррекции частотной характеристики датчика

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН) (RU)*

Авторы: *Кабыченко Николай Васильевич (RU), Беседина Алина Николаевна (RU), Павлов Дмитрий Вячеславович (RU), Шарафиев Зульфат Забирович (RU)*

Заявка № 2020100103

Приоритет полезной модели 09 января 2020 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 12 октября 2020 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 09 января 2030 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ

Авторы: к. ф.-м. н. Э.М. ГОРБУНОВА, к.ф.-м.н. А.Н. БЕСЕДИНА, И.В. БАТУХТИН, С.М. ПЕТУХОВА

1. № 2020620930 от 05.06.2020 **Синхронные сейсмические, гидрогеологические и барометрические измерения при проведении массовых взрывов на железорудном месторождении КМ.**

Авторы: д.ф.-м.н. Б.Г. ГАВРИЛОВ, к.ф.-м.н. Ю.В. ПОКЛАД, к.ф.-м.н. И.А. РЯХОВСКИЙ, В.М. ЕРМАК, к.ф.-м.н. С.З. БЕККЕР

1. № 2020621192 от 15.07.2020 **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО Михнево в 2014 году.**
2. № 2020621321 от 30.07.2020 **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО Михнево в 2015 году.**
3. № 2020621688 от 16.09.2020 **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО Михнево в 2016 году.**
4. № 2020621742 от 24.09.2020 **База данных наземных измерений амплитудно-фазовых характеристик сигналов СДВ диапазона, принятых в ГФО Михнево в 2017 году.**

Авторы: д.ф.-м.н. И.А. САНИНА, М.А. НЕСТЕРКИНА, Н.Л. КОНСТАНТИНОВСКАЯ, Т.В. ДАНИЛОВА, С.Г. ВОЛОСОВ

1. № 2020622448 от 30.11.2020 **Мониторинг сейсмических событий Центральной части Восточно-Европейской платформы по данным малоапертурной группы «Михнево» в 2018 году.**
2. № 20206223 3 7 от 19.11.2020 **Каталог промышленных взрывов, зарегистрированных геофизической обсерваторией ИДГ РАН «Михнево» в 2018 году.**

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

3. № 2020622510 от 04.12.2020 **Мониторинг сейсмических событий Центральной части Восточно-Европейской платформы по данным временной сети широкополосных сейсмических станций ИДГ РАН в 2019 году.**

Публикационная деятельность

В 2020 г. изданы

МОНОГРАФИИ

1. *Адушкин В.В., Рыбнов Ю.С., Спивак А.А.* **Инфразвук в атмосфере**. М. : ТОРУС ПРЕСС, 2020. 332 с.: ил. ISBN 978-5-94588-281-2.

2. *Ivanov B.A.* (2020) **Chapter 6**: **Asteroid Impacts and Their Geological Consequences (**Pages 169-182). **Chapter 7: Modeling of the Impact Structure Origin** (Pages 183-210). In The Puchezh-Katunki Impact Crater. Impact Studies. Masaitis V., Naumov M. (eds). Springer Nature Switzerland AG 2020 , print ISBN 978-3-030-32042-3; online ISBN 978-3-030-32043-0. Cham, Switzerland, https://doi.org/10.1007/978-3-030-32043-0_6 and https://doi.org/10.1007/978-3-030-32043-0_7

3. *Перунов Ю.М., Куприянов А.И.* **Методы и средства радиоэлектронной борьбы**. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. 376 с. : ил., табл.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Динамические процессы в геосферах. Вып. 12: сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : ИДГ РАН. 2020. – 172 с. : ил. ISSN 2222-8535

ПУБЛИКАЦИИ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ

1. *Авдеева Л.И., Александрова Л.И., Алёшина Е.И., Асминг В.Э., Баранов С.В., Белевская М.А., Верхоланцев Ф.Г., Волосов С.Г., Габдрахманова Ю.В., Габсатарова И.П., Гилёва Н.А., Гоев А.Г., Голубева И.В., Гусева Н.С., Данилова Т.В., Денега Е.Г., Денисенко Г.А., Ежов В.А., Еманов А.А., Зверева А.С. и др.* **Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах. В сборнике: Землетрясения России в 2018 году.** Обнинск, 2020. С. 183–192. ISSN 1819-852X.

2. *Адушкин В.В., Соловьев С.П., Спивак А.А., Хазинс В.М.* Геоэкологические последствия проведения горных работ на карьерах с применением взрывных технологий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 2. С. 164–178.

3. *Адушкин В.В., Нифадьев В.И., Чен Б.Б., Попель С.И., Когай Г.А., Дубинский А.Ю., Вайдлер П.Г.* **Характеристики внутренних гравитационных волн и предупреждение землетрясений** // Доклады РАН. 2020. Т. 493. № 2. С. 74–77.

4. *Адушкин В.В., Варыпаев А.В., Кушнир А.Ф., Санина И.А.* **Идентификация наведенной сейсмичности в разломной зоне Коробковского месторождения КМА по наблюдениям малоапертурной сейсмической группой** // Доклады РАН: Науки о Земле. 2020. Т. 493. № 1. С. 78–82.

5. *Аксенов О.Ю., Козлов С.И., Ляхов А.Н., Трекин В.В., Перунов Ю.М., Якубовский С.В.* **Анализ прикладных моделей ионосферы для расчета распространения радиоволн и возможность их использования в интересах радиолокационных средств:** I. Классификация прикладных моделей и основные требования, предъявляемые к ним в интересах радиолокационных систем // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. № 11. С. 86–96.

6. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Динамическое деформирование флюиднасыщенных коллекторов по данным прецизионного гидрогеологического мониторинга на территории геофизической обсерватории «Михнево»** // Процессы в геосредах. 2020. № 4 (26). С. 867–876.

7. *Беседина А.Н., Павлов Д.В., Шарафиев З.З.* **Инициирование оползня сейсмическими колебаниями** // Процессы в геосредах. 2020. № 4 (26).

8. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* **Характеристики слабой сейсмичности, индуцированной горными работами на Коробковском месторождении Курской магнитной аномалии** // ФТПРПИ. 2020. № 3. https://doi.org/10.15372/FTPRPI20200302.

9. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Ряховский И.А.* **Анализ микросейсмического фона до и после сильных землетрясений на примере Чилийской зоны субдукции** // Физика Земли. 2020. № 2. С. 10–20.

10. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Волосов С.Г., Королев С.А.* Инструментальная схема расширения частотных характеристик короткопериодных датчиков на примере сейсмометра СМ-3КВ // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 4. С. 29–42.

11. *Гаврилов Б.Г., Ермак В.М., Ляхов А.Н., Поклад Ю.В., Рыбаков В.А., Ряховский И.А.* **Восстановление параметров среднеширотной нижней ионосферы при солнечных вспышках М- и Х-классов** // Геомагнетизм и аэрономия. Том 60, № 6, 2020. P. 762–768.

12. *Габсатарова И.П., Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Дягилев Р.А., Карпинский В.В., Конечная Я.В., Мехрюшев Д.Ю., Надёжка Л.И., Нестеренко М.Ю., Носкова Н.Н., Петров С.И., Пивоваров С.П., Пойгина С.Г., Санина И.А.* **Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь** // Землетрясения России в 2018 году. Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2020. С. 25–32. ISSN 1819-852X.

13. *Глазачев Д.О., Подобная Е.Д., Попова О.П., Светцов В.В., Шувалов В.В* **Аппроксимационные соотношения для эффектов излучения от больших метеорных взрывов и небольших кратерообразующих импактов** // Научные труды Института астрономии РАН. 2020. Т. 5. № 2. С. 56–60.

14. *Гоев А.Г., Волосов С.Г., Санина И.А., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А.* **Регистрационные возможности временной сейсмологической сети ИДГ РАН на ВЕП //** Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 2. С. 84–90. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.08.

15. *Гоев А.Г., Калинина Э.В.* **Определение параметров азимутальной упругой анизотропии верхней мантии центральной части Воронежского кристаллического массива** // Доклады РАН: Науки о Земле, 2020, том 494, № 2, с. 27–30. DOI: 10.31857/S2686739720100035.

16. *Ипатов С.И., Феоктистова Е.А., Светцов В.В.* **Количество объектов, сближающихся с Землей, и образование лунных кратеров в течение последнего миллиарда лет** // Астрономический вестник. 2020. Т. 54. № 5. С. 409–430.

17. *Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* **Аэрозольное загрязнение мегаполиса и возмущения атмосферного электрического поля** // Геофизические процессы и биосфера, 2020, т. 19, № 2, с. 5–18.

18. *Леонов М.Г., Кочарян Г.Г., Ревуженко А.Ф., Лавриков С.В*. Тектоника разрыхления: геологические данные и физика процесса // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. №3. С. 491–521.

19. *Непеина К.С., Ан В.А.* **PKPbc на трассе Невада – станция «МИРНЫЙ» (Антарктида)** // Вестник НЯЦ РК, вып. 3, 2020, с. 81–87.

20. *Непеина К.С., Ан В.А., Челюбеева Т.В.* **Площадка Балапан семипалатинского испытательного полигона – системы группирования «Ожерелье» обсерватории «Боровое»** // Вестник НЯЦ РК, вып. 3, 2020, с. 89–92.

21. *Петухова С.М.* **Влияние экзогенных факторов на гидрогеологическую обстановку (на примере ГФО «Михнево»)** // Процессы в геосредах. М. : Кватернион. 2020. № 2 (24). С. 710–717.

22. *Пустовалов А.А., Цветков Л.А.* **Высокообогащенный никель-63 и тритий – безальтернативная основа крупносерийного производства бета-вольтаических атомных батарей** // Нано и микросистемная техника, 2020. Том 22, № 1, с. 35–37.

23. *Рябова С.А.* **Оценка эффективности разных алгоритмов при определении магнитотеллурических передаточных функций** // Информатизация и связь. 2020. № 6. С. 68–70.

24. *Рябова С.А.* **Исследование вариаций параметров электрического поля в период магнитных бурь в 2018 г.** // Процессы в геосредах. 2020. № 4.

25. *Рябова С.А.* **Временные вариации магнитотеллурической функции (магнитного типпера) и их возможная связь с изменением уровня подземных вод** // Проблемы недропользования. 2020 Т. 2. № 25. С. 166–172, doi:10.25635/2313-1586.2020.02.166.

26. *Санина И.А., Волосов С.Г., Гоев А.Г., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А., Тарасов С.А.* **Точность локации эпицентров сейсмических событий по данным малоапертурной сейсмической группы «Михнево»: нужны ли дополнительные сейсмический станции?** // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 2. С. 48–60. DOI: 10.21455/gr2020.2-4.

27. *Санина И.А., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Габсатарова И.П.* **Распознавание природы сейсмических источников на Восточно-Европейской платформе, регистрируемых малоапертурной сейсмической группой «Михнево» на региональных расстояниях** // Сейсмические приборы. 2020. Т. 56, № 2. С. 56–76. https://doi.org/10.21455/si2020.2-5 PACS 91.30.Dk.
28. *Спивак А.А., Шалимов С.Л., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Об атмосферных проявлениях сильных землетрясений** // Физика Земли. 2020. № 4. С. 51–60, doi:10.31857/S0002333720040080.
29. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Соловьев С.П., Харламов В.А.* **Акустический, магнитный и электрические эффекты извержения вулкана Стромболи (Италия) в июле–августе 2019 г**. // Физика Земли. 2020. № 5. С. 117–130, doi:10.31857/S0002333720050129.
30. *Спивак А.А., Рябова С.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.* **Геофизические эффекты землетрясения 26.11.2019 г., Албания** // Доклады академии наук. 2020. Том 490. № 3. DOI: 10.7868/S2686739720030202.
31. *Тарасов С.А., Гоев А.Г., Волосов С.Г., Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Королев С.А.* **Уточнение скоростного разреза осадочной толщи методом Накамуры на новых сейсмических станциях ИДГ РАН** // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2, № 4. С. 43–50. https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.04.
32. *Тихоцкий С.А., Дубиня Н.В., Начев В.А.* **Новый подход к оценке физико-механических свойств донных отложений в ходе проведения пробоотбора //** Доклады Российской академии наук: Науки о Земле. 2020.
33. *Топоровский В.В., Кудряшов А.В., Самаркин В.В., Рукосуев А.Л., Никитин А.Н., Шелдакова Ю.В., Отрубянникова О.В.* **Исследование охлаждаемого деформируемого зеркала на пьезоактюаторах для коррекции атмосферных флуктуаций фазы** // Оптика атмосферы и океана. 2020. 33(9), с. 677–684.
34. *Тримонова М.А., Фасхеев И.О.* **Влияние пластических свойств на операцию гидроразрыва пласта** // Процессы в геосредах. 2020. № 2 (24), С. 732–737.
35. *Adushkin V.V., Kozlov S.I., Aksenov O.Y., Veniaminov S.S., Tyurenkova V.V.* The small orbital debris population and its impact on space activities and ECOLOGICAL SAFETY **//** Acta Astronautica. 2020. Vol. 176. p. 591–597.
36. *Adushkin V.V., Solov'ev S.P., Spivak A.A., Khazins V.M.* **Open Pit Mining with Blasting: GeoEcological Aftermath** // Journal of Mining Science. 2020. Vol. 56. P. 309–321. https://doi.org/10.1134/S1062739120026794.
37. *Alpatov V.V., Bekker S.Z., Kozlov S.I., Lyakhov A.N., Yakim V.V., Yakubovsky S.V.* **Analyzing existing applied models of the ionosphere to calculate radio wave propagation and a possibility of their use for radar-tracking systems. II. Domestic models** // Solar-Terrestrial Physics. 2020. №. 3. P. 60–66. https://doi.org/10.12737/stp-63202008.
38. *Borisov V.E., Zenchenko E.V., Kritsky B.V., Savenkov E.B., Trimonova M.A., Turuntaev S.B.* **Numerical simulation of laboratory experiments on the analysis of filtration flows in poroelastic media //** Herald of the Bauman Moscow State Technical University: Series Natural Sciences, Issue 88, 2020, Pages 16–31.
39. *Gavrilov B.G., Pilipenko V.A., Poklad Y.V., Ryakhovsky I.A.* **Geomagnetic effect of the Bering Sea meteoroid** // Russian journal of earth sciences, vol. 20, ES6009, (2020), doi:10.2205/2020ES000748.
40. *Galaktionov I., Sheldakova J., Nikitin A., Samarkin V., Parfenov V., Kudryashov A.* **Laser beam focusing through a moderately scattering medium using a bimorph mirrore** // Opt. Express. 2020. 28(25), pp.38061–38075.
41. *Gerke, K.M., Sizonenko, T.O., Karsanina, M.V., Lavrukhin, E.V., Abashkin, V.V., & Korost, D.V.* (2020**). Improving watershed-based pore-network extraction method using maximum inscribed ball pore-body positioning** // Advances in Water Resources, 140, 103576.
42. *Glazachev D.O., Podobnaya E.D., Popova O.P., Svetsov V.V., Shuvalov V.V.* **Scaling relations for the effects of radiation from large airbursts and small crater-forming impacts** // INASAN Science Reports. 2020. V. 5(2). P. 56–60.
43. *Ivanov B.A.* (2020). **Cratering.** https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190647926.013.7 (online).
44. *Kartashova A., Golubaev A., Mozgova A., Chuvashov I., Bolgova G., Glazachev D., Efremov V.* **Investigation of the Ozerki meteoroid parameters** // Planetary and Space Science, 2020, Volume 193, 105034. https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.105034.
45. *Kocharyan G.G., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V.* (2020) **Fault Sliding Modes — Governing, Evolution and Transformation**. In Multiscale Biomechanics and Tribology of Inorganic and Organic Systems / G.P. Ostermeyer, V.L. Popov, E.V. Shilko, O.S. Vasiljeva (eds). Springer, Tracts in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-60124-9_15.

46. *Kudryashov A., Rukosuev A., Nikitin A., Galaktionov I., Sheldakova J.* **Real-time 1.5 kHz adaptive optical system to correct for atmospheric turbulence** // Opt. Express 28(25), p.37546–37552, 2020.
47. *Kuzmicheva M.Y., and Ivanov B.A.* **Simulation of the Magnetic Anomaly Associated with a Complex Crater Using the Example of the Bosumtwi Crater** // Solar System Research, 2020. V. 54. № 5. P. 372–383, doi:10.1134/S0038094620050056.
48. *Losseva T.V., Popel S.I., and Golub' A.P.* **Dust Ion–Acoustic Shock Waves in Laboratory, Ionospheric, and Astrophysical Plasmas** // Plasma Physics Reports, 2020, Vol. 46, No. 11, p. 1089–1107. DOI: 10.1134/S1063780X20110045.
49. *Nepeina K.S., An V.A.* **Variations in P-wave Travel Times Based on a Digital Seismogram Dataset** // Acoustical Physics, 2020, Vol. 66, No. 6, p. 645–650. http://dx.doi.org/10.1134/S1063771020060068.
50. *Ostapchuk A.A., Morozova K.G.* **On the Mechanism of Laboratory Earthquake Nucleation Highlighted by Acoustic Emission** // Sci Rep, 10 (2020), 7245. DOI: 10.1038/s41598-020-64272-1.
51. *Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V., Gubanova A.* (2020). **Seismic-acoustics of a block sliding along a fault** // Pure and Applied Geophysics, doi: 10.1007/s00024-019-02375-1.
52. *Popova O.* **Chelyabinsk meteorite**. (2020). Oxford Research Encyclopedia of Planetary Science (reviewed, accepted)
53. *Riabova S.A., Spivak A.A.* **Remote response of an electric field and atmospheric current to strong earthquakes** // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 495. Part 1. P. 835–840, doi:10.1134/S1028334X20110124.
54. *Rukosuev A.L., Belousov V.N., Nikitin A.N., Sheldakova Yu.V., Kudryashov A.V., Bogachev V.A., Volkov M.V., Garanin S.G.,. Starikov F.A.* **Smart adaptive optical system for correcting the laser wavefront distorted by atmospheric turbulence** // Quantum Electronics 50 (8) 707–709 (2020). https://doi.org/10.1070/QEL17382.
55. *Svetsov V., Shuvalov V., Kosarev I.* (2020) **Formation of Libyan Desert Glass: Numerical simulations of melting of silica due to radiation from near-surface airbursts** // Meteoritics and Planetary Science. V. 55. Iss.4. P. 895–910.
56. *Shalimov S.L., Spivak A.A., Kharlamov V.A.* **Atmospheric pressure variations induced by the Tohoku earthquake** // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 490. Part 1. P. 28–30. DOI: 10.1134 /S1028334X20010109.
57. *Shuvalov V.V.* (2020) **Terrain Effect on Impact Cratering** // Solar System Research. V. 54. No. 2, p. 167–173. https://doi.org 10.1134/S0038094620020069.
58. *Spivak A.A., Shalimov S.L., Riabova S.A., Kharlamov V.A.* **Atmospheric manifestations of the strong earthquakes** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2020. Vol. 56. No. 4. P. 481–489. DOI: 10.1134/S1069351320040084.
59. *Spivak A.A., Riabova S.A.* **Acoustic, magnetic and electric effects of Stromboli volcano eruption, Italy, in July-August 2019** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2020. Vol. 56. No. 5. P. 708–720. DOI: 10.1134/S1069351320050122.
60. *Soloviev A.A., Kotov A.V., Perevalov S.E., Esyunin M.V., Starodubtsev M.V., Aleksandrov A.G., Galaktionov I.V., Samarkin V.V., Kudryashov A.V., Ginzburg V.N., Korobeinikova A.P., Kochetkov A.A., Kuz'min A.A., Shaikin A.A., Yakovlev I.V., Khazanov E.A.* **Adaptive system for wavefront correction of the PEARL laser facility** // Quantum Electronics. 2020. 50 (12) 1115–1122. https://doi.org/10.1070/QEL00000.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕОСФЕРАХ.
Выпуск 12 ИДГ РАН
М. : ИДГ РАН. 2020. –172 с. : ил

61. *Афанасьев В.Н., Печерникова Г.В.* **Расчёт доли захваченного в протолунный рой вещества при парных столкновениях планетезималей в случае больших скоростей удара во время формирования системы Земля-Луна**. С. 78–88. DOI: 10.26006/IDG.2020.91.90.001.
62. *Барышников Н.А., Шаяхметов Р.И., Зенченко Е.В., Турунтаев С.Б.* **Экспериментальное исследование нелинейности зависимости эффективной проницаемости от градиента давления в области малых скоростей фильтрации.** С. 26–35. DOI: 10.26006/IDG.2020.43.90.004.
63. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Реакция водонасыщенных коллекторов на проведение массовых взрывов.** С. 36–45. DOI: 10.26006/IDG.2020.77.82.005.
64. *Гридин Г.А., Григорьева А.В., Ружич В.В., Остапчук А.А.* **Выделение структурных особенностей центральной части тектонического разлома**. С. 45–52. DOI: 10.26006/IDG.2020.51.17.018.
65. *Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В., Шарафиев З.З.* **Лабораторное исследование устойчивости склона при импульсном динамическом воздействии** . С. 62–70. DOI: 10.26006/IDG.2020.61.73.008.

66. *Косарев И.Б., Лосева Т.В.* **Оптические свойства плазмы свинца.** С. 148–153. DOI: 10.26006/IDG.2020.34.18.007.
67. *Овчинников В.М, Тарасов С.А.* **О распознавании природы сейсмического источника на региональных расстояниях: наблюдения и численное моделирование.** С. 17–25. DOI: 10.26006/IDG.2020.97.89.002.
68. *Подобная Е.Д., Попова О.П., Глазачев Д.О.* **Эллипсы рассеяния для недавно образованных кластеров кратеров на марсе.** С. 89–98. DOI: 10.26006/IDG.2020.24.10.011.
69. *Рукосуев А.Л., Белоусов В.Н., Мар Г.Н., Никитин А.Н., Шелдакова Ю.В., Кудряшов А.В.* **Быстрая адаптивная оптическая система в задаче анализа и коррекции волнового фронта лазерного излучения.** С. 156–162. DOI: 10.26006/IDG.2020.77.50.006.
70. *Рыбнов Ю.С., Спивак А.А., Харламов В.А.* **Атмосферные возмущения при землетрясениях.** С. 107–113. DOI: 10.26006/IDG.2020.20.89.012.
71. *Самаркин В.В., Александров А.Г., Галактионов И.В., Кудряшов А.В., Никитин А.Н., Рукосуев А.Л., Мар Г.Н., Топоровский В.В., Шелдакова Ю.В.* **Деформируемое зеркало диаметром 320 мм для коррекции и улучшения фокусировки излучения мульти-петаваттного ti:sa лазера.** С. 162–171. DOI: 10.26006/IDG.2020.20.85.017.
72. *Светцов В.В., Шувалов В.В.* **Причины образования частиц древесного угля, найденных под слоем выбросов из небольших ударных кратеров.** С. 99–107. DOI: 10.26006/IDG.2020.32.68.003.
73.. *Сергеев В.Н., Печерникова Г.В.* **Современные модели происхождения Луны.** С. 130–137. DOI: 10.26006/IDG.2020.67.47.014.
74. *Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Удаленные геофизические эффекты аварийного взрыва в Бейруте 04.08.2020 г**. С. 114-122. DOI: 10.26006/IDG.2020.10.31.015.
75. *Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.* **Особенности акустического шума в атмосфере г. Москвы во время карантина по COVID-19 В 2020 г.** С. 123–129. DOI: 10.26006/IDG.2020.36.66.016.
76. *Усольцева О.А., Овчинников В.М.* **Моделирование трубок чувствительности волн PKIKP, PKIIKP и PKPab на антиподальных расстояниях.** С. 10–16. DOI: 10.26006/IDG.2020.41.61.019.
77. *Павлов Д.В., Шарафиев З.З.* **Методика лабораторного исследования устойчивости склона при импульсном динамическом воздействии.** С. 53–62.DOI: 10.26006/IDG.2020.97.15.010.
78. *Кузьмичева М.Ю.* **Определение экстремальной волновой нагрузки на стационарные морские сооружения.** С. 71–76. DOI: 10.26006/IDG.2020.62.13.009.
79. *Ковалева И.Х. , Ковалев А.Т. , Зецер Ю.И.* **Формирование магнитозвуковой нелинейной структуры на фронте расширяющегося плазменного потока.** С. 140–148. DOI: 10.26006/IDG.2020.84.15.013.

ПУБЛИКАЦИИ В ТРУДАХ КОНФЕРЕНЦИЙ

80. *Адушкин В.В., Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Проявление вулканических извержений в акустических колебаниях** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума (г. Москва, 6–10 июля 2020 г.). Электронный ресурс. C.D-195–D-198.
81. *Адушкин В.В., Спивак А.А.* **Акустические эффекты горных лавин** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума (г. Москва, 6–10 июля 2020 г.). Электронный ресурс. C.D-93–D-96.
82. *Батухтин И.В., Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Петухова С.М.* **Исследование динамического деформирования флюидонасыщенных коллекторов по данным прецизионного гидрогеологического мониторинга на территории геофизической обсерватории «Михнево»** В сб. трудов конференции «Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах: Шестая международная научная конференция-школа молодых ученых». М. : Принт Про. 2020. С. 57–60.
83. *Беккер С.З., Козлов С.И., Яким В.В., Якубовский С.В.* Статья на спец.тему. Сборник трудов НИИЦ ЦНИИ ВКС. 2020.
84. *Беккер С.З., Ряховский И.А.* **Особенности верификации моделей нижней ионосферы по данным распространения СДВ во время рентгеновских вспышек**: Тезисы XXVI Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана // Физика атмосферы». Москва. 2020. С. 69–72.
85. *Булгакова В.А., Данилова Т.В., Светлицкая Т.В.* **Современные экологические требования к лесобумажной продукции в России** : Материалы XXX международной междисциплинарной научной конференции «Человек и природа:

социоприродное взаимодействие во всемирно-историческом процессе» (14–18 сентября 2020 г., Республика Крым, г. Судак). СЕИ 2020, Москва Макс-Пресс, 2020. С. 180–184.
86. *Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Поклад Ю.В., Ряховский И.А., Ляхов А.Н., Рыбаков В.А., Ермак В.М.* **Исследования атмосферы и ионосферы с использованием радиофизического измерительного комплекса Геофизической обсерватории «Михнево»**: Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн». Том I. Казань, 2019, с. 150–154.
87. *Галактионов И., Шелдакова Ю., Никитин А., Кудряшов А.* **Увеличение эффективности фокусировки рассеянного лазерного излучения с помощью жидкокристаллического фазового модулятора света**: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука-общество-технологии-2020» (SST-2020). С. 29–31. www.elibrary.ru/item.asp?id=44008651.
88. *Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Санина И.А., Ризниченко О.Ю.* **Об устойчивости моделирования скоростного разреза методом функции приемника**. В сб. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Отв. ред. Д.В. Чебров: Труды Седьмой научно-технической конференции. 2019. С. 422–425.
89. *Дмитриев В.Г.* **Функциональное поражение радиоэлектронных средств - одно из направлений обеспечения военной безопасности**: XXIII Всероссийская научно-практическая конференция РАРАН (2020 г.). Издание РАРАН, 2020, с. 150–158.
90. *Дмитриев В.Г., Куприянов А.И., Перунов Ю.М., Шабатура Ю.М.* **Средства радиоэлектронной борьбы с беспилотными летательными аппаратами:** Сб. тр. ГНЦ ЛИИ им. М.М. Громова, вып. 275. 2020. С. 38–52.
91. *Карташова А.П., Рыбнов Ю.С., Глазачев Д.О., Попова О.П., Болгова Г.Т., Голубаев А.В., Мозгова А.В., Ефремов В.В., Чувашов И.Н.* **Исследование параметров метеорных явлений различными методами**. Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы XI Всероссийской молодежной научной конференции (Екатеринбург, 25–28 мая, 2020). Екатеринбург. Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2020. С. 119–121. http://hdl.handle.net/10995/86004.
92. *Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* **Вариации приземного электрического поля в г. Москве** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXVI Международного симпозиума. Томск. Издательство ИОА СО РАН, 2020. т. D. с. 360–363.
93. *Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* **Регистрация концентрации мелкодисперсных частиц в Центре геофизического мониторинга ИДГ РАН** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXVI Международного симпозиума, т. D. Томск. Издательство ИОА СО РАН, 2020. С. 52–55.
94. *Поклад Ю.В., Гаврилов Б.Г., Ермак В.М., Ляхов А.Н., Рыбаков В.А., Ряховский И.А.* **Восстановление параметров D-слоя ионосферы по данным амплитудно-фазовых измерений на двухчастотной СДВ трассе**: Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции «Распространение радиоволн». Том I. Казань. 2019, с. 502–505.
95. *Рыбнов Ю.С., Спивак А.А., Романовский Я.О., Соловьев С.П., Харламов В.А.* **Акустические эффекты крупных пожаров на газопроводах**. Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума (г. Москва, 6–10 июля 2020 г.).Электронный ресурс. С.D-394–D-397.
96. *Рябова С.А.* **Вариации аэроэлектрического поля при землетрясениях Mw ≥ 6.5**: Труды III Международной геолого-геофизической конференции и выставки "ГеоЕвразия-2020. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии". Том III. Тверь. ООО "ПолиПРЕСС", 2020. С. 105–108.
97. *Рябова С.А.* **Мониторинг извержения вулкана Асо (7-8 октября 2016 года) по данным регистрации геофизических полей.** Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды: Материалы VI Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург. 2020. С. 170–174.
98. *Рябова С.А.* **Вариации магнитного поля в период извержения вулкана Тааль (12–13 января 2020 г.)**. XXI Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сб. научн. материалов. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2020. С. 80–84.
99. *Рябова С.А.* **Акустические эффекты землетрясений на примере мелкофокусного землетрясения в Иране (08.07.2019, mb = 5,7)**. Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции, посвящённой памяти член-корр. АН СССР К. О. Кратца (Санкт-Петербург, 5–9 октября 2020 г). Санкт-Петербург. Своё издательство, 2020. С. 244–246.

100. *Рябова С.А.* **Исследование геомагнитных аномалий, приуроченных к Загребскому землетрясению 2020 года**. Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии: Материалы XXXI молодежной научной школы-конференции, посвящённой памяти член-корр. АН СССР К. О. Кратца (Санкт-Петербург, 5–9 октября 2020 г). Санкт-Петербург. Свое издательство, 2020. С. 241–243.
101. *Рябова С.А.* **Применение метода МВП к анализу временных вариаций уровня безнапорного горизонта**. Новое в познании процессов рудообразования: Труды молодых ученых, посвященные 90-летию ИГЕМ РАН. М. : ИГЕМ, 2020. С. 121–122.
102. *Рябова С.А., Рыбнов Ю.С., Романовский Я.О., Спивак А.А., Харламов В.А.* **Геофизические эффекты в приземной атмосфере, вызванные землетрясением 24.01.2020 г. (Турция)**. Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума (г. Москва, 6–10 июля 2020 г. Электронный ресурс. С.D-199–D-202.
103. *Рябова С.А., Романовский Я.О., Спивак А.А.* **Удаленные электрические эффекты эксплозивной стадии извержения вулкана Стромболи 03.07.2019 г., Италия**. Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума (г. Москва, 6–10 июля 2020 г.). Электронный ресурс. С.D-191–D-194.
104. *Санина И.А., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л.* **Применение логарифма отношения спектральных амплитуд волн P и Lg для идентификации взрывов на карьере «Афанасьевский».** В сб. Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: Материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. Воронеж. 2020. С. 313–316.
105. *Санина И.А. Ризниченко О.Ю., Волосов С.Г.* **15 лет малоапертурной группе «Михнево» ИДГ РАН. Результаты и перспективы.** В сб. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России / Отв. ред. Д. В. Чебров: Труды Седьмой научно-технической конференции. 2019. С. 211–215.
106. *Светлицкая, Т.В. Данилова, М.А. Нестеркина, Н.Л. Константиновская, В.Н. Анисимов Т.В.* **О возможных экологических последствиях карьерных взрывов на Восточно-Европейской платформе**. Материалы XXX международной междисциплинарной научной конференции «Человек и природа: социоприродное взаимодействие во всемирно-историческом процессе» (14–18 сентября 2020 г. Республика Крым, г. Судак). Москва. Макс-Пресс, 2020. С. 121–130.
107. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А., Романовский Я.О., Соловьев С.П., Харламов В.А.* **Геофизические эффекты крупных пожаров в Московском регионе**. Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXVI Международного Симпозиума. (г. Москва, 6–10 июля 2020 г.). Электронный ресурс. С.D-203–D-206.
108. *Топоровский В.В., Кудряшов А.В., Самаркин В.В., Шелдакова Ю.В., Рукосуев А.Л.* **Высокоскоростная адаптивная оптическая система для коррекции аберраций в задачах передачи излучения на расстояние**: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Наука-общество-технологии-2020» (SST-2020), с. 111–116. www.elibrary.ru/item.asp?id=44008651.
109. *Тримонова М.А., Фасхеев И.О.* **Исследование влияния неупругого поведения породы на давление разрыва при ГРП**: Труды третьей Международной геолого-геофизической конференции и выставки «ГеоЕвразия-2020. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии» Том I (III)[сборник]. Тверь. ООО «ПолиПРЕСС», 2020. С. 245–248.
110. *Усольцева О.А. , Овчинников В.М.* **Моделирование трубок чувствительности волн PKIKP, PKIIKP и PKPAB на антиподальных расстояниях**. Суперкомпьютерные дни в России: Труды международной конференции (г. Москва, 21–22 сентября 2020 г.) / Под. ред. В. В. Воеводина. Москва : МАКС Пресс, 2020. с. 133–134. ISBN 978-5-317-06400-6; e-ISBN 978-5-317-06458-7.
111. *Adushkin V.V., Spivak A.A., Rybnov Yu.S., Riabova S.A., Kharlamov V.A.* **Manifestation of volcanic eruptions in acoustic vibrations**. Proceedings SPIE. Vol. 11560. 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1156069 (12 November 2020), doi:10.1117/12.2574952.
112. *Bekker S.Z., Ryakhovsky I.A.* **Methodology of the lower ionosphere models verification based on VLF radio wave propagation during X-ray flares**. Proceedings of SPIE. 2020. 11560–51.

113. *Belyakov G.V., Tairova A.A. Iudochkin N.A. and Molokoedov A.S.* **Experimental modeling of hydrofracture in a porous compressible material.** AIP Conference Proceedings 2310, 020028 (2020). https://doi.org/10.1063/5.0034864.

114. *Belousov V.N., Galaktionov I.V., Kudryashov A.V., Nikitin A.N., Otrubyannikova O.V., Rukosuev A.L., Samarkin V.V., Sivertceva I.V., Sheldakova Ju. V.* **Adaptive optical system for correction of laser beam going through turbulent atmosphere**. Proc. SPIE 11560, p. 1156026, 2020.

115. *Besedina A.N.* **Study of microseismic ambient noise in mine of Korobkovskoe ore deposit**. AIP Conference Proceedings 2310, 020029 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0034312.

116. *Dubinya N., Trimonova M. and Nachev V.* **Numerical Modeling of Hydraulic Fracture Propagation in Naturally Fractured Rock Mass – A Continuous Description Perspective.** European Association of Geoscientists & Engineers: Conference Proceedings, 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition Workshop Programme, Dec 2020, Volume 2020, p. 1–5. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202011892.

117. *Boris G. Gavrilov, Poklad Yuri V., Rybnov Yury S., Ryakhovski Ilya A., and Sanina Irina A.* **Remote electromagnetic and ionospheric effects of the earthquakes in Greece**. Proc. SPIE 11560, 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 1156080 (12 November 2020). https://doi.org/10.1117/12.2574912.

118. *Galaktionov I., Sheldakova J., Nikitin A., Kudryashov A.* **Comparison of efficiency of bimorph mirror and spatial light modulator for laser beam focusing through a moderately scattering medium**. Proc. SPIE. 11560, p. 115602A, 2020.

119. *Kabychenko N.V., Gorbunova E.M., Besedina A.N.* **Study of Amplitude-Frequency Characteristics of Water-Saturated Collector**. AIP Conference Proceedings 2310, 020128 (2020); https://doi.org/10.1063/5.0034394 .

120. *Khazins V.M., Soloviev S.P.* **Numerical simulation of dust-gas cloud rise from explosion near Earth's surface**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115602I (2020); https://doi.org/10.1117/12.2574670.

121. *Krasheninnikov Alexey V., Loktev Dmitry N., Soloviev Sergey P.* **Fine particles concentration registration in geophysical monitoring center IDG RAS**. Proceedings Volume 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics; 1156077. (2020). https://doi.org/10.1117/12.2575584.

122. *Krasheninnikov Alexey V., Loktev Dmitry N., Soloviev Sergey P.* **Near-surface electric field variations in Moscow City**. Proceedings Volume 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics; 115606J. (2020). https://doi.org/10.1117/12.2575446.

123. *Kudryashov A.V., Galaktionov I.V., Sheldakova J.V.* **The improvement of the focus of laser beam passed through the scattering atmosphere by means of adaptive optics**. Proceedings Imaging and Applied Optics Congress, 2020.

124. *Kuzmicheva M.Yu., Kosarev I.B.* **Modeling of injection of aluminum plasma jet to the upper atmosphere at the initial stage of active geophysical rocket experiment atmosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115608B (12 November 2020). DOI: 10.1117/12.257544.1.

125. *Losseva Tatiana V.* **Method for radiation transfer calculation in numerical simulation of strong perturbation in the atmosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115608C (12 November 2020). DOI: 10.1117/12.2575441.

126. *Lyakhov Andrey N., Goncharov Egor S., Losseva Tatiana V.* **FDTD, FDFD, and mode sum methods for VLF-LF propagation in the lower ionosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 2020. 11560–115608S. DOI: 10.1117/12.2575631.

127. *Lyakhov Andrey N., Korsunskaya Julia A.* **Solar-terrestrial links and aeronomy of the middle atmosphere**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics. 11560–1156083. 2020. DOI: 10.1117/12.2575054.

128. *Nachev V., Kazak A. and Turuntaev S.* **3D Digital Mineral Mechanical Modeling of Complex Reservoirs Rocks for Investigation of Fracture Propagation at Microscale.** SPE Russian Petroleum Technology Conference 2020 26-29 October 2020 Virtual (https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-201979-MS. DOI: 10.2118/201979-MS,

129. *Nachev V., Kazak A. and Turuntaev S.* **The Initiation and Propagation of Fractures in 2D Digital Mineral Mechanical Modeling at the Microscale.**

European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition Workshop Programme, Dec 2020, Volume 2020. (https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202011953).

130. *Nikitin A., Galaktionov I., Sheldakova J., Kudryashov A., Samarkin V., Rukosuev A., Toporovsky V.* **Focusing laser beam through pinhole using stacked-actuator deformable mirror**. Proc. SPIE. 11266, p. 112661B, 2020.

131. *Nikitin Alexander Nikolaevich, Rukosuev Alexey, Sheldakova Julia V., Belousov Vadim M., Galaktionov Ilya, Samarkin Vadim, Kudryashov Alexis.* **FPGA-based 2 kHz closed-loop adaptive optical system with stacked actuator deformable mirror**. Proc. SPIE. 11508, Unconventional Imaging and Adaptive Optics 2020, 115080K, 2020.

132. *Novikova E. and Trimonova M.* **The Advantage of Studying Pressure Curves Obtained from Laboratory Hydraulic Fracturing Experiments**. European Association of Geoscientists & Engineers, Conference Proceedings, 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition Workshop Programme, Dec 2020, Volume 2020. DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.202011824.

133. *Pavlov D.V., Besedina A.N., Gorbunova E.M., Ostapchuk A.A.* (2020). **Response of an aquifer to the passage of seismic waves in the close-in zone of a ripple-fired explosion in a mine**. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering. Norwegian Group for Rock Mechanics: EUROCK2020 Symposium Proceedings (physical event not held). ISBN 978-82-8208-072-9. ISRM-EUROCK-2020-166.

134. *Plaksina M.O., Ryakhovskiy I.A., Gavrilov B.G., Poklad Yu.V., Bekker S.Z.* **Mid-latitude ionospheric TEC variations during the period from 2016 to 2019 using GNSS data from the Geophysical Observatory «Mikhnevo»**. Proceedings of SPIE. 2020. 11560-201.

135. *Poklad Yu.V., Gavrilov B.G., Ermak V.M., Lyakhov A.N., Ryakhovskiy I.A., and Rybakov V.A.* Dependence of variation of parameters of the D-layer of the ionosphere during x-ray flashes of M and X classes from their energy. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115608P (12 November 2020); https://doi.org/10.1117/12.2575607.

136. *Riabova S.* **Changes in geomagnetic variations associated with the 12 January 2020 Taal volcanic eruption**. Proceeding of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM-2020. Vol. 20.

137. *Riabova S., Spivak A.A.* **Acoustic effects of Iranian earthquake on July 08, 2019**. Proceeding of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM-2020. Vol. 20.

138. *Riabova S., Spivak A.* **Acoustic, electrical and magnetic effects of Stromboli volcano eruption (July-August, 2019)**. Conference Proceedings 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition Workshop. Programme Conference paper. 2020. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202011125.

139. *Riabova S*. **Research of daily variations in the electric field at Geophysical observatory «Mikhnevo»**. Conference Proceedings 82nd EAGE Annual Conference & Exhibition Workshop. Programme Conference paper. 2020. https://doi.org/10.3997/2214-4609.202011143.

140. *Riabova S.A., Shalimov S.L.* **Features of geomagnetic variations in the period range from 12 to 17 days according to the Mikhnevo Observatory**. Proceedings SPIE. Vol. 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115607J (12 November 2020), doi:10.1117/12.2575699.

141. *Riabova S.A., Rybnov Yu.S., Romanovsky Ya.O., Spivak A.A., Kharlamov V.A* **Geophysical effects in the surface atmosphere caused by earthquake in Turkey on January 24, 2020**. Proceedings SPIE. Vol. 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115607K (12 November 2020), doi:10.1117/12.2575703.

142. *Riabova S.A., Romanovsky Ya.O., Spivak A.A.* **Remote electrical effects of the explosive stage of the Stromboli, Italy, volcano eruption on 3 July, 2019**. Proceedings SPIE. Vol. 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115607N (12 November 2020), doi:10.1117/12.2576810.

143. *Rybakov V.A., Gavrilov B.G., Ermak V.M., Poklad Yu.V., Ryakhovskiy I.A, and Babaykina K.V.* **Unipolar component of the electric field and vertical atmospheric currents according to the GFO «Mikhnevo»**. Proc. SPIE 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115608T (12 November 2020); https://doi.org/10.1117/12.2575632.

144. *Rybnov Y., Spivak A., Romanovskiy Y., Soloviev S., Kharlamov V.* **Acoustic effects of great fire on gas pipelines**. Proceedings Volume 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics; 115607O (2020). https://doi.org/10.1117/12.2580739.

145. *Rukosuev A., Belousov V., Galaktionov I., Kudryashov A., Nikitin A., Samarkin V., Sheldakova J.* **1.5 kHz adaptive optical system for free-space communication tasks**. Proc. SPIE. 11272, p. 112721G, 2020.

146. *Sakharov Alexey M., Baryshnikov Nikolay V, Karassik Valery E., Sheldakova Julia V., Kudryashov Alexis, Nikitin Alexander* **A method for reconstructing the equation of the aspherical surface of mirrors in an explicit form using a device with a wavefront sensor**. Proc. SPIE. 11487, p.114870B, 2020.

147.*Sheldakova J., Galaktionov I., Nikitin A., Rukosuev A., Samarkin V., Toporovsky V., Kudryashov A***. Miniature bimorph deformable mirror for laser beam shaping**. Proc. SPIE. 11266, p. 112661L, 2020.

148. *Sheldakova Julia V., Toporovsky Vladimir, Galaktionov Ilya, Nikitin Alexander, Rukosuev Alexey, Samarkin Vadim, Kudryashov Alexis.* **Flat-top beam formation with miniature bimorph deformable mirror.** Proc. SPIE. 11486, Laser Beam Shaping XX, 114860E, 2020.

149. *Spivak A.A., Rybnov Yu.S., Riabova S.A., Romanovsky Ya.O., Soloviev S.P., Kharlamov V.A.* **Geophysical effects of large fires in the Moscow region**. Proceedings SPIE. Vol. 11560: 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 115600V (12 November 2020), doi: 10.1117/12.2574611.

150. *Stefanov Yu. P., Bakeev R.A. and Kocharyan G.G.* **Block displacement in the presence of a friction spot**. AIP Conference Proceedings 2310, 020326 (2020). https://doi.org/10.1063/5.0034777.

151. *Toporovsky V., Kudryashov A., Samarkin V., Sheldakova J., Rukosuev A.* **Applicability of small size wavefront correctors to compensate for wavefront distortions in laser systems**. Proc. SPIE. 11266, p. 1126619, 2020.

152. *Toporovsky V., Kudryashov A., Sheldakova J., Samarkin V.* **Development and investigation of small-aperture bimorph deformable mirror for correction of low-order aberrations of laser radiation**. Proc. SPIE. 11560, p. 115601Z, 2020.

153. *Trimonova M.A., Zenchenko E.V., Zenchenko P.E., Turuntaev S.B., Baryshnikov N.A*. (2020) **Experimental Confirmation of the Existence of the Lag in the Hydraulic Fracture**. In: Lin J. (eds). Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2018. IFEDC 2018. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Singapore.

Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2020 г.
Утвержден к печати Ученым советом
от 19.01.2021 № 01/21

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