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

# ОТЧЕТ О НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИДГ РАН В 2019 г.

**Москва-2020**

**Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2019 г.**
М.: ООО «Графитекс». 2020. – 56 с.

Сборник содержит информацию об основных научных результатах, полученных сотрудниками ИДГ РАН в 2019 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 2019 г.

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

© ИДГ РАН, 2020

# ВВЕДЕНИЕ

В 2019 году Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН выполнил исследования по девяти темам Государственного задания, трем Программам Президиума РАН, двум грантам РНФ, девяти грантам РФФИ, одному Гранту Президента Российской Федерации и семи договорам с различными организациями. Тематика исследований соответствует следующим пунктам Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг.:

- Физические и химические процессы в атмосфере, включая ионосферу и магнитосферу земли, криосфере и на поверхности земли, механизмы формирования.
- 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).

Институт принимает участие в работах по следующим Программам Президиума РАН:

- Эволюция органического мира. Роль и влияние планетарных процессов.
- Фундаментальные основы прорывных технологий в интересах национальной безопасности
- Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов

В 2019 году Институт успешно проводил исследования триггерных эффектов в геосферах Земли при естественных возмущениях разного генезиса. Были получены новые важные фундаментальные результаты по строению и эволюции Земли, физике сейсмических явлений, проблеме астероидно-кометной опасности. На базе Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН объединены усилия ученых разных лабораторий по исследованию литосферно-атмосферно-ионосферного взаимодействия. Результаты ученых института опубликованы в ведущих мировых научных журналах.

В прошедшем году развернулись активные работы по новому для института направлению адаптивной оптики, имеющему значительный инновационный и коммерческий потенциал.

Создан интернет-ресурс http://www.asteroidhazard.pro для оперативных расчетов последствий ударов космических тел по поверхности Земли, представляющий интерес как для ученых, интересующихся проблемой эволюции Земли, так и для органов государственного управления.

Получено два свидетельства государственной регистрации на программы для ЭВМ и семь свидетельств государственной регистрации на базы данных.

В издательстве Springer вышел в свет сборник трудов международной конференции Trigger Effects in Geosystems, проведенной ИДГ РАН 4-7 июля 2019 г. в г. Москве, а также по материалам конференции опубликован сборник трудов «Триггерные эффекты в геосистемах» (издательство ТОРУСПРЕСС).

Издан очередной, одиннадцатый, сборник трудов ИДГ РАН «Динамические процессы в геосферах».

В настоящем буклете–отчете о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН в 2019 г. представлена информация об основных научных результатах Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского, полученных в 2019 году и о подготовке молодых научных кадров в ИДГ РАН: на базовой кафедре «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем» Московского физико-технического института, в аспирантуре ИДГ РАН .

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ ПОД ЮЖНОЙ АМЕРИКОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРАЗИЕЙ

*Исполнители: д.ф.-м.н. Д.Н. КРАСНОЩЕКОВ, д.ф.-м.н. В.М. ОВЧИННИКОВ*

Впервые проведено площадное зондирование поверхности внутреннего ядра Земли под Южной Америкой и восточной Евразией с помощью отражённых волн. На основе статистически представительных данных (более 1300 измерений) получена устойчивая оценка скачка плотности на границе внутреннего ядра, которая для фрагмента поверхности под Южной Америкой составила 0.9 г/см$^3$, а под восточной Евразией – 0.3 г/см$^3$. Трёхкратное отличие полученных значений указывает на существенно различный режим затвердевания твёрдого внутреннего ядра Земли из расплава жидкого внешнего для этих двух фрагментов поверхности. На рисунке приведены интерпретации полученных результатов с позиций дихотомной структуры внутреннего ядра (А) и мозаичности его поверхности (Б). Дихотомия предусматривает доминирование кристаллизации в более плотном и холодном Западном полушарии внутреннего ядра и трансляцию его вещества в восточном направлении, а мозаичность отражает локальные различия в термодинамическом режиме затвердевания, влияющие на конвекцию во внешнем ядре и, соответственно, эволюцию магнитного поля Земли.

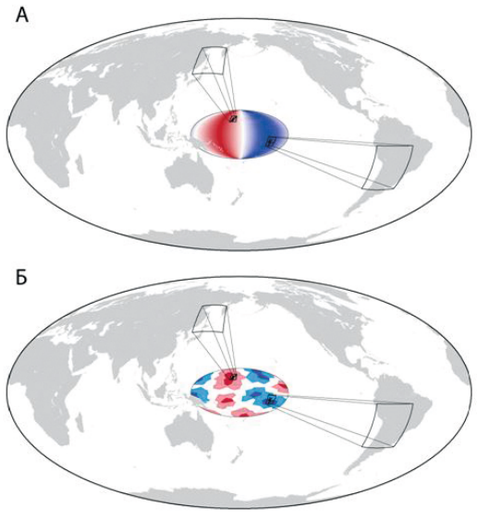



***Рис.*** *Внутреннее ядро изображено в центре прозрачной Земли. Поверхностные четырёхугольники очерчивают области расположения сейсмических источников и станций, и зондируемые участки поверхности твёрдого ядра под Азией и Америкой. Распределение температуры во внутреннем ядре изображено цветом: (А) – дихотомная модель с линейным распределением от более холодного и тяжелого Западного полушария к более тёплому Восточному; (Б) – мозаичная модель*

**Публикации:**

1. *Krasnoshchekov, D., Ovtchinnikov, V., Polishchuk, V.* (**2019**) **Dissimilarity of the Earth's Inner Core Surface Under South America and Northeastern Asia Revealed by Core Reflected Phases** // ***Journal of Geophysical Research: Solid Earth***, vol. 124, #5, 4862–4878, https://doi.org/10.1029/2019JB017408

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме: **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** (проект № 0146-2019-0004).

## ИНИЦИИРОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ

*Исполнители: д.ф.-м.н. Г.Г. КОЧАРЯН, к.ф.-м.н. С.Б. КИШКИНА, д.ф.-м.н. А.М. БУДКОВ, к.ф.-м.н. Г.Н. ИВАНЧЕНКО, И.В. БАТУХТИН, к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ, к.ф.-м.н. Д.В. ПАВЛОВ*

На примере крупнейшего в истории сейсмического события, связанного с горными работами, Бачатского землетрясения 18.06.2013 г. (ML = 6.1), произошедшего в Кузбассе, исследован возможный механизм инициирования крупных тектонических землетрясений горными работами. В качестве вероятных триггеров рассмотрены общая техногенная нагрузка на регион, воздействие сейсмических колебаний от взрывов, выемка и перемещение больших объемов породы, изменение флюидодинамического режима.

Выполненные расчеты показали, что основным триггером землетрясения явились выемка и перемещение горной массы. На основе данных инструментальных наблюдений установлено, что непосредственное инициирование крупных землетрясений сейсмическими колебаниями от массовых взрывов крайне маловероятно.

Установлено, что открытые горные работы в карьерах способны лишь приблизить момент землетрясения на потенциально сейсмоактивном разломе. В то же время подземная отработка месторождений, изменяя упругие свойства вмещающего массива в окрестности тектонического разлома, способна спровоцировать небольшое землетрясение с M ~ 3-4 даже на ранее асейсмичном участке.

Полученные результаты могут иметь важное практическое значение при оптимизации технологии безопасного ведения горных работ.

**Публикации:**

1. *Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Budkov A.M., Ivanchenko G.N.*, 2019. **On the genesis of the 2013 Bachat earthquake** // Geodynamics & Tectonophysics 10 (3), 741–759. Doi:10.5800/GT-2019-10-3-0439.
2. *Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В.* **Об инициировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием** // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 3. С. 104–116.
3. *Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* **О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов** // ФТПРПИ, № 6, 2019.
4. *Kocharyan G., Budkov A., Kishkina S.* **Triggering Tectonic Earthquakes by Mining** // G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences, PP. 319–328 https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_34.

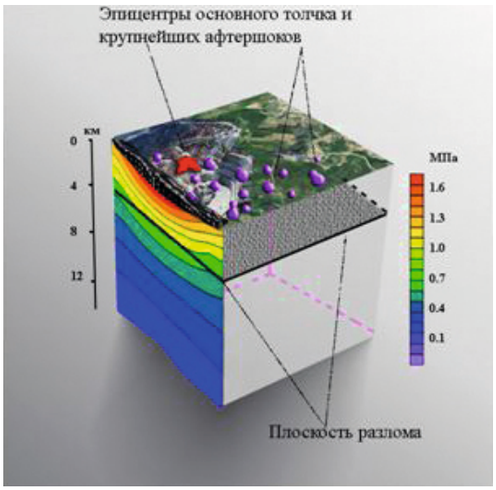



***Рис.*** *Изолинии вариаций кулоновских напряжений на площадках, параллельных вероятному расположению плоскости разломной зоны под карьером «Бачатский». Красный значок – эпицентр основного толчка 18.06.2013 г., фиолетовые – эпицентры крупнейших афтершоков*

Работа выполнены в рамках Госзадания по теме: **Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях** (проект № 0146-2019-0001).

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АСТЕРОИДНОГО/КОМЕТНОГО УДАРА В ЭПОХИ ГЛОБАЛЬНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ ЗЕМЛИ** (Программа РАН 1.28 **Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей**)

*Исполнитель: д.ф.-м.н. Б.А. ИВАНОВ*

В последние 20 лет активно обсуждаются периоды глобального оледенения (Snowball Earth) в геологической истории Земли, длившиеся от 10 до 60 млн лет. За эти периоды времени статистически было возможно падение космических тел, образующих на континенте ударные кратеры диаметром от 50 до 100 км. Численное моделирование позволяет понять, может ли такой удар вызвать глобальное потепление, приводящее к концу оледенения. Моделировалось падение астероида в океан, покрытый льдом, и на континентальный ледник.

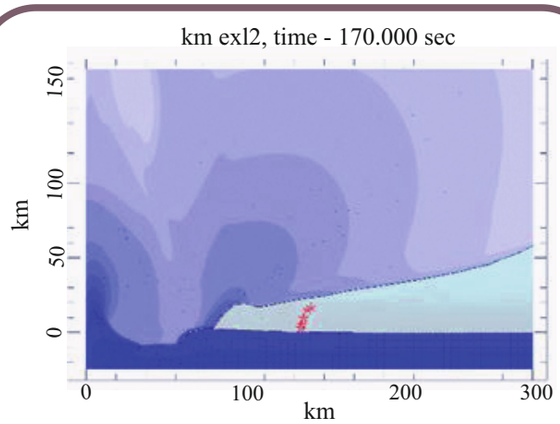



***Рис. 1.*** *Расширение и падение в поле тяжести облака ударно-испаренной воды (оттенки синего цвета)*

В результате работы выявлены два новых процесса: (1) выброс в стратосферу большого количества солей из ударно-испаренной океанской воды при резком падении растворимости выше критической точки, и (2) нагрев нижней атмосферы при обратном падении в поле тяжести пароводяного облака. Кристаллы соли могли стать центрами конденсации, стимулируя рост облачности, а импульсный нагрев атмосферы мог привести к поверхностному таянию льда в области размером порядка 1000 км. Долговременный эффект единичного удара требует, конечно, дальнейшего подтверждения с использованием моделей глобальной циркуляции атмосферы.

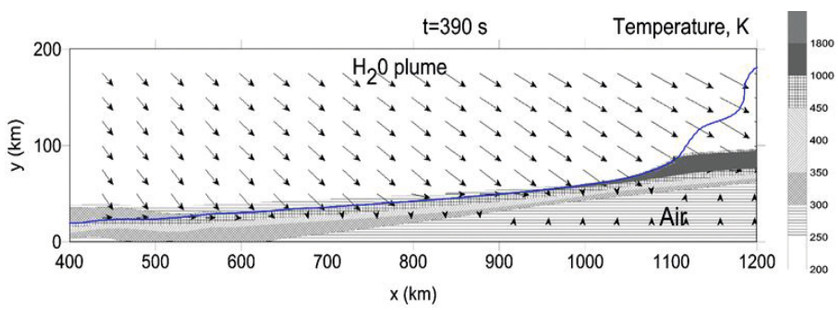



***Рис. 2.*** *Поле скоростей в обрушающемся пароводяном облаке. Падающее облако формирует ударную волну, сжимая атмосферу в слой толщиной ~ 20 км. Сжатая атмосфера нагревается до температур ~ 350 К на расстояниях до ~ 1000 км от точки удара*

**Публикации:**

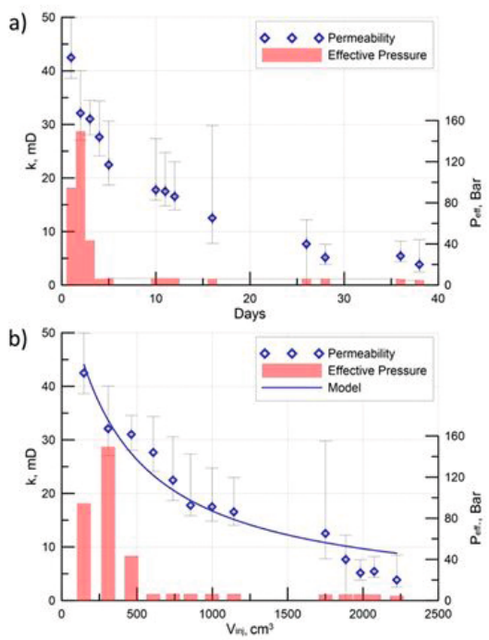
*Koeberl, C., Ivanov, B.A.* **Asteroid impact effects on Snowball Earth** // Meteoritics & Planetary Science, 2019. V. 54. № 10. P. 2273-2285. Doi:10.1111/maps.13294.

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме: **Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях** (проект № 0146-2019-0001).

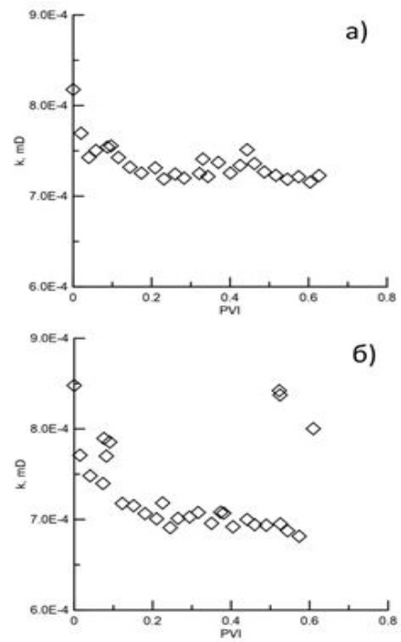
## ОСОБЕННОСТИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТИ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦАХ ПОД НАГРУЗКОЙ

*Исполнители: к.ф.-м.н. Н.А. БАРЫШНИКОВ, Е.В. ЗЕНЧЕНКО, д.ф.-м.н. С.Б. ТУРУНТАЕВ*

Предложены физические механизмы, объясняющие различие трендов проницаемости пористых пород при продолжительных измерениях (порядка месяца) для пород стандартной проницаемости и ультранизкопроницаемых пород типа баженовской свиты. Показано, что ухудшение фильтрационных свойств ультранизкопроницаемых образцов (проницаемость порядка 1 микроДарси) происходит в результате вязкопластичной деформации, в то время, как в образцах, имеющих обычную для нефтяных коллекторов проницаемость (порядка 10 мД), ухудшение фильтрационных свойств во времени вызывается кольматацией порового пространства газом, содержащимся в закачиваемой жидкости. Различие в механизмах изменения фильтрационных свойств образцов с существенно различающимися проницаемостями необходимо учитывать при интерпретации результатов продолжительных опытов по изучению проницаемости пород нефтяных коллекторов методом установившегося потока жидкости.




*Изменение эффективного давления и проницаемости образца в ходе опытов: а) со временем; b) относительно суммарного объёма прокачанной жидкости*




*Зависимость проницаемости от объёма жидкости, прокачанного через образец после повышения давления обжатия: а) с 2.5 до 5 МПа; б) с 3.5 до 10 Мпа*

**Публикации:**

1. *Baryshnikov N.A., Zenchenko E.V., Turuntaev S.B.* (2019) **The Change in the Permeability of an Ultra-Low Permeable Limestone Sample Under the Influence of Confining Pressure During the Loading-Unloading Cycle**. In: Karev V., Klimov D., Pokazeev K. (eds) Physical and Mathematical Modeling of Earth and Environment Processes (2018). Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-030-11533-3_25

2. *Baryshnikov N., Zenchenko E., Turuntaev S.* (2019) **Apparent Permeability Loss Over Time in Long-Term Measurements Using the Steady-State Method.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. PP 221-228 https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме: **Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа** (проект № 0146-2019-0007).

# Практическое применение разработок по результатам НИР

Работа выполнена в рамках Госзадания по темам: **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** (проект № 0146-2019-0006) и **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** (проект № 0146-2019-0004).

*Исполнители: к.ф.-м.н. А.Н. БЕСЕДИНА, к.т.н. Н.В. КАБЫЧЕНКО, С.Г. ВОЛОСОВ, к.т.н. С.А. КОРОЛЕВ*

**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Разработаны две схемы коррекции сейсмометров путем перемножения передаточных функций и с помощью введения большого затухания в колебательную систему. Апробация первой схемы коррекции показала возможность расширения нижнего предела диапазона частот геофона GS-20DX с 10 до 2 Гц. Реализация второй схемы коррекции путем введения большого затухания h = 50 с помощью отрицательного сопротивления и отрицательной индуктивности номиналом 384 Ом и 48 мГн, соответственно, позволяет расширить рабочий диапазон как в область низких частот, так и в область высоких. В последнем случае введение отрицательной индуктивности позволяет убрать пик АЧХ на верхней граничной частоте. Моделирование измерительных шумов двух предложенных схем позволило определить нижний предел регистрируемой скорости, равный 48 нм/с в диапазоне 0.15–35 Гц в случае реализации схемы путем перемножения передаточных функций, и 210 нм/с в диапазоне 0.15 Гц–1 кГц для схемы, реализованной путем введения большого затухания.

**ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Уровень собственных шумов измерительного канала позволяет использовать сейсмометры с расширенными частотными характеристиками для регистрации не только сейсмических событий, но и микросейсмического фона. Использование геофонов с корректирующим устройством в составе малоапертурных групп позволит повысить чувствительность системы измерений. Подобные системы хорошо зарекомендовали себя при мониторинге слабой сейсмичности, особо ответственных объектов, бортов карьеров и трещин.

**СТЕПЕНЬ ГОТОВНОСТИ РАЗРАБОТКИ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ**

Разработан прототип устройства коррекции на примере геофона GS-20DX путем перемножения передаточных функций, проведена апробация на вибростенде и в полевых условиях вблизи горнодобывающих предприятий. Разработана схема коррекции путем введения большого затухания с помощью отрицательного сопротивления и индуктивности.

**ВОЗМОЖНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ И (ИЛИ) ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ**

Понижение стоимости установки сейсмических сетей/групп на основе корректированных геофонов, возможность организации более плотных сетей наблюдения для мониторинга локальной и региональной сейсмичности.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ИЗВЕСТНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ**

В России численной коррекцией первичной сейсмограммы с помощью низкочастотной деконволюции [Юшин, 2001; Дергач и др., 2018] занимается Институт геофизики СО РАН. Приборные разработки представлены за рубежом, например, в Национальном институте геофизики и вулканологии в Италии [Romeo, 2012; 2013; Vitale et al., 2018].

**СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ И ПАТЕНТНОЙ ЗАЩИТЕ РАЗРАБОТКИ**

Первая схема коррекции путем перемножения передаточных функций создана на основе полезной модели устройства, защищенной патентом Н.В. Кабыченко, А.Н. Беседина, Д.В. Павлов «Устройство для коррекции частотной характеристики датчика» № 2011119205/28 МПК G01V/00(2006.01) 13.05.2011.

**Публикация:** *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г.* **Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона** // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 3. С. 5–22. https://doi.org/10.21455/si 2019.3-1.

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме: **Разработка комплексной модели воздействия на внутренние и внешние геосферы внедряющихся космических тел и оценка последствий таких падений** (проект № 0146-2019-0002).

*Исполнители: д.ф.-м.н. Н.А. АРТЕМЬЕВА, Д.О. ГЛАЗАЧЕВ, Е.Д. ПОДОБНАЯ, к.ф.-м.н. О.П. ПОПОВА, д.ф.-м.н. В.В. СВЕТЦОВ, д.ф.-м.н. И.С. ТУРУНТАЕВ, к.ф.-м.н. В.М. ХАЗИНС, д.ф.-м.н. В.В. ШУВАЛОВ*

**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Разработан калькулятор характеристик явлений, сопровождающих падения космических тел. Область применения калькулятора – оценка факторов воздействия ударов космических тел на биосферу и инфраструктуру среды обитания Для тел диаметром от 15 м до 3 км с плотностью от 500 до 3320 кг/м$^3$ (т.е. кометного и астероидного происхождений), со скоростями входа в атмосферу (на высоте 100 км от поверхности земли) от 10 до 72 км/с и углами входа от 15 до 90 градусов (от горизонтали). Калькулятор позволяет оценивать:

а) избыточное давление и скорость ветра за фронтом ударной волны;

б) тепловые эффекты: длительность импульса излучения, полную энергию излучения, максимальное значение плотности потока энергии теплового излучения и др.;

в) размер кратера в случае его образования и объем выбросов из него, а также объем расплава;

г) сейсмический эффект: магнитуду возмущения по шкале Рихтера, интенсивность по шкале Меркалли, максимальные скорость и ускорение поверхности Земли;

д) возмущение ионосферы атмосферным плюмом, инициированным падением космического тела: максимальную амплитуду колебаний плотности на высоте 300 км и температуру на высоте 100 км.

**ОБЛАСТЬ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Калькулятор одновременно может быть использован как учеными, занимающимися проблемами эволюции Земли, так и специалистами МЧС в качестве основы для разработки системы противодействия астероидной опасности, поскольку позволяет быстро получить полную оценку всех опасных последствий входа космических тел.

**СТЕПЕНЬ ГОТОВНОСТИ РАЗРАБОТКИ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ**

Калькулятор представляет собой web-приложение, размещенное в сети интернет по адресу HTTP://WWW.ASTEROIDHAZARD.PRO, и готово к практическому использованию.

Возможный технический и(или) экономический эффект от внедрения.

Быстрая оценка последствий от падения на землю космических тел с заданными параметрами.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ С ИЗВЕСТНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ**

Основные отличия разработанного нами калькулятора от известного калькулятора impactearth [Collins et al., 2005; 2017] состоят в использовании аппроксимаций, основанных не на результатах ядерных испытаний, а на результатах численного моделирования ударов космических тел, учитывающих угол наклона траектории и реальные свойства ударников. Кроме того, в калькуляторе impactearth полностью отсутствуют ионосферные эффекты, используется более низкое и менее обоснованное значение эффективности сейсмического отклика на падение космического объекта, используется упрощенная квази-аналитическая модель разрушения тела в атмосфере, которая приводит к завышенной оценке торможения тела в атмосфере.

**СВЕДЕНИЯ О ПАТЕНТОСПОСОБНОСТИ И ПАТЕНТНОЙ ЗАЩИТЕ РАЗРАБОТКИ**

Теоретическое обоснование калькулятора и используемые аппроксимации опубликованы в 21 печатной работе.

**Публикация:** *Svetsov V., Shuvalov V., Collins G., Popova O.* (2019) **Impact hazard of large meteoroids and small asteroids** // Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond, Ryabova G.O., Asher D.J., and Campbell-Brown M.D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 pp., ISBN 9781108426718, 2019, p. 275–298. DOI:10.1017/9781108606462 Scopus.

# Результаты, полученные Институтом в 2019 году, по темам Государственного задания, Программам РАН

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ: ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ, ВКЛЮЧАЯ ИОНОСФЕРУ И МАГНИТОСФЕРУ ЗЕМЛИ, КРИОСФЕРЕ И НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ

№ 0146-2019-0010 **Исследование процессов в ионосфере при воздействии рентгеновского и гамма-излучения Солнца** (*рук. проекта к.т.н. А.Н. ЛЯХОВ*).

Разработана модель и вычислительный алгоритм (HMSXS) восстановления рентгеновской составляющей спектра Солнца по данным одновременных измерений интегральных энергетических характеристик в каналах XL (0.1–0.8 нм) и XS (0.05–0.4 нм или 0.05–0.3 нм) спутников GOES и канала QD (0.1–7 нм) спутника SDO. Сопоставление модельного спектра с данными измерений спутника RHESSI позволило определить границу перехода температурного спектра в степенной. В связи с окончанием работы ИСЗ RHESSI новая методика позволит в дальнейших исследованиях использовать данные ИСЗ GOES.

Верификация комплекса «модель среды – модель ионизации» на данных СДВ-ДВ мониторинга и измерениях параметров Шумановского резонанса на всех солнечных вспышках в сентябре 2017 года, включая рекуррентные события, позволяет утверждать, что точность расчета скоростей фотопроцессов превалирует над плазмохимическими моделями среды, и усложнение последних не дает роста точности описания процессов в нижней ионосфере.

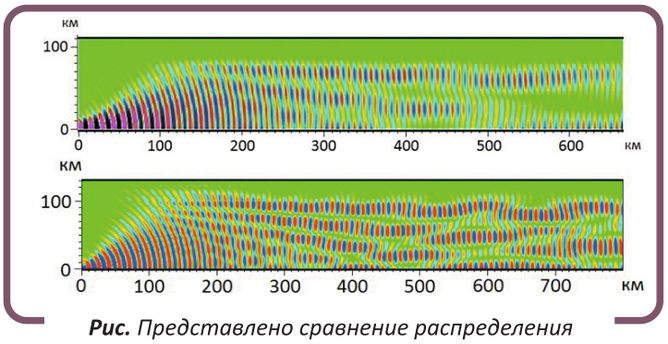



***Рис.*** *Представлено сравнение распределения электрического поля в пространстве от наземного передатчика (20 кГц) в изотропной ионосфере (верх) и с учетом геомагнитного поля (низ)*

**Публикации:**

1. *Goncharov E.S., Lyakhov A.N., Loseva T.V.* **3D-FEM simulation model of the Earth-ionosphere cavity** // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. 2019. V. 33. N. 6. P. 734–742.

2. *Lyakhov A.N., Kozlov S.I., Losseva T.V., Korsunskaya Yu.A., Bekker S.Z., Gavrilov B.G., Kudryavtsev V.P., Goncharov E.S.* **The comparison of standard and swarm D-layer ionosphere models on the simulation of the X-ray flare response** // 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics / Novosibirsk, (30 June–5 July 2019 г.).— Proc. SPIE. Vol. 11208. 112088Z. DOI: 10.1117/12.2540423.

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

№ 0146-2019-0001 **Разработка методологии прогноза последствий изменения режимов деформирования потенциально опасных участков земной коры (разломы, трещины, подземные сооружения и т.д.) при эндогенных и экзогенных воздействиях** (*рук. проекта д.ф.-м.н. Г.Г. КОЧАРЯН*)

Сформулированы базовые представления о структуре, фрикционных свойствах и вкладе в сейсмическое излучение особенных участков тектонического разлома – зон «asperiries». Рассмотренная простейшая схема иерархии «asperities» в зоне разлома, безусловно, являясь слишком упрощенной, позволяет тем не

менее, продемонстрировать, что старт, эволюция и остановка сейсмогенного разрыва определяются наличием областей, обладающих разной динамикой фрикционных характеристик в процессе скольжения – участков разупрочнения, упрочнения и почти нейтральных по отношению к скорости и смещению:

- Старт динамического разрыва всегда происходит на участке разупрочнения (asperity).
- Между участками разупрочнения скорость распространения разрыва и скорость скольжения снижаются, вновь увеличиваясь на соседних пятнах.
- На участках с упрочнением резко снижается скорость нарастания сейсмического момента и величина излучаемой энергии.
- При наличии больших участков упрочнения, землетрясение вырождается в событие медленного скольжения либо полную остановку разрыва.

Детально исследован процесс инициирования тектонических землетрясений горными работами. В качестве вероятных триггеров рассмотрены общая техногенная нагрузка на регион, воздействие сейсмических колебаний от взрывов, выемка и перемещение больших объемов породы, изменение флюидодинамического режима. Показано, что открытые горные работы в карьерах способны лишь приблизить момент землетрясения на потенциально сейсмоактивном разломе. В тоже время подземная отработка месторождений, изменяя упругие свойства вмещающего массива в окрестности тектонического разлома, способна спровоцировать небольшое землетрясение с M ~ 3-4 даже на ранее асейсмичном участке.

Анализ динамики уровня подземных продемонстрировал, что сейсмовзрывное воздействие сопровождается как динамическими, так и постсейсмическими эффектами, соответствующих необратимому изменению структуры трещинно-порового пространства и его эффективных характеристик особенно в зонах динамического влияния разломных зон.

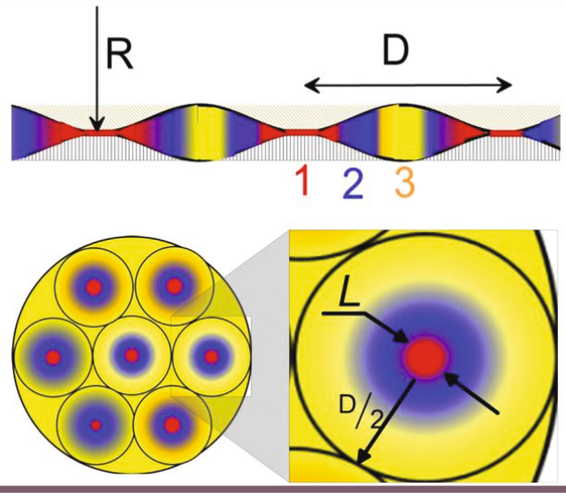



***Рис.*** *Простейшая фрикционная модель шероховатого контакта. Сверху представлен вид вдоль направления простирания, снизу – вид части контакта вдоль плоскости падения. Область действительного контакта (зона скоростного разупрочнения) диаметром L окружена областью разгрузки диаметром D. Область разгрузки напряжений включает зону скоростного упрочнения (желтая область) и переходную зону (синяя)*

**Публикации:**

1. *Kocharyan G.G.* **Acoustic Emission in a Layer of Geomaterial under Deformation by Shear** / G.G. Kocharyan, K.G. Morozova, A.A. Ostapchuk // J. Min. Sci. 2019. T. 55. № 3. C. 358–363. DOI: 10.1134/S1062739119035660.

2. *Kocharyan, G.* **Triggering Tectonic Earthquakes by Mining** / G. Kocharyan, A. Budkov, S. Kishkina Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2019.

3. *Кочарян Г.Г.* **О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов** / Г.Г. Кочарян, В.И. Куликов, Д.В. Павлов // ФТПРПИ. 2019. № 6.

4. *Gorbunova, E.* **Study of the hydrogeological responses from the far earthquakes.** International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. DOI: 10.5593/sgem2019/1.2.

№ 0146-2019-0002 **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. Показано, что последствия падения на Землю космических тел существенно зависят от рельефа местности в районе падения. Особенно велико влияние рельефа на атмосферные эффекты, производимые ударом. При этом наличие выпуклостей (горы) приводит к увеличению зоны разрушений, вызванных ударом на поверхности земли, и зоны возникновения массовых пожаров, а наличие вогнутостей (впадин) уменьшает размеры зон поражения. Различие в площади зоны поражения может достигать одного-двух порядков.

2. Проведены расчеты распространения выбросов при ударе астероида размером 1-3 км в одиночную гору и горный хребет. Показано, что при таких ударах масса выбросов, потенциально образующих тектиты (расплав, выброшенный из поверхностного слоя с достаточными скоростями), может быть в 1.5–2 раза больше, чем при ударе по ровной поверхности. Однако в точке удара должен образоваться кратер размером в несколько десятков километров, который до сих пор не найден. Одним из возможных вариантов является удар в гору, расположенную на острове (вулканический остров).

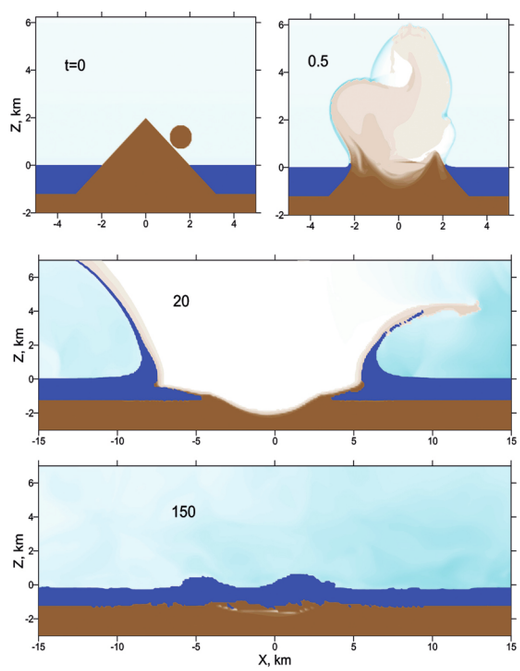



***Рис. 2.*** *Последовательные стадии удара километрового астероида в гору на острове. Синим цветом показана вода, коричневым – грунт, голубым – воздух. Более интенсивная закраска соответствует большей плотности вещества. Время t указано в секундах*

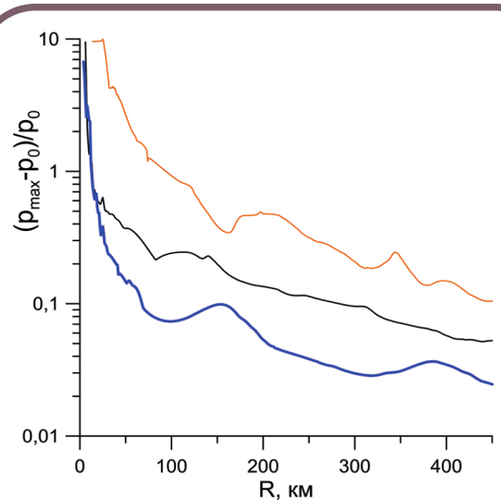



***Рис. 1.*** *Зависимость максимального относительного избыточного давления в воздухе $(p_{max}-p_0)/p_0$ на поверхности земли от расстояния R. $p_{max}$ – максимальное давление за все время, $p_0$ – атмосферное давление на нулевой высоте. Черная кривая соответствует удару километрового астероида по ровной поверхности, серая – падению астероида во впадину радиусом H = 2 км, пунктирная – удару в гору радиусом H = 2 км*

3. В результате оптических наблюдений с нескольких пунктов (Звенигородской обсерватории ИНАСАН, пункта «Истра» и геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН) было получено несколько тысяч метеорных регистраций, для которых были определены различные параметры (радиант, геоцентрическая скорость, высота загорания и затухания, звездная величина, орбитальные параметры и др.).

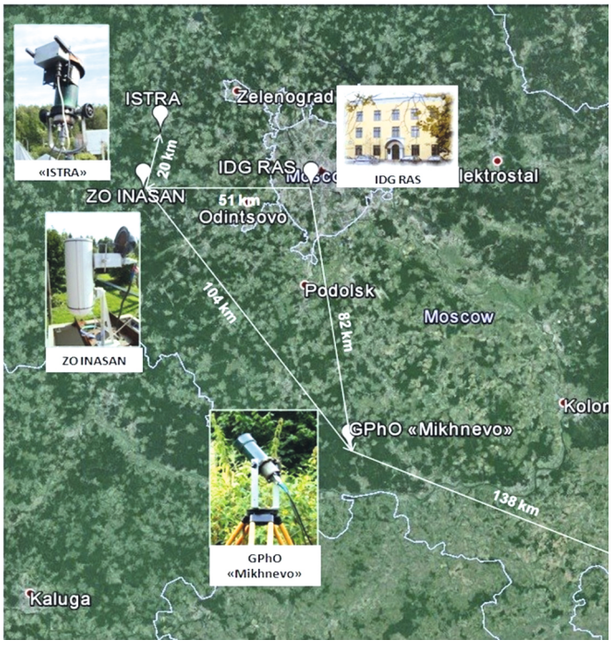



***Рис. 3.*** *Расположение оптических камер. Показаны Звенигородская обсерватория (ZO INASAN), обсерватория «Михнево» (GPhO Mikhnevo), пункт наблюдения Istra, направление на возможный пункт наблюдения в Рязани*

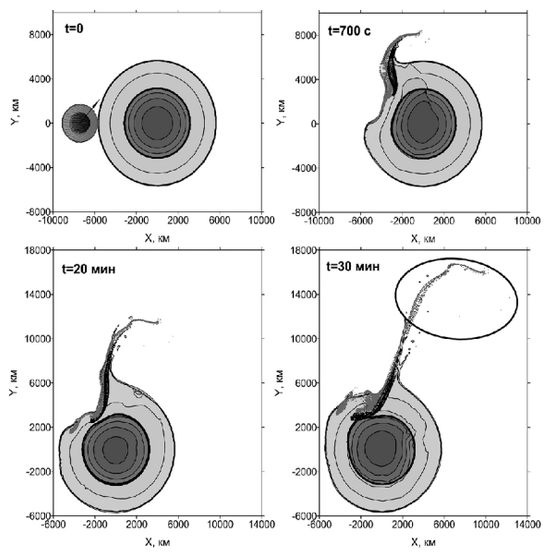



***Рис. 4.*** *Удар астероида по Земле под углом 50°. Отношение диаметра астероида к диаметру Земли = 0.3. Внутри эллипса находятся осколки, которые в рассеянном виде переходят на гелиоцентрические орбиты*

4. По данным, полученным в результате численного моделирования ударов космических тел по растущей Земле, найдена зависимость массы ударного выброса вещества $me$ от относительной массы ударника $\mu = mi/m(t)$, где $m(t)$ – масса растущей планеты. Интегрирование этой зависимости по $mi$ с учетом распределения допланетных тел по массам и потока падающих тел на растущую Землю в зависимости от времени позволило определить поток выброшенного с растущей планеты вещества при макроударах (рис. 4).

**Публикации:**

1. *Artemieva N. & Shuvalov V.* 2019. **Atmospheric shock waves after impacts of cosmic bodies up to 1000 m in diameter** // Meteoritics and Planetary Science 54: 592-608. DOI: 10.1111/maps.13229.

2. *Artemieva N., Shuvalov V.V., & Khasins V.M.* 2019. **Upper atmosphere effects after the entry of small cosmic bodies: Dust trains, plumes, and atmospheric disturbances** // Icarus 327: 60-71. DOI: 10.1016/j.icarus.

3. *Svetsov V., Shuvalov V., Collins G., Popova O.* (2019) **Impact hazard of large meteoroids and small asteroids** // Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond, Ryabova G.O., Asher D.J., and Campbell-Brown M. D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 pp., ISBN 9781108426718, 2019, p. 275-298. DOI:10.1017/9781108606462.

3. *Luther R., Artemieva N., & Wunnemann K.* 2019. T**he effect of atmospheric interaction on impact ejecta dynamics and deposition** // Icarus 333: 71-86. DOI: 10.1016/j.icarus.2019.05.007.

4. *Печерникова Г.В., Сергеев В.Н.* Краткий обзор гипотезы формирования протолунного роя в процессе ко-аккреции с учетом ударных выбросов вещества Земли // Динамические процессы в геосферах. Вып.11: Сборник научных трудов ИДГ РАН. Москва. Графитекс. 2019. С. 92–99.

5. *Афанасьев В.Н., Печерникова Г.В.* **О вероятности захвата планетезималей в протолунный рой в процессе формирования системы Земля-Луна** // Динамические процессы в геосферах. Вып.11: Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: Графитекс, 2019. С. 72–83.

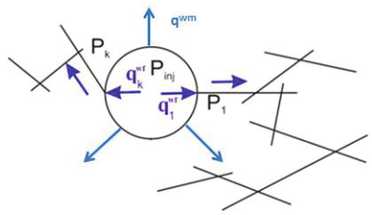
6. *Podobnaya E., Glazachev D., Popova O., Svetsov V., Shuvalov V.* (2019) **Scaling relations for radiation effects due to impacts of large cosmic object**s. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences P. 569-577 DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0.

7. *Glazachev D., Podobnaya E., Popova O., Svetsov V., Shuvalov V., Artemieva N.* (2019) S**caling Relations for Shock Wave Effects from the Impacts of Cosmic Objects with Diameters from a Few Meters to 3 Km**. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Springer, Cham. P. 475–486. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0. WoS.

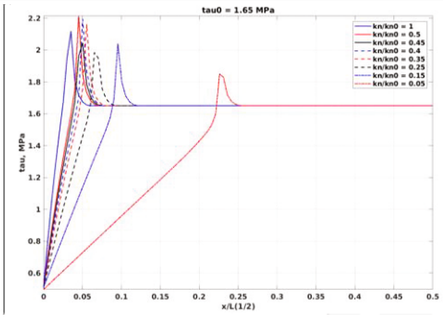
№ 0146-2019-0007 **Решение задач геодинамической безопасности флюидных систем земной коры, включая области шельфа** (*рук. проекта д.ф.-м.н. С.Б. ТУРУНТАЕВ*)

1. Разработана численная модель, позволяющая решать связную задачу о фильтрации и изменении порового давления в коллекторе, обладающем двойной пористостью, и сопутствующей техногенной сейсмичности, рассчитывать перемещения в системе трещин и их взаимное влияние. Для описания перемещений используется двухпараметрический закон трения с разупрочнением. Предложенный подход был верифицирован на данных по сейсмичности в районе геотермального проекта и данных натурных экспериментов по закачке жидкости. Анализ факторов, влияющих на сейсмическое или асейсмическое скольжение по разлому, показал, что основным параметром является жесткость разлома.

Предложенная модель фильтрации и инициированнии подвижек по разломным структурам может послужить основой при планировании операций по закачке/добычи флюида с целью минимизировать риски возникновения техногенной сейсмичности.




*Схематичное распределение потока флюида из скважины в коллектор с двойной пористостью*

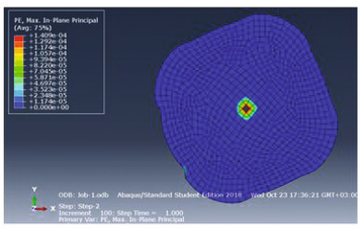



*Распределение касательного напряжения, действующего на берегах разлома, по его длине для различных значений нормальной жесткости разлома*

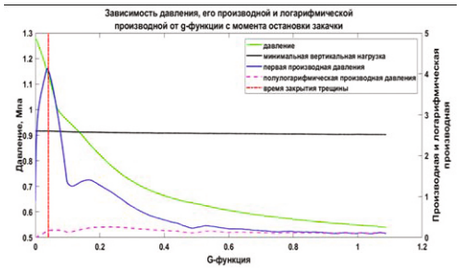
**Публикации:**

*Riga V., Turuntaev S.* (2019) **Modeling of Fault Deformation Driven by Fluid Injection**. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham.

2. В результате проведения серии экспериментов и численных расчетов было найдено, что для адекватной оценки минимальных сжимающих напряжений по характерным значениям изменения давления в скважине необходимо учитывать пластические свойства породы, диффузию порового давления в окрестности скважины и трещины ГРП за время проведения гидроразрыва, отставание заполнения жидкостью трещины по сравнению с временем образования и распространения трещины ГРП. Была показана необходимость корректировки широко применяемого в геомеханике и нефтяном инжиниринге метода оценки минимальных горизонтальных напряжений с помощью G- функции. Учет напряжения back-stress при вычислении минимального тектонического напряжения по оценке давления закрытия трещины существенно сокращает разницу между вычисленным минимальным напряжением и известным из условий экспериментов. Полученные результаты могут быть использованы для лучшего понимания механики образования и развития трещин ГРП.



*Пластические деформации модельного образца в окрестности скважины*




*Определение давления закрытия трещины гидроразрыва с использованием метода G-функции*

**Публикации:**

1. *Е.В. Зенченко, М.А. Тримонова, С.Б. Турунтаев.* **Лабораторное моделирование гидроразрыва пласта и сопутствующих процессов** // Нефтяное хозяйство. Октябрь 2019. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-10-68-71.
2. *Зенченко Е.В., Зенченко П.Е., Тримонова М.А., Турунтаев С.Б.* **Экспериментальное изучение формирования лага при ГРП** // Нефтегаз.ру, № 7, 2019. С. 90–92.
3. *Novikova H.V., Trimonova M.A.* **Hydraulic Fracturing Pressure Curves as a Way for Determining Reservoir Parameters** // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Trigger Effects in Geosystems. The 5th International Conference, Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences: pp 269–278.

3. Сейсмические исследования на Каспийском море выявили наличие в верхней части дна вертикальных узких областей с повышенной проницаемостью (так называемых «газовых труб»), через которые может происходить фильтрация вод Каспия в проницаемые породы. Для проверки гипотезы того, что на колебания уровня вод Каспия могут повлиять пространственно-распределенные в дне «газовые трубы», было рассмотрено решение нестационарного уравнения пьезопроводности для двумерной прямоугольной области, имитирующей часть дна Каспийского моря, с равномерно-распределенными стоками, имитирующими «газовые трубы». Данные по фильтрационным свойствам, в частности, значения порового давления, проницаемости породы, вязкости жидкости, брались из данных по близлежащим месторождениям углеводородов. Результаты моделирования показали, что фильтрация жидкости через «газовые трубы», обусловленная тектоническими процессами, может существенно влиять на уровень Каспия.

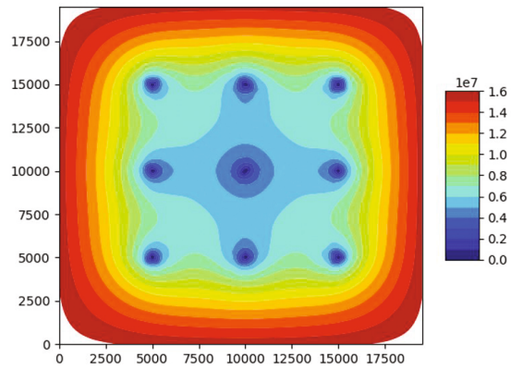
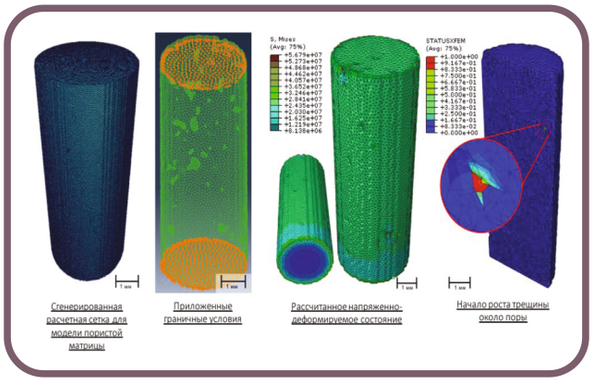



*Рис. Пример распределения порового давления в области*




4. Проведено численное моделирование напряженно-деформированных состояний однородных моделей в простой геометрии с наличием пор. Отслеживалось распространение трещин в моделях, выявлялись зоны возникновения трещин, характер формы трещин. Данные 2D QEMSCAN использовались для моделирования псевдотрехмерной механической модели части исследуемой горной породы, сгенерирована расчетная сетка, смоделирована напряженно-деформированные состояния с использованием программного обеспечения Abaqus (рис. слева).

**Публикации:**

1. *Начев В.А., Казак А.В., Турунтаев С.Б.* **Физико-математическое моделирование процессов механического разрушения пород-коллекторов в микро- и наномасштабах** // Профессионально о нефти. PROНЕФТЬ. 2019.

**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

№ 0146-2019-0004 **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*)

МСГ «Михнево» ведет регистрацию промышленных взрывов на карьерах, расположенных в центральной части ВЕП, начиная с 2004 года. С 2009 г. устанавливались временные группы ИДГ РАН на площадках, предназначенных для размещения объектов повышенной опасности. Всего было установлено 5 временных групп: «Сосновый бор» (SB) 2009-2010 гг., «Монаково» (NN) 2011-2014 гг., «Курск» (KU) 2015 г., «Волгодонск» (RD) 2016 г., «Курчатов» (KUR) 2018 г. Продолжительность работ групп составляла от 1 до 4 месяцев. Общее количество зарегистрированных промышленных взрывов составило – 977. Для событий, зарегистрированных одновременно и МСГ «Михнево», и временными группами, обработка и локация проводилась совместно, что позволило уточнить положение эпицентров, а также, оценить регистрационные возможности каждой из групп.

На основе наблюдений 2004-2019 гг. МСГ «Михнево» были получены обобщенные «портреты» взрывов, учитывающие вариации волновых форм для каждого карьера. Всего создано 28 портретов для карьеров, взрывы на которых производятся не менее 10 раз в год. В дальнейшем они использовались для автоматической идентификации событий с применением методов кросс-корреляции и вейвлет-анализа (рис. 1).

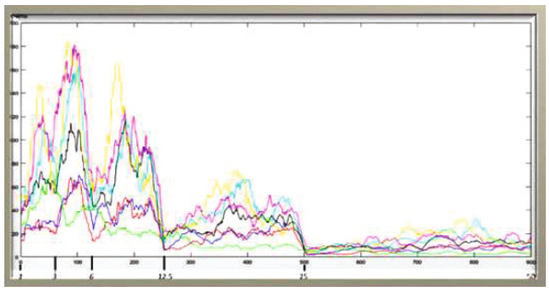


***Рис. 1.*** *Кривые коэффициентов декомпозиции вейвлет-преобразования сигнала вертикальной составляющей (Z) взрывов на карьере Михайловского ГОКа за 2018 год*

**Публикации:**

1. *И.А. Санина, О.Ю. Ризниченко, С.Г. Волосов, М.А. Нестеркина, Н.Л. Константиновская.* **Уникальной научной установке «Михнево» ИДГ РАН – 15** // Динамические процессы в геосферах: сб. научн. тр. ИДГ РАН. Вып. 11. М. : Графитекс. 2019.

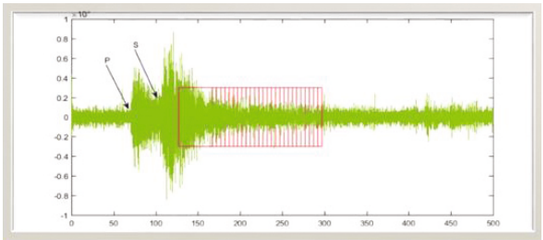



***Рис. 2.*** *Пример волновой формы события 180315 и временной диапазон определения параметров добротности по методу SSR*

Методика определения добротности среды по коде волны Lg на основе метода SSR адаптирована к использованию записей волновых форм от карьерных взрывов. Алгоритм SSR (stacked-spectral-ratio) основан на расчете отношения спектров в последовательных временных окнах коды волны Lg, по данным одной сейсмограммы, исключающий влияние источника и условий точки наблюдения. В качестве исходных данных были использованы сейсмограммы регистрации крупных промышленных взрывов в карьерах на расстояниях 300-400 км от ГФО "Михнево", записи которых обладают относительной стабильностью волновых форм и содержат интенсивные фазы волны Lg (рис. 2).

Серия записей взрывов на карьере Михайловский использована для определения параметров добротности по коде волны Lg. Добротность представлена степенной зависимостью $Q(f) = Q_0 f^{\eta}$, где $Q_0$–добротность на частоте 1 Гц и $\eta$ – показатель степени. Исследована зависимость величины добротности от длительности коды, уровня сейсмического шума, частотного диапазона. В диапазоне 3–6 Гц получены средние значения $Q_0$ = 592.41 ± 67.7; $\eta$ – 0.53 ± 0.05 (придлинекоды 100–120 сек) и $Q_0$ = 285.55 ± 65.1; $\eta$ = 0.84 ± 0.07 (придлинекоды 40–60 сек). Полученные значения параметра добротности более характерны для районов умеренной тектонической активности, что может быть связано со значительной раздробленностью земной коры.

Трасса сейсмического луча ГФО «Михнево» – карьер «Михайловский» проходит, в частности, через территорию Тульской области, на которой отмечены, с одной стороны карстовые полости, а с другой – расположено несколько карьеров, ведущих взрывные работы, по своей суммарной интенсивности сопоставимые со взрывами на крупнейших карьерах Курской магнитной аномалии (рис. 3).

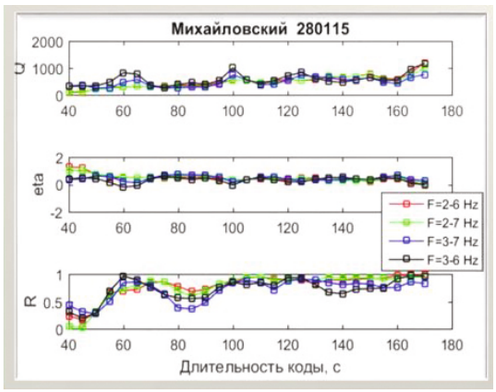



***Рис. 3.*** *Зависимость параметров $Q_0$, $\eta$ и коэффициента R от длительности коды при линейной аппроксимации функции $F_k$ в различных частотных диапазонах для события 280115. Максимальные значения R достигаются на временах в коде 60 с и 100–120 с*

Была проведена калибровка сейсмических датчиков с целью уточнения их амплитудно-частотных характеристик. Для повышения разрешающей способности группы была проведена замена 2-х вертикальных сейсмодатчиков на 3-компонентные, что позволит использовать методы кросс-корреляции волновых форм к наблюдениям на горизонтальных компонентах. Параллельно велась работа по разработке усилителя для сейсмоприёмника СМ-3 с возможностью коррекции частотной характеристики последнего с целью расширения его рабочей полосы в сторону нижних частот до 0.1 Гц. Эта разработка готова к внедрению (рис. 4).

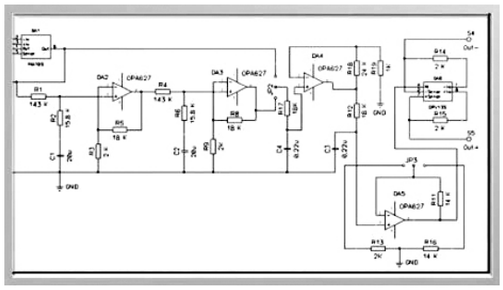


***Рис. 4.*** *Схема усилителя, позволяющая расширить частотный диапазон датчика СМ3-КВ*

**Публикации:**


1. *Тарасов С.А., Ризниченко О.Ю., Санина И.А., Варыпаев А.В, Воронин Г.А.* **Добротность в центральной части ВЕП, определенная по коде волны Lg по данным МСГ «Михнево»** // Российский сейсмологический журнал. 2019. Т. 1, № 1. С. 57–67. DOI-10.35540/2686-7907.
2. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г.* **Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона** // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 3, С. 5–23.


Проведен анализ структуры сейсмического волнового поля с использованием двух численных методов: DSM и AXISEM; получены оценки требуемых вычислительных ресурсов. Для эпицентральных расстояний 170–180° и 49 станций наблюдений вычисления длятся 9 часов с использованием DSM и минимум 2 часа

с использованием AXISEM. Обе программы дают схожие результаты в рассмотренных нами стандартных и модифицированных моделях Земли с присутствием переходной зоны между внешним и внутренним ядром. Однако сейсмограммы, рассчитанные по программе DSM, осложнены высокочастотной помехой. Для исследования низкоскоростных моделей в основании внешнего ядра предпочтительнее использовать DSM (рис.5).

Показано, что при оценке скачка плотности по амплитудному отношению PKiKP/PcP по данным одиночных станций на расстояниях свыше 14$^0$ необходимо учитывать структурные особенности коры и верхней мантии. В частности, скоростные неоднородности вертикального простирания приводят к искусственному завышению оценок скачка плотности (рис. 6).

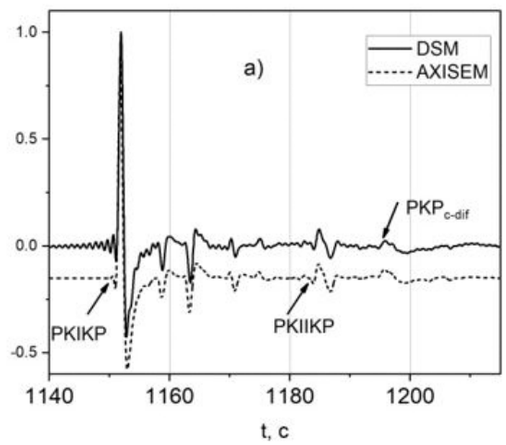



***Рис. 5.*** *Сравнение результатов расчёта сейсмограмм методами DSM (сплошная линия) и AXISEM (пунктирная линия) для источника на глубине 500 км и расстоянии Δ=179.6$^0$. Показаны фрагменты сейсмограмм длительностью 110 с. Сейсмограммы нормированы на максимальную амплитуду волны PKIKP*

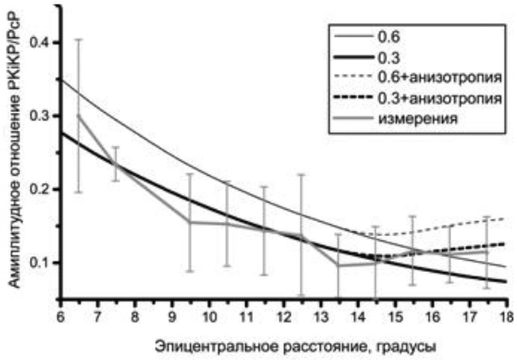



***Рис. 6.*** *Теоретические (чёрный цвет) и экспериментальные (серый цвет) кривые зависимости амплитудного отношения PKiKP/PcP от эпицентрального расстояния (см. легенду в правом верхнем углу). Серые планки – стандартное отклонение измеренных значений. Теоретические кривые приведены для скачка плотности в стандартной модели (0.6 г/см$^3$) и скачка 0.3 г/см$^3$*

**Публикации:**


1. *Краснощеков, Д.Н., В. М. Овчинников, О. А. Усольцева.* **О скорости поперечных волн в верхней части внутреннего ядра Земли** // Доклады Академии Наук, т. 488, № 4, с. 434–438, 2019. https://doi.org/10.31857/S0869-56524884434-438).
2. *Краснощеков Д.Н.* **О смещении оценок скачка плотности на границе внутреннего ядра Земли по амплитудному отношению PKiKP/PcP** // Динамические процессы в геосферах: сб. научных трудов ИДГ РАН, вып. 11. М. : ИДГ РАН. С. 43–47, 2019. https://doi.org/10.26006/IDG.2019.11.38628 .


№ 0146-2019-0006 **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*)

Спектральный анализ микросейсмического шума в районе Чилийской зоны субдукции позволил обнаружить процесс подготовки крупнейших сейсмических событий в виде снижения частоты собственных колебаний.

Предложена аналогичная методика исследования процесса подготовки динамических событий на меньшем иерархическом уровне; в первую очередь – для участков расположения горных предприятий.

В рамках развития концепции сейсмического мониторинга в условиях слабоактивных территорий рассмотрены разные типы техногенной сейсмичности; поскольку техногенное воздействие является одним из возможных сценариев возникновения заметного сейсмического события в условиях слабоактивной территории. Обоснованы основные требования к характеристикам аппаратуры сейсмического мониторинга, разработаны приборные схемы коррекции по расширению частотных характеристик разных типов сейсмометров в область низких частот.

Проведена оценка действия массовых взрывов на прилегающую к карьерам жилую застройку. Получены величины смещений, возникающих на бортах карьерах в результате взрывов (для оценки возможности перехода на перемещение вскрышных пород не грузовым, а конвейерным транспортом.

***Рис. 2.*** *Пример оценки балльности в жилых районах города Губкин. Карта-схема города с границами горного отвода шахты им. Губкина; в квадратах - величина балльности при одном из взрывов в шахте. Цифры в квадратах соответствуют величине балльности в зоне, ограниченной окружностью; красные квадраты с цифрами – местоположение взрывной камеры и порядок её подрыва при массовом взрыве; голубая линия отмечает границы горного отвода шахты; желтые значки – места расположения стационарного и мобильных пунктов сейсмической регистрации*

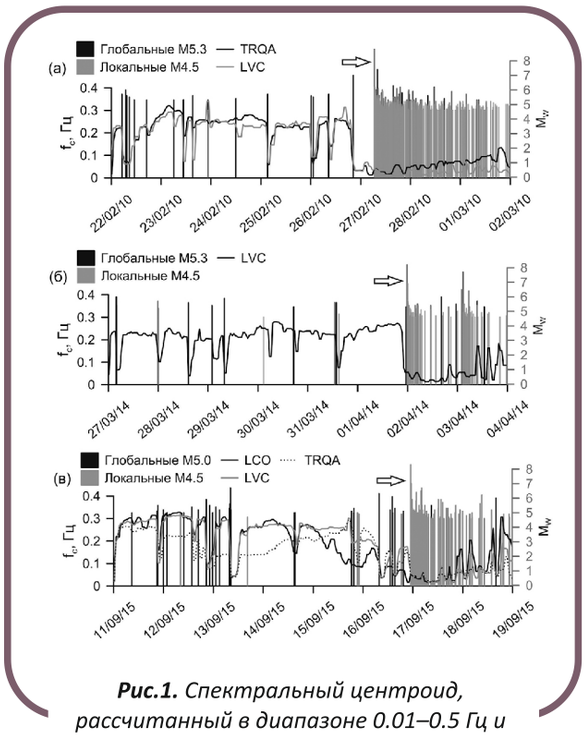



***Рис.1.*** *Спектральный центроид, рассчитанный в диапазоне 0.01–0.5 Гц и сглаженный медианным фильтром первого порядка по 9 точкам, для землетрясений, произошедших в Чили (стрелкой показан момент землетрясения)*

**Публикации:**


1. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г.* **Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона** // Сейсмические приборы. – 2019. Т. 55, № 3. С. 5–23.

2. *Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Budkov A.M., Ivanchenko G.N.,* 2019. **On the genesis of the 2013 Bachat earthquake** // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. T. 10, No 3. P. 741–759. https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-3-0439.

3. *Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В.* **Об инициировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием** // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. Т. 18, № 3. С. 104–116. https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-7.

4. *А.Н. Беседина, С.Б. Кишкина, Г.Г. Кочарян, И.А. Ряховский.* **Анализ микросейсмического фона до и после сильных землетрясений на примере Чилийской зоны субдукции** // Физика Земли. Принято к печати (2020. N2)

5. *Varypaev, A.V., Sanina, I.A., Chulkov, A.B., and Kushnir, A.V.* **Application of Robust Phase Algorithms for Seismic Emission Detection in the Area of Blasting Operations in Mines** // Seismic Instruments. 2019. Vol. 55. No. 2. P. 136–147.

6. *Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* **О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов** // ФТПРПИ. 2019. № 6. С. 49–58.
7. *Kocharyan G., Budkov A., Kishkina S.* **Triggering Tectonic Earthquakes by Mining**. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_34.
8. I*vanchenko G., Kishkina S.* **Formalized lineament analysis as a basis for seismic monitoring of platform areas**. In Trigger Effects in Geosystems. The 5th International Conference, Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences. Springer International Publishing. 2019. P. 61–71. Doi:10.1007/978-3-030-31970-0.
9. *Беседина А.Н.* **Анализ параметров низкочастотного микросейсмического фона на Камчатке**. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Седьмой научно-технической конференции 29 сентября–5 октября 2019 г., г. Петропавловск-Камчатский.

№ 0146-2019-0005 **Коррекция мощного светового излучения, прошедшего рассеивающую и сильно турбулентную атмосферу** (*рук. проекта д.ф.-м.н. А.В. КУДРЯШОВ*)

В 2019 году на основе математической модели распространения лазерного излучения сквозь турбулентную атмосферу (разработана на предыдущем этапе в 2018 году) были определены основные требования, предъявляемые к адаптивной оптической системе коррекции волнового фронта лазерного излучения. Одним из основных требований является быстродействие системы – порядка 1500 кадров в секунду. Для реализации данного параметра было разработано математическое обеспечение специализированной программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), выполняющей все основные стадии управления корректором волнового фронта: анализ волнового фронта, расчет вектора корректирующих напряжений, загрузку найденного вектора в блок управления корректирующим зеркалом. Работа ПЛИС интегрирована в приложение для персонального компьютера (ПК), которое предназначено для управления режимами работы ПЛИС, а также отображения процесса коррекции волнового фронта на экране ПК. В результате данной работы изготовлен макет адаптивной оптической системы, работающей в частотном диапазоне 100–1500 Гц и способный корректировать волновой фронт лазерного излучения. Данный макет является основой для реализации Госзадания на 2020 год по созданию системы передачи лазерного излучения на расстояние более 200 м с использованием элементов адаптивной оптики, а также для проведения серии научных экспериментов.

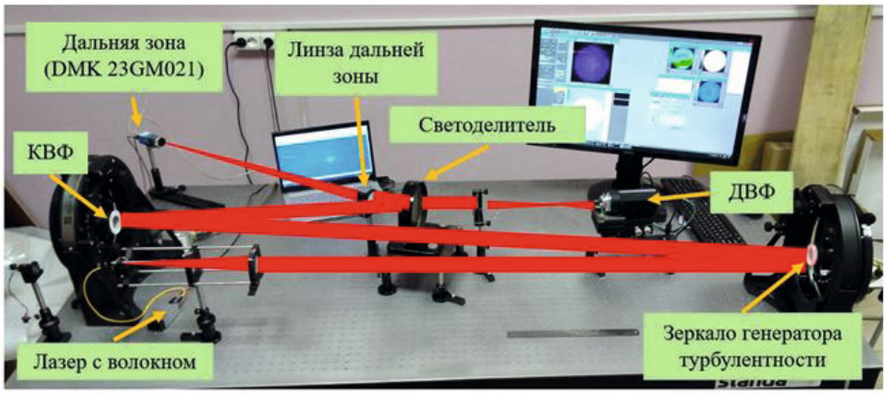



***Рис.*** *Лабораторный стенд для тестирования быстрой (1500 Гц) адаптивной оптической системы*

**Публикации:**

1.*Топоровский В.В., Скворцов А.А., Кудряшов А.В., Самаркин В.В., Шелдакова Ю.В., Пшонкин Д.Е.* **Гибкое биморфное зеркало с высокой плотностью управляющих электродов для коррекции аберраций волнового фронта**, Оптический журнал 86(1), с.40–47, 2019. DOI:10.17586/1023-5086-2019-86-01-40-47-2.
2. *V.V. Toporovskii, A.A. Skvortsov, A.V. Kudryashov, V.V. Samarkin, Yu.V. Sheldakova, and D.E. Pshonkin* **Flexible bimorphic mirror with high density of control electrodes for correcting wavefront aberrations** // J. Opt. Technol. 86, pp. 32–38, 2019. DOI: 10.1364/JOT.86.000032-2.

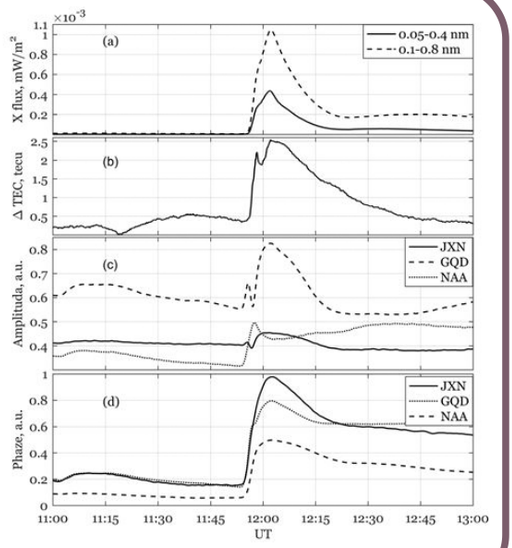
3. *Galaktionov, A. Kudryashov, J. Sheldakova, A. Nikitin*, **Laser beam focusing through the dense multiple scattering suspension using bimorph mirror**, Proc. SPIE 10886, pp. 1088619, 2019. DOI: 10.1117/12.2509621 - 4
4. *V. Toporovsky, A. Kudryashov, V. Samarkin, J. Sheldakova, A. Rukosuev,* **Wide aperture high resolution stacked-actuator deformable mirror for high power laser beam correction**, Proc. SPIE 10898, pp. 1089809, 2019. DOI: 10.1117/12.2510144 - 4.
5. *A. Nikitin, I. Galaktionov, J. Sheldakova, A. Kudryashov, N. Baryshnikov, D. Denisov, V. Karasik, A. Sakharov*, **Absolute calibration of a Shack-Hartmann wavefront sensor for measurements of wavefronts**, Proc. SPIE 10925, pp. 109250K, 2019. DOI: 10.1117/12.2510047 - 4.
6. *J. Sheldakova, I. Galaktionov, A. Nikitin, A. Rukosuev, V. Toporovsky, A. Kudryashov, V. Samarkin,* **Stacked-actuators deformable mirror vs bimorph mirror for laser beam shaping**, Proc. SPIE 10904, pp. 109041K, 2019. DOI: 10.1117/12.2509521 - 4.
7. *A. Nikitin, I. Galaktionov, J. Sheldakova, A. Kudryashov, V. Samarkin, A. Rukosuev*, **Focusing laser beam through pinhole using bimorph deformable mirror**, Proc. SPIE 10904, pp. 109041I, 2019. DOI: 10.1117/12.2510134 - 4.
8. *V. V. Toporovsky, A. V. Kudryashov, V. V. Samarkin, J. V. Sheldakova, and A. L. Rukosuev*, **Water-cooled stacked-actuator deformable mirror for atmospheric phase distortions correction,** in Imaging and Applied Optics 2019 (COSI, IS, MATH, pcAOP), OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2019), paper JW2A.39. DOI: 10.1364/COSI.2019.JW2A.39 -

№ 0146-2019-0008 **Развитие новых методов измерения параметров ионосферы–магнитосферы с использованием современных ГЛОНАСС-GPS приемников** (*рук. проекта д.ф.-м.н. Б.Г. ГАВРИЛОВ*)

Получены новые экспериментальные данные о влиянии солнечных вспышек и магнитных бурь на динамику и состояние ионосферы. Модернизация методики восстановления параметров нижней ионосферы в спокойных и возмущенных рентгеновскими вспышками условиях, использующая данные по изменению амплитудно-фазовых характеристик ОНЧ радиосигналов, распространяющихся по двухчастотным трассам, позволяет существенно сузить диапазон расчетных значений профиля электронной концентрации и повысить точность определения параметров D-области ионосферы.

Получены новые экспериментальные данные о влиянии сильных геофизических возмущений на динамику и состояние верхней и нижней ионосферы с использованием разработанного в рамках Госзадания метода, использующего анализ данных согласованных измерений сигналов глобальных навигационных спутниковых систем и сигналов СДВ радиостанций, работающих в диапазоне частот 3–30 кГц. Полученные результаты демонстрируют временную и пространственную связь возмущений в верхней и нижней ионосфере и позволяют оценить вклад различных высот в ионосферную динамику.

Разработана новая теоретическая модель воздействия гамма, рентгеновского и жесткого УФ излучения Солнца на среднюю атмосферу и нижнюю ионосферу Земли. Верификация теоретической модели показала хорошее количественное и качественное согласие для среднеширотных трасс СДВ диапазона частот.




*Вариации вертикального ПЭС для GPS приемников, расположенных в пунктах vis0 и mar6, показаны на панели (b), а вариации фазы и амплитуды СДВ сигналов показаны на панелях (c) и (d) от трех СДВ передатчиков JXN,GQD и NAA 06.09.2017*

**Публикации:**

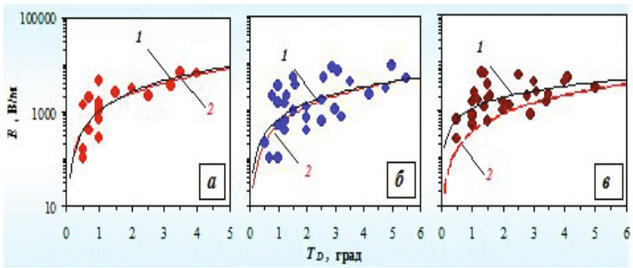
1. *Gavrilov, B.G., Ermak, V.M., Poklad, Y.V., Ryakhovskii, I.A.* **Estimate of Variations in the Parameters of the Midlatitude Lower Ionosphere Caused by the Solar Flare of September 10, 2017** // Geomagnetism and Aeronomy. 2019. V.59. No.5. P. 587–592. https://doi.org/10.1134/S0016793219050049.

2. *Gavrilov, B.G.; Zetser, Yu.I.; Lyakhov, A.N.; Poklad, Yu.V.; Ryakhovskii, I.A.* **Correlated Disturbances of the Upper and Lower Ionosphere from Synchronous Measurements of Parameters of GNSS Signals and VLF Radio Signals** // COSMIC RESEARCH. 2019. Vol. 57. #1. P. 36-43.

3. *A.N. Lyakhov, S.I. Kozlov, T.V. Losseva, S.Z. Bekker, J.A. Korsunskaya, B.G. Gavrilov, V.P. Kudryavtsev, E.S. Goncharov*. **The comparison of standard and swarm D-layer ionosphere models on the simulation of the X-ray solar flare response** // Proc. SPIE (WOS) DOI: 10.1117/12.2540423.

№ 0146-2019-0009 **Возмущение геофизических полей в Московском мегаполисе** (*рук. проекта д.ф.-м.н. А.А. СПИВАК*)

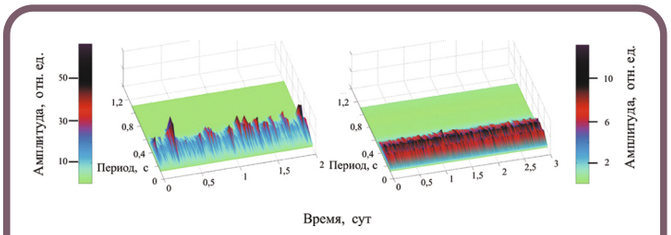
1. На основе результатов инструментальных наблюдений установлены спектральные характеристики вариаций электрического поля и его суточный ход. Определено влияние холодных атмосферных фронтов, ураганов, шквалов и гроз, а также техногенных явлений в виде крупных пожаров на вариации электрического поля. Показано, что ураганам, шквалам и грозам предшествуют периоды длительностью от одного до 4-х часов, характеризующиеся специфическими вариациями электрического поля, что может рассматриваться в качестве возможного прогностического признака сильных атмосферных явлений. Электрическая зашумленность мегаполиса не камуфлирует проявление в вариациях *E* эффектов от явлений и процессов как природного, так и техногенного происхождений. Особый интерес вызывает возможность выделения в условиях мегаполиса приливной компоненты в вариациях *E*. С учетом высокой освоенности территории города под жилые и производственные постройки и сооружения, а также разного рода транспортные коммуникации можно сделать вывод о том, что основным источником приливной составляющей в вариациях *E* являются не литосферные, а вызванные гравитационным взаимодействием в системе Земля-Луна-Солнце атмосферные процессы. Наряду с сильными атмосферными явлениями в виде урагана и грозы на электрическую активность приземной атмосферы в условиях такой крупной агломерации как Москва оказывает заметное влияния и более слабое по энергетике природное явление в виде холодного атмосферного фронта. Также следует отметить, что техногенные явления в виде крупных пожаров, хотя и в гораздо меньшей степени по сравнению с атмосферными фронтами, оказывают, причем, нелокальное влияние на вариации электрического поля.




*Зависимость напряженности электрического поля от перепада температуры на холодном атмосферном фронте (2) для разной ширины фронта $t_0$мин:а – $0 < t_0 < 15$; б – $15 < t_0 < 25$; в – $25 < t_0 < 35$ (1 – линия тренда)*

2. По результатам анализа данных, полученных при инструментальных наблюдениях за акустическими колебаниями, выполненных в условиях г. Москвы в период 2014-2017 гг. установлено различие амплитудных и спектральных характеристик акустического шума в условиях мегаполиса и на территории,

расположенной вне зоны его влияния. Приведены данные, свидетельствующие о возрастании акустического шума в периоды сильных атмосферных явлений в виде ураганов и шквалов. Основные вариации поля акустических колебаний проявляются в условиях г. Москвы, как правило, в дневное время. Их амплитуда достигает 5–10 Па. В периоды сильных возмущений атмосферы ураганного типа амплитуда низкочастотных акустических колебаний (диапазон частот 0.001–10 Гц) увеличивается до 20–0 Па в зависимости от мощности атмосферного фронта, а при сильных грозовых явлениях может достигать в отдельных случаях значений ~102 Па. В отличие от территорий, расположенных вне зоны влияния мегаполиса, инфразвуковые колебания в г. Москве характеризуются повышенными амплитудами и высокой временной изменчивостью, что связано с наличием выраженной техногенной составляющей. В периоды сильных атмосферных явлений в виде грозовых фронтов, ураганов и шквалов в г. Москве регистрируются акустико-гравитационные волны, амплитуда которых может достигать значений 30–50 Па.




*СВАН-диаграмма акустического шума в инфразвуковом диапазоне частот в г. Москве (слева) и в ГФО МНУ (справа)*

**Публикации:**


1. *Spivak A.A., Riabova S.A., Kharlamov V.A.* **The electric field in the surface atmosphere of the megapolis of Moscow** // Geomagnetism and Aeronomy. 2019. Vol. 59. No. 4. P. 467–478.
2. *Rybnov Yu.S., Soloviev S.P.* **Synchronous variations in the atmospheric pressure and electric field during the passage of the solar terminator** // Geomagnetism and aeronomy. 2019. Vol. 59. No. 2. P. 234–241.
3. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.* **Некоторые характеристики акустического шума в г. Москва** // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. № 1. С. 118–124.


Программа фундаментальных исследований Президиума РАН 1.17

ЭВОЛЮЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА. РОЛЬ И ВЛИЯНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Последствия удара космического тела на границе перми и триаса**

(*рук. проекта д.ф.-м.н. В.В.СВЕТЦОВ*)

Согласно наиболее распространенной гипотезе причиной самого крупного массового вымирания биоты в конце пермского периода является массивный вулканизм в Сибири, который мог значительно снизить стабильность экосистемы. Но удар космического тела также мог быть одной из причин или оказаться триггерным механизмом коллапса экосистемы, которая находилась в напряженном состоянии. Ударный кратер Арагуаинья в Бразилии диаметром 40 км имеет возраст 254.7 ± 2.5 млн лет, что перекрывается с оценками границы пермь-триас, когда суша была объединена в один сверхконтинент Пангею. Такой кратер может образоваться в результате удара каменного астероида диаметром 3 км со скоростью 20 км/с или ледяного тела диаметром 3 км со скоростью 50 км/с.

Было проведено математическое моделирование этих ударов с учетом выбросов из кратера и излучения нагретого воздуха, паров ударяющего тела и грунта. Вычислив потоки излучения на поверхности, мы получили, что легковоспламеняющиеся материалы, такие как сухая трава и листья, могут загореться на площади размером 4000–4500 км. Климатические условия и уровень кислорода в атмосфере в конце пермского периода способствовали распространению пожаров. Вполне вероятно, что удар астероида или кометы, образовавшего кратер Арагуаинья, в условиях напряженного состояния биосферы в конце перми привел к вымиранию растений и животных из-за пожаров, увеличения содержания углекислого газа в атмосфере и механического действия ударной волны.

***Рис.*** *Область воспламенения сухой растительности после удара трехкилометрового астероида показана на рисунке красным эллипсом с центром, соответствующим ударному кратеру Арагуаинья, на карте Земли в раннем триасе 250 млн лет назад*

**Публикации:**

1. *Svetsov V., Shuvalov V.* (2019) **Trigger effect of an asteroidal or cometary impact at the Permian–Triassic boundary**. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, Switzerland. P. 589–596. DOI:10.1007/978-3-030-31970-0_62.

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН 1.19 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

**Отражение геодинамических процессов, протекающих в литосфере, в геофизических полях**

(рук. проекта д.ф.-м.н. *А.А. СПИВАК*)

1. На основе данных инструментальных наблюдений установлено, что землетрясения с магнитудой более 6.0 сопровождаются характерными вариациями магнитного поля Земли. Максимальная амплитуда наведенных геомагнитных вариаций составляет ~ 2–20 нТл. Также установлен практически одновременный и сходный по морфологии характер вызванных геомагнитных возмущений, зарегистрированных в обсерваториях, расположенных на значительно отличающихся расстояниях от очага землетрясения. Полученные в настоящей работе данные дополняют имеющиеся представления о геомагнитных вариациях, сопутствующих сильным землетрясениям, и необходимы при разработке и верификации моделей подготовки и развития указанных событий, а также сопровождающих их геофизических процессов.

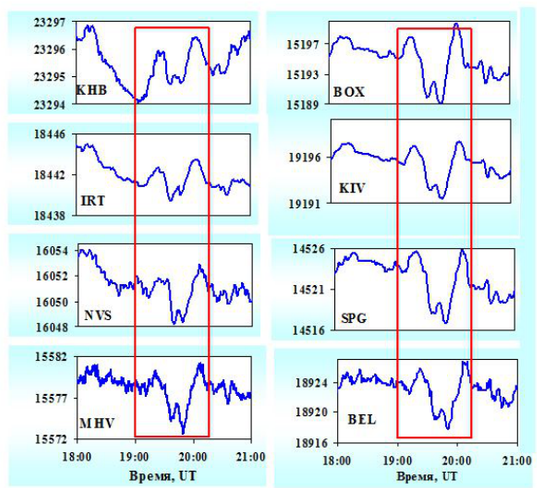



***Рис. 1.*** *Вариации компоненты геомагнитного поля север-юг в период землетрясения (обозначен красной рамкой) магнитудой 6.0 в Индонезии 15.04.2018 г. Данные магнитных обсерваторий сети ИНТЕРМАГНЕТ (код станций приведен в поле рисунков)*

2. На основе данных инструментальных наблюдений установлен нелокальный геомагнитный эффект падающих в атмосферу Земли космических тел. Эффект возникает практически одновременно и наблюдается на расстояниях до 7000 км от места падения космического тела.

Установлена слабая зависимость амплитуды наведенных геомагнитных вариаций от расстояния до места события. Полученные данные необходимы при верификации теоретических и расчетных моделей геофизических процессов, сопровождающих падение метеоритов, установления роли ионосферы в межгеосферных взаимодействиях.

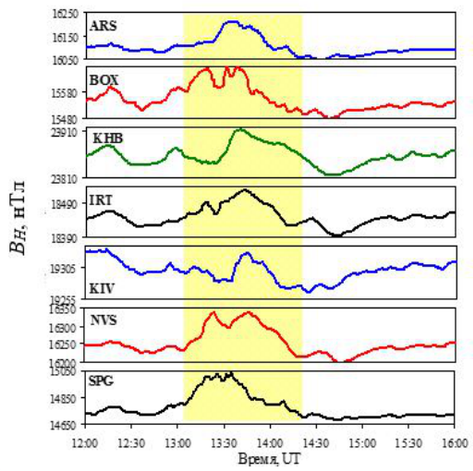



***Рис. 2.*** *Вариации горизонтальной компоненты геомагнитной индукции в период Бурятского события по данным магнитных обсерваторий сети INTERMAGNET (коды магнитных обсерваторий указаны в поле рисунков); фоном обозначен период вызванных геомагнитных вариаций*

**Публикации:**

1. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Геомагнитные вариации при сильных землетрясениях** // Физика Земли. 2019. № 6. С. 3–12. DOI: https://doi.org/10.31857/S0002-3337201963-12.

2. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Возмущение геомагнитного поля при падении Липецкого (21.06.2018 г.) и Челябинского (15.02.2013 г.) метеоритов** // Доклады академии наук. 2019. Т. 485. № 3. С. 361-365. DOI: https://doi.org/10/31875/S0869-56524853361-365.

3. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Геомагнитные вариации при падении метеоритов** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. С. 655-665. DOI: 10.1134/S0016794019050110.

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН 1.56 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОРЫВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНТЕРЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Расширение плазменной струи, движущейся с субальфвеновской скоростью, в разреженной ионосфере** (рук. проекта д.ф.-м.н. *Ю.И. ЗЕЦЕР*)

Построена численная газодинамическая модель начальной стадии расширения плазменной струи в ионосфере пониженной плотности. Показано, в том числе, что в период формирования струи (до ~ 10 микросекунд), ее температура падает как $1/t^2$, затем (до ~ 100 микросекунд), охлаждение существенно ускоряется, как $1/t^8$.

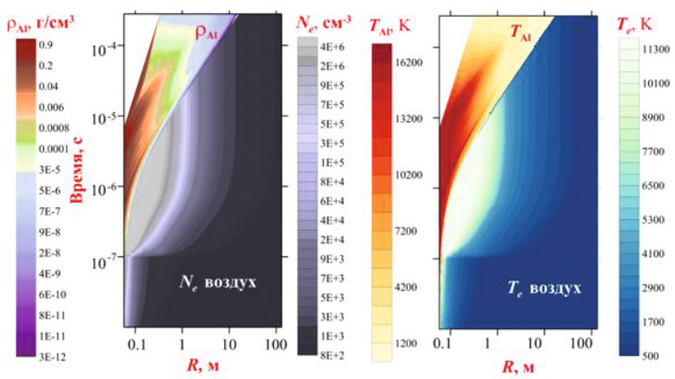



***Рис.*** *Пространственно–временные распределения плотности алюминиевой плазмы $\rho_{Al}$ в струе, ее температуры $T_{Al}$, концентрации $N_e$ и температуры $T_e$ электронов в окружающем воздухе, ионизованном излучением, испущенным горячей алюминиевой плазмой*

**Публикации:**

1. *Лосева Т.В., И.Б. Косарев, А.Н. Ляхов, Ю.И. Зецер, А.В. Черемнин.* **Ионизация воздуха тепловым излучением плазменной струи в активных геофизических ракетных экспериментах** // Динамические процессы в геосферах: Сборник научных трудов ИДГ РАН, вып. 11. М.: Графитекс. 2019. С. 134–142.

# Геофизическая обсерватория ИДГ РАН «МИХНЕВО»

**Лаборатория Сейсмологических методов исследования литосферы** (зав. лаб. д.ф.-м.н. *И.А. САНИНА*)
Впервые проведена систематизация данных о местоположении землетрясений, произошедших в пределах Русской плиты. Проведен анализ местоположения землетрясений, произошедших на Русской плите в 2009-2016 гг., зарегистрированных сейсмическими станциями ФИЦ ЕГС РАН и малоапертурной группой ИДГ РАН (МСГ) «Михнево». Полученные результаты косвенно свидетельствует о сейсмической активности рифейских структур региона, осложняющих поверхность фундамента, и их возможной активизации в настоящее время. Имеющиеся данные об исторических землетрясениях также подтверждают их приуроченность к палеорифтам. Представляется целесообразным учитывать положение древних авлакогенов при оценке сейсмичности Русской плиты.

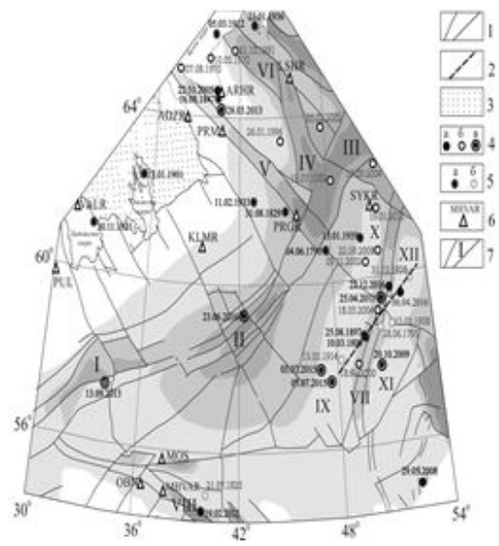



***Рис.*** *Карта-схема расположения сейсмических событий (подоснова – синтетическая схема поверхности фундамента центральной и северной части ВЕП: 1 – землетрясение и дата регистрации: а – сейсмической сетью, б – одной станцией, в – группой «Михнево» (MHVAR); 2 – историческое землетрясение и дата, определенное: а – по нескольким письменным свидетельствам, б – по одному источнику; 6 – сейсмические станции ФИЦ ЕГС РАН с международным/региональным кодом; 3 – древние структуры – авлакогены: I – Валдайский, II – Солигаличский, III – Котласский, IV – Нюхчинский, V – Онежско-Кандалакшский, VI – Лешуконский, VII – Кировско-Кажимский, VIII – Пачелмский и своды (выступы): IX – Котельнический, X – Сысольский, XI – Немский, XII – Коми-Пермяцкий)*

**Публикации:**

1**. Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах. Землетрясения России в 2016 году.** – ISSN 1819-852X Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018.

2. **Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах. Землетрясения России в 2017 году.** – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 189–199. ISSN 1819-852X 2018.

**Лаборатория литосферно-ионосферных связей** (зав. лаб. д.ф.-м.н. *Б.Г. ГАВРИЛОВ*)
Разработана методика восстановления абсолютного значения ПЭС по данным измерений сигналов ГНСС в ГФО «Михнево». Полученные результаты хорошо согласуются с данными мировых сетей, таких как Madrigal и MGEX, что свидетельствует о правильности разработанного подхода. Дальнейшее развитие исследований предполагает совместное использование результатов восстановления абсолютного значения ПЭС с данными ЛЧМ зондов и данными по распространению СДВ сигналов, что должно позволить получить наиболее полные данные по высотному распределению электронной концентрации в среднеширотной ионосфере в спокойных и возмущенных гелиогеофизических условиях.

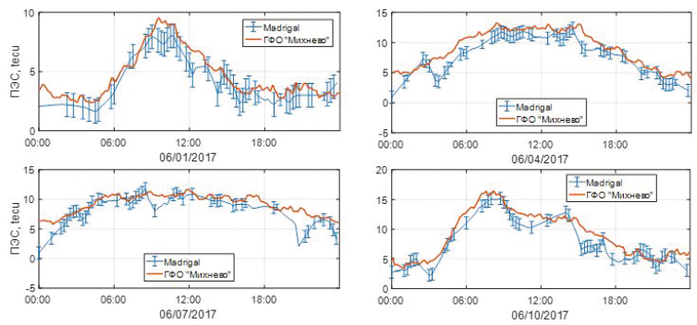



***Рис.*** *Сопоставление абсолютного значения ПЭС, полученного в ГФО «Михнево», с данными сети MGEX*

**Публикации:**

1. *Ryakhovskiy I., Gavrilov B., Lyakhov A., Poklad Y., Bekker S.* **Determination of absolute values of TEC according to data of GNSS receivers located in one measuring point**. Proceedings of SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112089F. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2540899.

# Гранты РНФ, РФФИ, Президента РФ, Договоры»

## 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*)

С целью изучения факторов и механизмов, определяющих влияние подземных и наземных горных работ на динамику подземных вод и свойства проницаемых пластов-коллекторов организованы пункты сейсмических, гидрогеологических и метеонаблюдений. Выбранные скважины оборудованы датчиками уровня, у оголовка скважин установлены трехкомпонентные сейсмометры. В результате первых синхронных измерений уровня воды в скважинах и сейсмических колебаний на поверхности получены их основные амплитудные и спектральные характеристики.

В рамках исследования вариаций эффективных характеристик разломных зон под действием массовых взрывов продолжалась регистрация сейсмических событий (на поверхности и в шахте) после взрывных работ на Лебединском карьере и в шахте им. Губкина. Анализ распределения выделенных сейсмических событий во времени

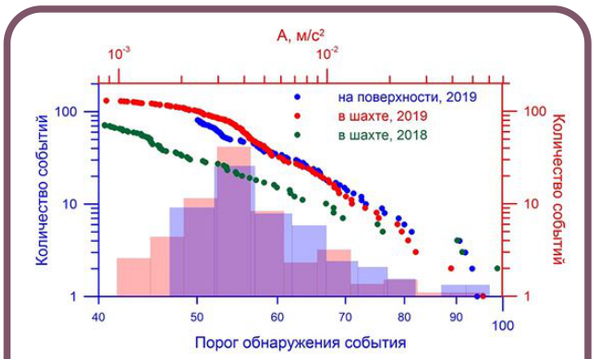



***Рис.*** *График повторяемости сейсмических событий после одного из взрывов 2019 года, зарегистрированных двумя малоапертурными группами: на поверхности (синий) и в шахте (красный). Гистограммы показывают распределение амплитуд событий для этого взрыва. Для сравнения зеленым цветом показан график повторяемости сейсмических событий, зарегистрированных в шахте после одного из взрывов 2018 года*

показал, что после взрыва кумулятивное число событий резко возрастает с постепенным последующим затуханием. При этом оценки параметров графика повторяемости указывают на стабильность состояния массива горных пород в изучаемой области.

В ходе анализа очаговых параметров большого количества слабых сейсмических событий, зарегистрированных в шахте, отработана методика их классификации. Классификация отработана для событий, спектры которых можно аппроксимировать с помощью модели Брюна. Проведена оценка кинематических параметров событий – времени нарастания и длительности сейсмических сигналов, которые использовались для оценки параметра волной формы. Применение метода кросс-корреляции компонент сейсмического шума позволило оценить жесткость центральной части обследуемой разломной зоны в шахте $k \sim 4.6$ МПа/мм.

По данным сейсмических наблюдений на стационарном пункте построен скоростной разрез обследуемой области до глубины 3 км.

**Публикации:**

1. *Alexey A. Ostapchuk, Kseniya G. Morozova, Dmitry V. Pavlov* **Influence of the Structure of a Gouge-Filled Fault on the Parameters of Acoustic Emission** // Acta Acustica united with Acustica, Vol. 105 (2019).

2. *Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V., et al.* **Seismic-acoustics of a block sliding along a fault** // Pure and Applied Geophysics, 2019. doi: 10.1007/s00024-019-02375-1.

3. *Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Budkov A.M., Ivanchenko G.N.* **On the genesis of the 2013 Bachat earthquake** // Geodynamics & Tectonophysics 10 (3), 2019. 741–759. doi:10.5800/GT-2019-10-3-0439.

4. *Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Павлов Д.В.* **Об инициировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием** // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 3. С. 104–116. https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-7.

5. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г.* **Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона** // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 3. С. 5–22. https://doi.org/10.21455/si2019.3-1.

6. *Адушкин В.В., Санина И.А., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М., Габсатарова И.П., Константиновская Н.Л., Нестеркина М.А.* **Сейсмогенные древние структуры центра и севера Восточно-Европейской платформы** // Доклады академии наук, 2019, том 489, № 4, с. 73–76.

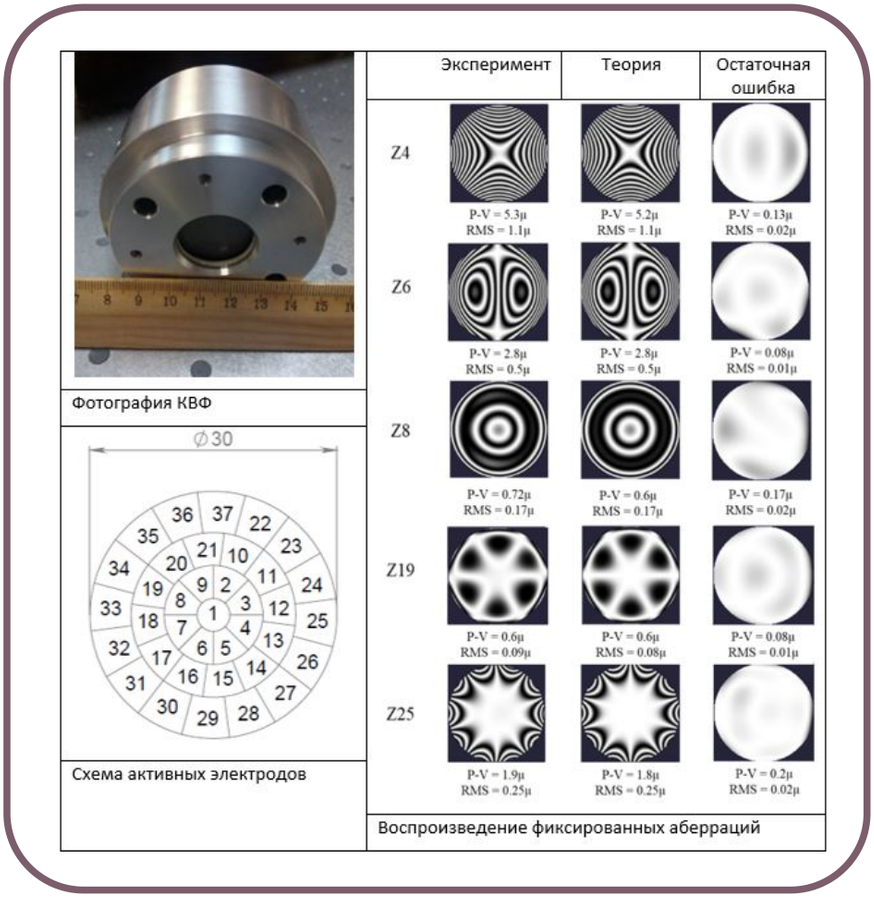
7. *Адушкин В.В.* **Обрушение горных склонов и образование каменных лавин при крупномасштабных подземных взрывах** // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2019. № 6. С.35–48

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

Основная научно-техническая задача, решаемая в данном проекте, заключается в разработке и создании новых типов миниатюрных корректоров волнового фронта с высоким пространственным разрешением управляющих элементов для использования в адаптивных оптических системах для современных лазеров, астрономии, беспроводной оптической связи, медицины, микроскопии и др.

1. В первом году выполнения проекта определены основные требования к корректорам волнового фронта (КВФ), предназначенных для коррекции мелкомасштабных аберраций волнового фронта высоких порядков (полиномы Цернике до 7-го порядка). На примере параметров турбулентной атмосферной среды на внутригородской трассе для квантовой связи длиной 1.2 км, где радиус Фрида равен 1.6 см, скорость ветра — 5-10 м/с, размер пучка — 22.5 мм, разработан КВФ биморфного типа, позволяющего в результате коррекции в полосе частот до 1 кГц, получение фактора Штреля излучения 0.85. Теоретические расчеты показали, что КВФ должен иметь 37 электродов управления при минимальной амплитуде деформации поверхности не более 2 мкм. Проведена оценка точности воспроизведения фиксированных аберраций ВФ, описываемых первыми 36 полиномами Цернике. Показано, что с помощью 37 электродами можно воспроизводить фиксированные

аберрации, представляемых 28 полиномами Цернике, с достаточно высокой точностью, при этом ошибкавоспроизведения астигматизма составила 0.24%, комы — 0.21% и сферической аберрации — 1.5% (RMS), а ошибка воспроизведения аберраций высоких порядков (до 28 полинома Цернике) составила не более 5%. Резонансная частота собственных колебаний такого КВФ со свободно опертыми краями составила 14 кГц, что позволит управление адаптивной оптической системой в частотном диапазоне до 1.5 кГц.




**Публикации:**

1. *Vladimir Toporovskiy, Alexis Kudryashov, Vadim Samarkin, Julia Sheldakova, Alexey Rukosuev, Arkadiy Skvortsov, Danila Pshonkin*. **Bimorph deformable mirror with a high density of electrodes to correct for atmospheric distortions** // Applied Optics, Vol. 58, No. 22, pp. 6019–6025, 2019, doi:10.1364/AO.58.006019.

2. КВФ на пьезоактюаторах имеет высокое быстродействие, плотную упаковку актюаторов и позволяют воспроизводить мелкомасштабные аберрации волнового фронта высоких порядков. Поэтому они являются наиболее подходящими для компенсации динамически меняющихся аберраций. Рассматривались типичные параметры «умеренно-сильной» атмосферной турбулентности: $C_n^2 = 10^{-13}$ м$^{-2/3}$ на длине горизонтальной трассы 1.5 км, параметр Фрида — 9.7 мм для длины волны 632.8 нм. Получено, что для коррекции атмосферных флуктуаций фазы светового пучка апертурой 120 мм прошедшего слой турбулентной среды необходимо иметь 121 управляющий элемент. Для оценки ожидаемых параметров была рассмотрена конструкция КВФ, включающей актюаторы на основе многослойных кольцевых пьезопакетов с длиной 10 мм, имеющих предварительную механическую нагрузку с помощью натянутой пружинной проволоки, и кремниевую подложку с отражающим покрытием, которая приклеивается на торцах актюаторов. Рассчитаны параметры актюатора для перемещения на 8 мкм при толщине кремниевой пластины с толщиной 1.6 мм. Такой КВФ дает возможность корректировать аберрации волнового фронта амплитудой вплоть до 16 мкм. Частота первого резонанса такого зеркала составляет 18.5 кГц, что позволяет управлять таким зеркалом в адаптивной оптической системе в килогерцовом диапазоне.

Основными преимуществами данной конструкции зеркала являются: возможность компенсации быстроменяющихся мелкомасштабных аберраций световых пучков, замена поврежденных пьезокерамических пакетов, а также термостабилизация и охлаждение зеркальной подложки через корпуса актюаторов.


**Публикации:**

1. *Vladimir Toporovskiy, Alexis Kudryashova, Vadim Samarkin, Julia Sheldakova, Alexey Rukosuev*. **Water-cooled stacked-actuator deformable mirror for atmospheric applications**. Proceeding of SPIE, Vol.111350A, 2019; doi: 10.1117/12.2533984.

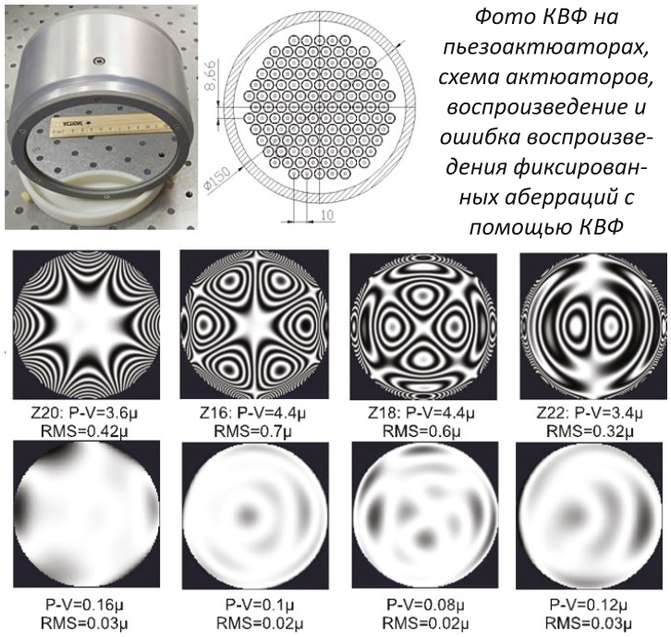




*Фото КВФ на пьезоактюаторах, схема актюаторов, воспроизведение и ошибка воспроизведения фиксированных аберраций с помощью КВФ*

## РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

№ 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*)

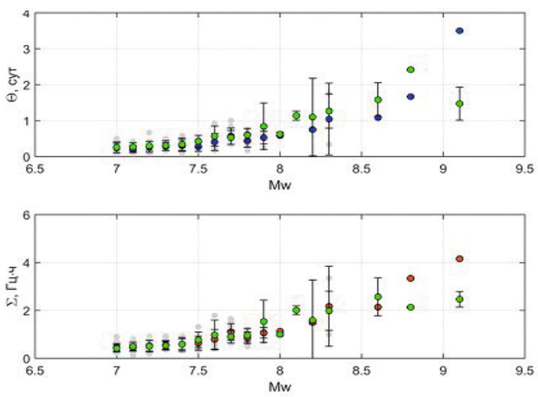



***Рис.*** *Параметры «длительность» (сверху) и «площадь» (снизу), рассчитанные за 2008-2018 гг. По данным станций LCO, LVC и TRQA (серые точки) для землетрясений с* $M_w \geq 7$. *Красные и синие точки– усредненные значения по всем данным для каждого значения магнитуды с шагом 0.1. Зеленые точки – параметры, рассчитанные за 2008-2018 гг. по данным станции PET*

Проведено исследование параметров микросейсмического фона в окрестности Чилийской зоны субдукции и области Камчатки за период 2008-2018 гг. с целью обнаружения колебаний системы блок-разлом. На записях станций, находящихся в ближней эпицентральной зоне, перед землетрясениями с $M_w \geq 7$ наблюдается понижение рассчитанного значения спектрального центроида. Исследование количественных характеристик интервалов, соответствующих снижению спектрального центроида после землетрясения показало, что зависимости для локальных и телесейсмических событий похожи и не связаны с пространственным расположением очагов.

При переходе на меньший иерархический уровень были выполнены натурные наблюдения вблизи участков ведения горных работ. Первые результаты оценки частот резонансных колебаний блоков путем анализа микросейсмического шума при проведении массовых взрывов показали возможность оценки собственных частот блоков с размерами менее 100 м.

**Публикации:**

1. *Беседина А.Н., Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Ряховский И.А.* **Анализ микросейсмичекого фона до и после сильных землетрясений на примере Чилийской зоны субдукции** // Физика Земли. 2020. № 2. С. 1–11. DOI: 10.31857/S0002333720020027.

№17-05-01271 **Релаксация избыточных напряжений в областях структурных нарушений массивов горных пород** (рук. проекта к.ф.-м.н. *А.А.ОСТАПЧУК*)

Разработана методика комплексного исследования локальных участков активного разлома, направленного на оценку его сейсмической опасности. Совместный анализ пространственной структуры разломных зон, минералогического состава и петрофизических характеристик интерфейса представляет необходимую структурную составляющую геомеханической модели. В свою очередь, результаты сейсмо-деформационного мониторинга определяют механическую составляющую модели разлома.

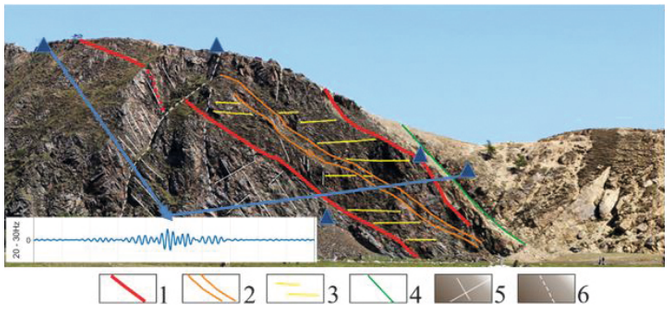



***Рис.*** *Общий вид исследуемого эксгумированного участка Приморского разлома с выделенной системой трещин и системой сейсмологического наблюдения.*
*1- субпараллельные Y-сдвиги, 2 – центральная зона интенсивных деформаций, 3 – сдвиги Риделя (R), 4 – зона тектонического контакта интрузивного массива с амфиболовыми плагиогнейсами взброса-сдвигового типа (участок проведения деформационного мониторинга), 5 – тектонические трещины, 6 – контур оползневого блока*

**Публикации:**

1. *A.A. Ostapchuk, D.V. Pavlov, V.V. Ruzhich, A.E. Guvanova* **Seismic-Acoustics of a Block Sliding Along a Fault** // Pure Appl. Geophys. 2019. DOI: 10.1007/s00024-019-02375-1.
2. *А.А. Остапчук, Э.М. Горбунова, А.В. Григорьева, и др.* **Комплексное изучение глубинного разлома по данным наземных наблюдений** // Динамические процессы в геосфера. Вып. 11: сб. научн тр. ИДГ РАН. М.: Графитекс. 2019. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38619.

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

Ядро Земли состоит из кристаллического железа его внутренней части и жидкого железа с добавлением более лёгких элементов его внешней части. Затвердевание твёрдого внутреннего ядра из расплава жидкого внешнего происходит на границе между ними, однако, вследствие запредельных температур и давлений (порядка 6000 К и 350 ГПа, соответственно), этот процесс не так легко воспроизвести в лабораторных условиях, и, следовательно, изучить. Наилучшим инструментом изучения процесса затвердевания являются объёмные

***Рис. 1.*** *Геометрия лучей при наблюдении на расстояниях вблизи антипода. Для источника на глубине 100 км и эпицентрального расстояния 176° показаны волны PKIKP и PKIIKP*

волны, отражённые от этой границы (рис. 1), в частности, волны PKIIKP, которые отражаются вовнутрь твёрдого ядра и регистрируются в точке, диаметрально противоположной сейсмическому источнику (в антиподе). Установлено, что амплитудное отношение этих волн и волн PKIKP, распространяющихся напрямую от источника в антипод, оказывается очень чувствительно к скорости распространения поперечных волн в кровле внутреннего ядра, а значит несёт также и важную информацию о его жесткости. В настоящей работе мы представляем 9 новых измерений волн PKIIKP, что составляет около трети всех ранее опубликованных наблюдений. Амплитудное отношение PKIIKP/PKIKP проявляет существенный разброс (рис. 2), который, по-видимому, является следствием вариаций скорости поперечных волн под границей внутреннего ядра Земли (от 1.5 до 3.5 км/с). Обнаруженные пространственные вариации могут указывать на мозаичный характер поверхности кристаллического ядра и на неоднородный характер процесса его затвердевания.

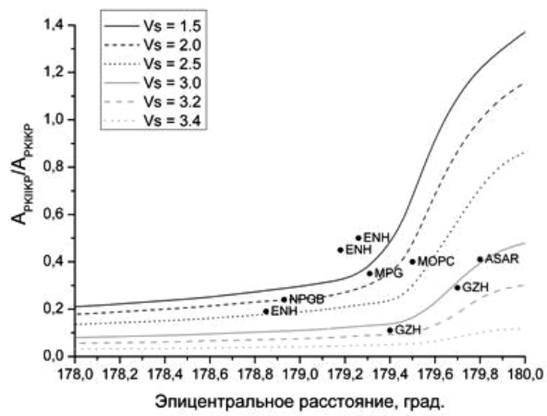



***Рис. 2.*** *Теоретические кривые амплитудного отношения APKIIKP/APKIKP для различных модификаций стандартной модели ak135 в части скорости распространения поперечных волн в кровле внутреннего ядра (указана в легенде в км/с). Точки с международными кодами станций – измерения APKIIKP/APKIKP*

**Публикации:**

1. *Krasnoshchekov, D., Ovtchinnikov, V., Polishchuk, V.* (2019) **Dissimilarity of the Earth's Inner Core Surface Under South America and Northeastern Asia Revealed by Core Reflected Phases** // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol. 124, № 5, 4862–4878.

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

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

Основная цель проекта – исследование механизма деформирования коллектора в результате сейсмического воздействия. В качестве индикатора изменения свойств коллектора рассматриваются

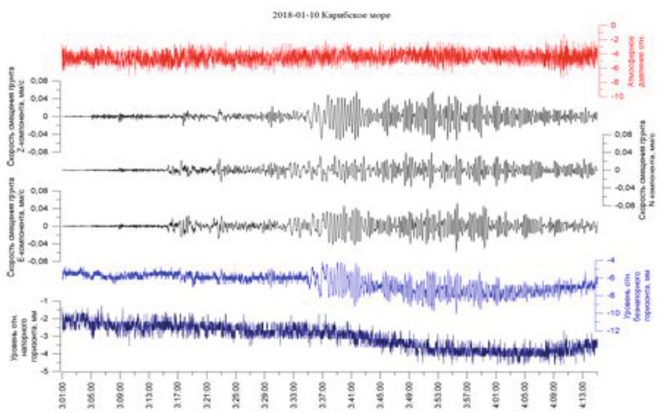



***Рис.*** *Вариации атмосферного давления, скорости смещения грунта по $Z$-, $N$- и $E$-компонентам, уровня безнапорного и напорного водоносных горизонтов при прохождении группы сейсмических волн от землетрясения 10.01.2018 M = 6.8 в Карибское море*

гидрогеологические отклики на прохождение сейсмических волн от удаленных землетрясений.

В ходе выполнения Проекта в 2019 г. на территории ГФО «Михнево» наряду с косейсмическими вариациями уровня подземных вод прослежен новый постсейсмический эффект изменения уровня. Плавное снижение уровня, вероятно, свидетельствуют о локальном изменении фильтрационных свойств водонасыщенного коллектора (см. рис. на стр. 33).

**Публикации:**

1. *Kabychenko N.V., Gorbunova E.M., Besedina A.N.* **Deformation mode of water-saturated collector by precision hydrogeological monitoring** // AIP Conference Proceedings 2167, 020142 (2019), DOI:10.1063/1.5132009.

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

Цель проекта — определение закономерностей инициирования крупных природно-техногенных землетрясений наземными и подземными горными работами.

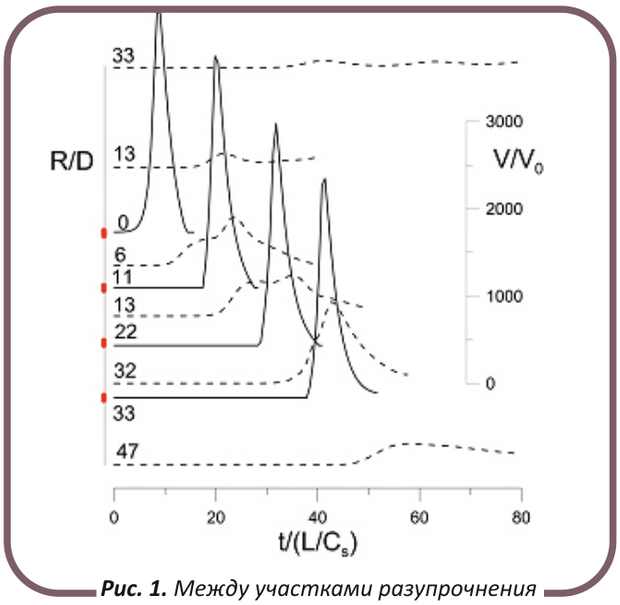



***Рис. 1.*** *Между участками разупрочнения скорость распространения разрыва и скорость скольжения снижаются, вновь увеличиваясь на соседних пятнах; при наличии больших участков упрочнения землетрясение вырождается в событие медленного скольжения, либо происходит полная остановка разрыва*

Основные результаты 2019 г.

- Результаты 1D и 2D численных расчетов влияния неоднородности фрикционных свойств на характеристики процесса скольжения.
- Адаптация вычислительного комплекса для расчета процесса скольжения по разлому в 2D и 3D постановках. Реализация нового алгоритма расчета скольжения с трением.
- Результаты аналитических и численных расчетов изменения поля статических напряжений при крупномасштабной выемке породы при наземных и подземных работах.
- Определены безопасные, потенциально опасные и критические параметры подземных горных выработок с точки зрения инициирования динамической подвижки по разлому.
- Рассчитаны вариации функции Кулона на плоскостях разломов в окрестности крупного карьера.

Проведены измерения параметров сейсмических колебаний на различном расстоянии от более чем 30 массовых взрывов. Полученные результаты дают возможность оценить параметры воздействия на разломы на глубинах расположения очагов крупных природно-техногенных землетрясений.

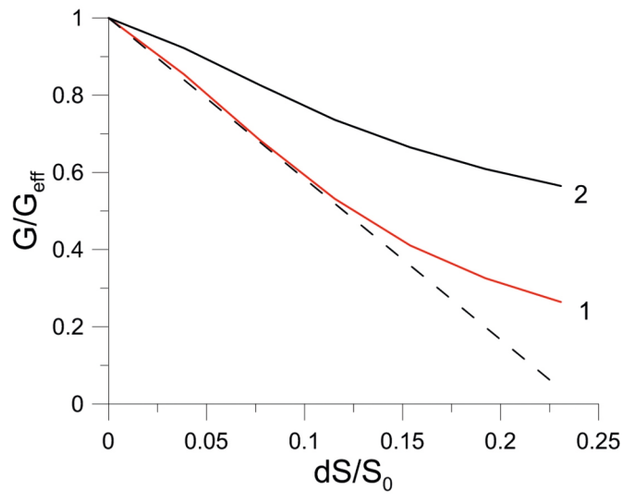



***Рис. 2.*** *Зависимость приведенного эффективного модуля сдвига участка массива от доли площади, занятой выработками.*
*1 – незаполненные выработки;*
*2 – заполненные разрушенной породой*

**Публикации:**


1. *Кочарян Г.Г.* **Investigation of acoustic emission in layer of geomaterial under shear deformation** // ФТПРПИ. 2019. № 3, с. 15–21.
2. *Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* **О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов** // ФТПРПИ. № 6, с. 49–58.
3. *Мартынов В.С., Остапчук А.А., Будков А.М.* **Демпфирование распространения косейсмического разрыва.** В кн**.** Триггерные эффекты в геосистемах**:** Материалы V Международной конференции / под редакцией В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. 2019. С. 310–315.
4. *Kocharyan G.G., Budkov A.M., Kishkina S.B.* **Triggering Tectonic Earthquakes by Mining** // Springer International Publishing. 2019. pp.319–328. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-31970-0_34.
5. *Tataurova A., Stefanov Y., Suvorov V.* **Effect of Changing Basal Friction on the Formation of Thrust** // Springer International Publishing. 2019. pp.169–177. http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-31970-0_19.
6. *Батухтин И.В., Будков А.М., Кочарян Г.Г.* **Особенности старта и остановки разрыва на разломах с гетерогенной поверхностью.** В сборнике: Триггерные эффекты в геосистемах: Материалы V Международной конференции / под редакцией В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. 2019. С. 137–149.
7. *Kocharyan G.G., Budkov A.M., Kishkina S.B.* **Initiation of Tectonic Earthquakes during Underground Mining** // Journal of Mining Science. 2018; 54(4):561–568. Doi: 10.1134/S1062739118044014.
8. *Беседина А.Н., Горбунова Э.М., Остапчук А.А., Павлов Д.В.* **Отклик водонасыщенного коллектора на прохождение сейсмических волн в ближней зоне массового взрыва в шахте** // Динамические процессы в геосферах. Вып. 11: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: Графитекс. 2019.


## №18-35-00587 **Трансформация режима скольжения по модельному разлому при внешнем воздействии** (рук. проекта *В.С. МАРТЫНОВ*)

Динамика распространения косейсмического разрыва существенно зависит от гетерогенности фрикционных свойств интерфейса разлома. Изменение фрикционных свойств локальной области разлома в результате, например, инжекции флюида может привести к существенному изменению динамики распространения косейсмического разрыва. При этом наблюдается тенденция роста эффективности воздействия с увеличением площади зоны воздействия.

Для наиболее эффективного воздействия на разлом необходимо не только знать размеры области подготовки косейсмического разрыва, но и особенности изменения фрикционных свойств интерфейса разлома при инжекции той или иной жидкости.

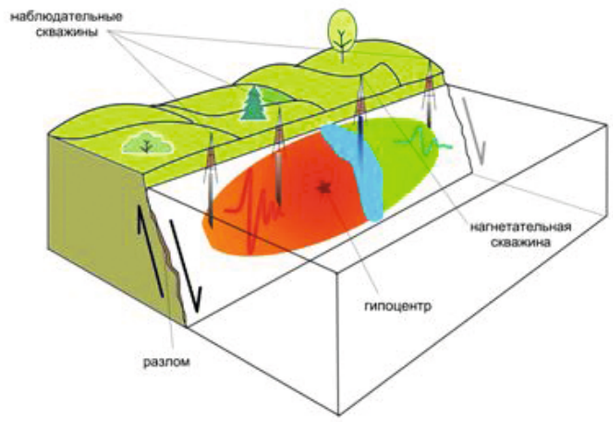



***Рис.*** *Схема проведения воздействия на локальный участок разлома с целью демпфирования распространения косейсмического разрыва*

**Публикации:**

1. *Мартынов В.С.*, *Остапчук А.А., Будков А.М.* **Демпфирование распространения косейсмического разрыва**. В кн. Триггерные эффекты в геосистемах: материалы V Международной конференции / под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2019. С. 310–315.

№ 17-05-01099 **Разработка новой пространственной (3D) модели литосферы центральной части Восточно-Европейской платформы по комплексу сейсмологических данных**

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

В 2017–2019 гг. увеличена сеть измерений путем установки дополнительных пунктов наблюдений «Александровка», «Воскресенск», «Тула» и «Тверь» приуроченных к окраинной части коллизионных зон, и «Шатура» – в приграничной части микроконтинента Волго-Уралия. Наращивание базы сейсмических данных позволило уточнить скоростные разрезы по постоянным пунктам регистрации – «Михнево», «Обнинск». Это позволило получить новые сведения по строению земной коры – верхней мантии в пределах центральной части ВЕП. Также, при анализе результатов использовался ранее полученный скоростной разрез по данным станции «Монаково», приуроченной микроконтиненту Волго-Уралия. Скоростные разрезы микроконтинента Волго-Уралия по пунктам наблюдений «Монаково» и «Шатура» и коллизионных зон по пунктам «Александровка», «Обнинск», «Михнево», «Воскресенск» характеризуются различным строением. Земная кора коллизионных зон отличается большей мощностью по сравнению с земной корой микроконтинентов. В пределах коллизионных зон, непосредственно под подошвой Мохоровичича, расположен слой пониженных скоростей в интервалах глубин от 65–70 до 130–150 км. В пределах микроконтинента Волго-Уралия под подошвой границы «Мохоровичича» прослежен слой повышенных скоростей в интервалах глубин 40–140 км. Ниже залегающий слой повышенных скоростей,

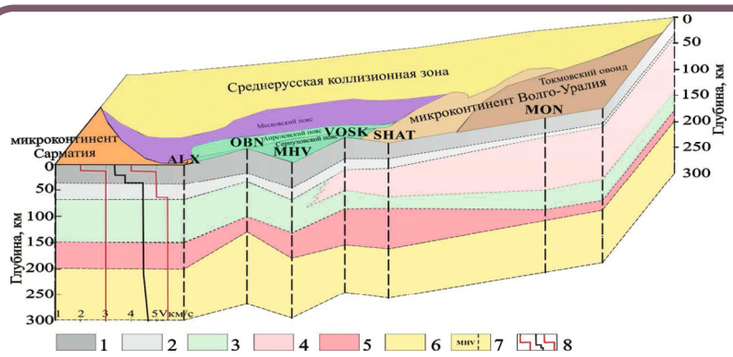



***Рис . 1.*** *Модель глубинного строения колизионной части ВЕП.*
*1 –земная кора, 2 – переходная зона кора - верхняя мантия (зона Мохо), 5 – повышенных скоростей, 6 – верхняя мантия, 7 – моделируемое пространство,*
*3-6 слои в верхней мантии: 3 – пониженных скоростей, 4 – слабопо-вышенных скоростей,*

выделенный в пределах коллизионных зон, имеет различную мощность и характеризуется различным значением скоростей. В центральной части коллизионной зоны он составляет 40-50 км, к окраинной – возрастает до 70–80 км. В приграничной части микроконтинента Волго-Уралия в пункте наблюдения «Шатура» мощность высокоскоростного слоя возрастает до 100 км. В пределах Токмовского овоида, приуроченного к микроконтиненту Волго-Уралия, в скоростном разрезе верхней мантии отсутствует слой повышенных скоростей, в интервале глубин 140–170 км выделен слой пониженных скоростей. Вместе с тем, во всех разрезах наблюдаются подобные элементы. Граница раздела земная кора-мантия характеризуется не единым разделом, а переходной зоной. Ее мощность различается от станции к станции, однако всегда составляет прядка 15 км. Граница Мохо рассматривается как зона переслаивания пород с мантийными и коровыми свойствами. В предлагаемой модели коллизионной зоны ниже границы Мохо находится слой пониженных скоростей, по этому слою, возможно, происходит автономное перемещение коры относительно мантии. В моделях также выявлена контрастная сейсмическая граница в земной коре, на глубине 18–19 км. Она характеризует переход от гранитного (верхнего) к базальтовому (нижнему) слою в коре. Все эти результаты были суммированы в рамках построенной пространственной скоростной модели (рис.).

**Публикации:**


1. *Адушкин В.В., Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Санина И.А.* **Оценка параметров сейсмической азимутальной анизотропии верхней мантии центральной части Восточно-Европейской платформы по данным станций «Обнинск» и «Михнево»** // Геофизические исследования. 2019. Т.20. № 3. С. 23–35.

2. *Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю., Санина И.А.* **Скоростная модель западной части Волго-Уралии методом функции приемника** // Физика Земли. 2018. № 6. С. 154–169

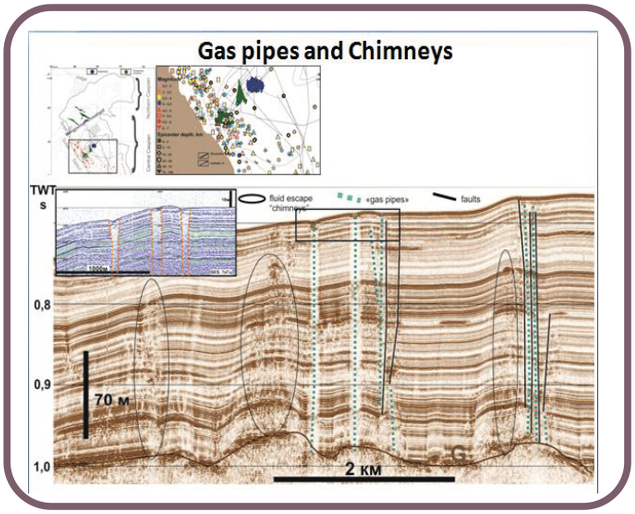
3. *Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Санина И.А., Ризниченко О.Ю.* **Об устойчивости моделирования скоростного разреза методом функции приемника** // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. [Электронный ресурс]: Труды Седьмой научно-технической конференции. 2019. С. 422–426. ISBN 978-5-903258-40-6.

4. *Goev A., Gorbunova E., Ivanchenko G., Kosarev G., Sanina I.* **Features of the structure of collision zones of the central part of the East European Craton** // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2019. P. 187–194. ISBN 978-619-7408-76-8 / ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2019/1.1.

5.*Ivanchenko G.N., Gorbunova E.M., Kosarev G.L., Riznichenko O.Yu, Goev A.G.* **Lithospheric architecture of European craton** // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2018. P. 205–212. ISBN 978-619-7408-35-5 / ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2018/1.1.


## № 17-55-560003 **Сравнительное изучение флюидодинамики осадочных бассейнов Среднего и Южного Каспия** (рук. проекта к.т.н. *Л.Р. МЕРКЛИН*)

Анализ литературных и фондовых материалов академических и инженерно-изыскательских геолого-геофизических и океанографических исследований в Каспийском море показал, что основными каналами водообмена донных осадков с водной толщей Каспия являются газофлюидные «трубы» или «колодцы» в Среднем Каспии и подводные грязевые вулканы Южного Каспия. На основании модельных теоретических расчётов фильтрации через донные осадки можно предполагать, что потенциальный объём водообмена через газофлюидные трубы сопоставим с минимальными объёмами колебаний уровня Каспийского моря.



**Публикации:**

1. *Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Амбросимов А.К., Иванов А.Ю.* **Флюидодинамические аномалии Каспийского моря** // Деловой журнал Neftegaz.ru. 2019. № 1. С. 74–77. (https://elibrary.ru/item.asp?id=38029106).
2. *Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Иванов А.Ю., Амбросимов А.К.* П**роявления современной флюидодинамической активности на Северном Каспии (по геофизическим данным)** // Океанологические исследования. 2019, № 5.

19-05-00671 А **Взаимосвязанные физические процессы в литосферно-атмосферно-ионосферной системе Земли по данным измерительного комплекса ГФО «Михнево»**
(рук. проекта д.ф.-м.н. *И.А. САНИНА*)

Для исследования механизмов ионосферных и геомагнитных возмущений, связанных с удаленными сейсмическими событиями, была создана база данных (БД), содержащая экспериментальные данные о взаимосвязанных возмущениях в литосферно-ионосферно-атмосферной системе (ЛИАС), полученные с использованием аппаратурного комплекса ГФО «Михнево». Созданная в рамках выполнения Проекта БД имеет название «Синхронные измерения различных геофизических полей в ГФО «Михнево»». Номер свидетельства о регистрации БД: 2019621971.

Уникальность созданной БД заключается в систематизации одновременных координированных наблюдений в литосфере, верхних и нижних слоях ионосферы и атмосферы Земли. При этом все измерения выполнены в рамках единого измерительного комплекса, который расположен в асейсмичном регионе, что дает дополнительные возможности для изучения энергообмена между геосферами в условиях геодинамически стабильной обстановки.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных
№ 2019621971

Синхронные измерения различных геофизических полей в ГФО Михнево

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

Авторы: *Санина Ирина Альфатовна (RU), Гаврилов Борис Георгиевич (RU), Раховский Илья Александрович (RU), Беккер Сусанна Зейтухлаевна (RU), Рыбнов Юрий Сергеевич (RU), Резниченко Роман Александрович (RU), Варыпаев Александр Вячеславович (RU)*

Заявка № 2019621843
Дата поступления 22 октября 2019 г.
Дата государственной регистрации в Реестре баз данных 30 октября 2019 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности
Г.П. Ивлиев

**Публикации:**

1. *Volosov Sergey, Konstantinovskaya Natalia, Nesterkina Margarita, Kharlamov Vladimir, Rybnov Yuriy* **Seismo-acoustic Effects of the Lipetsk Bolide 21.06.2018**. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. pp**.** 597–605, DOI : 10.1007/978-3-030-31970-0_63.

## ГРАНТ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МОЛОДЫХ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ

МК-758.2018.5 **Определение структурных и механических характеристик нарушений сплошности массивов горных пород по результатам анализа параметров сейсмоакустических колебаний**
(рук. проекта к.ф.-м.н. *А.А.ОСТАПЧУК*)

Выявлены сейсмоакустические проявления эволюции двух структурных подсистем, формирующихся в процессе сдвигового нагружения в центральной части разлома. Первая – ансамбль асперитис (концентраторов напряжений), вторая – ансамбль относительно разгруженных и подвижных блоков. Ансамбль асперитис фактически формируют «силовой каркас» разлома. В процессе сейсмического цикла разрушение отдельных асперитис сопровождается импульсами с резким вступлением ($WI$ > 0.1). Несмотря на происходящие разрушения асперитис скейлинговые характеристики популяции акустических импульсов

с $WI$ > 0.1 в ходе сейсмического цикла изменяются в пределах статистической погрешности. Вторая подсистема – ансамбль разгруженных блоков – очень чувствительна к изменению напряженного состояния, и скейлинговые характеристики, соответствующей ей популяции АЭ с $WI$ > 0.1, коррелируют с изменением механических характеристик разлома. Рост значения b-value закона Гутенберга-Рихтера наблюдается после динамического срыва на первом этапе «залечивания разлома». Затем на стадии упругого нагружения b-value остается приблизительно постоянной. На заключительном предсейсмическом этапе цикла наблюдается монотонное уменьшение b-value. Таким образом, критерий перехода модельного разлома в критическое состояние – при переходе разлома в критическое состояние происходит резкое снижение b-value для ансамблей АЭ с $WI$ > 0.1, и непосредственной перед динамическим событием b-value принимает минимальное значение.

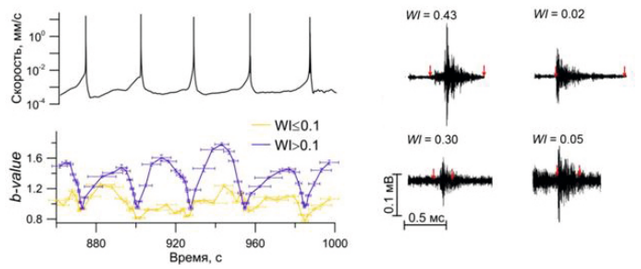



***Рис.*** *Изменение скорости скольжения модельного разлома и закономерности изменения скейлинговых параметров различных популяций АЭ. Справа представлены примеры импульсов АЭ, излучаемых в процессе скольжения модельного разлома*

**Публикации:**


1. *A.A. Ostapchuk, K.G. Morozova, D.V. Pavlov* **Influence of the structure of a gouge-filled fault on the parameters of acoustic emission** // Acta Acustica united with Acustica. 2019. Т. 105. № 5. С. 759–765. DOI: 10.3813/AAA.919356.


## ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОГОВОРЫ

1. № 02/2018(332/2018) **Исследование скорости детонации и полноты взрывания взрывчатых веществ.** Заказчик ООО «Комбинат КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ)

2.№ 182402 (этапы 1–4) **Мониторинг и обеспечение сейсмической и акустической безопасности массовых взрывов в карьере ОАО «Лебединский ГОК».** Заказчик ОАО «Лебединский ГОК» (отв. к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ)

3. № 01/2019(1279/2018 (этапы 1–4). **Мониторинг сейсмического действия массовых взрывов на застройку города Губкина.** Заказчик ООО «Комбинат КМАруда» (отв. к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ)

4. №181991 (этапы 1–4) **Исследование сейсмического и акустического действия массовых взрывов, на застройку города Губкина, 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)

5. № 9000097101 **Исследование сейсмического и акустического действия массовых взрывов на мкрн Советский, разработка рекомендаций по обеспечению сейсмической и акустической безопасности для мкрн Советский и подготовка Заключения о сейсмическом и акустическом воздействии массовых взрывов в разрезе «Южный 2» на мкрн Советский**. Заказчик АО «Воркутауголь». (отв. к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ)

6. № 04/2019 **Определение интенсивности сейсмического действия массовых взрывов и подготовка заключения о максимальном уровне потенциального сейсмического воздействия массовых взрывов вкарьере ОАО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» на проектируемый комплекс циклично-поточной технологии.** Заказчик ОАО «СТОЙЛЕНСКИЙ ГОК» (отв. к.ф.-м.н. В.И. КУЛИКОВ).

7. № 1820187250112452655 002271/ИДГ/1 (этапы 1–2) Заказчик ИМГиГ ДВО РАН. **Составная часть научно-исследовательской работы по теме: шифр «Афалина – ИДГ РАН» (СЧ Н «Афалина – ИДГ РАН») в рамках НИР по теме: шифр «Афалина» по Государственному контракту от 06 июля 2018 года № 1820187250112452655002271** (отв. к.ф.-м.н. Д.Н. ЛОКТЕВ)

# Интеграция науки и бразования

*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, аспирантура, научно-образовательный центр*

## БАЗОВАЯ КАФЕДРА МФТИ: «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА ГЕОСИСТЕМ»

В Институте динамики геосфер РАН уже более 50 лет действует базовая кафедра «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем» (до 08.11.2011г. кафедра называлась «Геофизика сильных возмущений») Московского физико-технического института (МФТИ), готовящая специалистов в области фундаментальных и прикладных наук о Земле и наукоемких отраслей промышленности. Основатель кафедры – известный геомеханик, профессор, д.ф.-м.н. Владимир Николаевич РОДИОНОВ. Около двадцати лет кафедру возглавлял академик РАН, доктор физ.-мат.наук, профессор В.В. Адушкин. Многие годы на кафедре преподавали крупные российские ученые, профессора и доктора физ.-мат.наук: И.В. Немчинов, В.Н. Костюченко, В.М. Цветков, И.А. Сизов и др. **Кафедра готовит магистров по направлению «03.04.01 – прикладная математика и физика» и бакалавров по направлению «03.03.01 – прикладная математика и физика».**

В 2017 году на кафедре произошли значительные кадровые изменения. Возглавил кафедру С.Б. Турунтаев, директор ИДГ РАН, д.ф.-м.н. На кафедру пришли со своими новыми курсами лекций молодые преподаватели, к.ф.-м.н., ведущие научные сотрудники ИДГ РАН, недавние выпускники нашей кафедры, кандидаты физ.-мат. наук А.А. Таирова, А.А. Остапчук , А.Н. Беседина, С.З. Беккер, С.А. Рябова.

В 2019/20 учебном году на кафедре обучается 16 студентов (3–6 курсы) и 5 аспирантов. Профессорско-преподавательский состав кафедры представлен 7 докторами и 9 кандидатами наук. Преподавателями кафедры разработаны и читаются курсы лекций для студентов 3–6 годов обучения. На основе курсов лекций преподаватели издают учебные пособия. В 2019 году С.А. Рябова издала пособие «Геомагнитные эффекты в приповерхностной зоне Земли». Базовая кафедра создана с целью повышения качества специализированной подготовки студентов по геофизическим специальностям, подготовки кадров для ИДГ РАН и других институтов РАН геофизического направления.

В лабораториях ИДГ РАН на современных установках и стендах для студентов проводятся практические занятия. В ходе подготовки своих квалификационных работ студенты принимают участие в текущей научно-исследовательской работе Института и приобретают навыки работы с современными приборами, осваивают новейшие методы обработки данных и компьютерного программирования.

Молодые сотрудники Института, аспиранты и студенты МФТИ также работают на научном полигоне ИДГ РАН – Геофизической обсерватории «Михнево» (ГФО). ГФО «Михнево» предоставляет возможность студентам ознакомиться с комплексом

геофизических наблюдений за ионосферой, магнитным и сейсмическими полями Земли и получить навык практического использования аппаратуры и знаний в мониторинге физических полей.

Студенты кафедры постоянно участвуют в студенческих, всероссийских и международных, научных конференциях и совещаниях. В 2019 году на 62-ой научной конференции МФТИ «Проблемы фундаментальных и прикладных, естественных и технических наук в современном информационном обществе» выступили 6 аспирантов и студентов кафедры с докладами, тезисы которых были опубликованы в трудах конференции. Всего в 2019 году студентами и аспирантами было сделано 17 докладов на международных и Российских конференциях, опубликовано 7 статей в научных журналах и трудах конференций.

В рамках образовательной деятельности некоторые сотрудники Института ведут педагогическую деятельность в других вузах Москвы (МИФИ, МГВМИ, ВЗФЭИ, МФТИ и др.).

## 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 им. М.А. Садовского РАН (ИДГ 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.**

Руководство аспирантами как ИДГ РАН, так и Московского физико-технического института (национальный исследовательски университет) (МФТИ) осуществляется ведущими научными сотрудниками ИДГ РАН.

В 2018/19 учебном году в аспирантуре ИДГ РАН обучалось 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 станции Российской академии наук в г. Бишкеке. В результате обучения каждый экстерн успешно защитил кандидатскую диссертацию на базе ИДГ РАН.

## НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «ГЕОФИЗИКА И НЕФТЯНОЙ ИНЖИНИРИНГ»

Научно-образовательный центр «Геофизика и нефтяной инжиниринг» (далее НОЦ «Геофизика и нефтяной инжиниринг»), возглавляемый директором ИДГ РАН д.ф.-м.н. С.Б. ТУРУНТАЕВЫМ, создан на базе Московского физико-технического института (МФТИ) и ФГБУН Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН) для развития и координации научно-исследовательских работ и учебного процесса по приоритетным направлениям «Подготовка специалистов в области снижения риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф в геофизических системах» и «Подготовка специалистов в области нефтяной инжиниринг и геофизика месторождений углеводородов».

Целями НОЦ является:

- достижение научных результатов мирового уровня по приоритетному направлению развития науки, технологии и техники «Рациональное природопользование»;
- закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров;
- объединение усилий и ресурсов ИДГ РАН, с одной стороны, и МФТИ, с другой стороны;
- формирование эффективных и жизнеспособных научных коллективов, в которых студенты, аспиранты и молодые ученые работают с наиболее результативными исследователями старших поколений.

Образовательная деятельность НОЦ осуществляется школой Аэрофизики и космических исследований МФТИ и лабораториями ИДГ РАН. Подготовка молодых специалистов проводится по профилям кафедры «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем». Обязательными принципа-

деятельности являются: модернизация базовых учебных программ и внедрение новых учебных дисциплин; совершенствование учебно-методической работы, инновационная направленность учебного процесса; развитие методов индивидуальной целевой подготовки; создание современных практикумов и междисциплинарных курсов.

Научная деятельность НОЦ ведется в лабораториях МФТИ и ИДГ РАН и проводится в рамках Федеральных целевых программ, отраслевых программ Минобрнауки, РАН, а также по международным контрактам и программам сотрудничества. Основными принципами организации научной деятельности являются сочетание фундаментальных и прикладных исследований и разработок с образовательным процессом и широкое привлечение к исследованиям студентов, аспирантов и молодых ученых и специалистов.

## Патентно-лицензионная деятельность

### СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ ЭВМ

1. № 2019621885 от 24.10.2019 г. **Каталог локальных синхронных вариаций электрического поля, акустико-гравитационных колебаний и метеопараметров атмосферы, зарегистрированных Геофизической обсерваторией ИДГ РАН «Михнево» в 2015-2018 гг.** Авторы: кандидаты физ.-мат. наук Д.Н. Локтев, Ю.С. Рыбнов, доктора физ.-мат. наук С.П. Соловьев, А.А. Спивак, к.ф.-м.н. В.А. Харламов.
2. № 2019665018 от 18.11.2019 г. **Программа реализации робастного к сейсмическим помехам фазового алгоритма оценивания вектора кажущейся медленности плоской волны по записям сейсмической группы.** Авторы: к.ф.-м.н. А.В. Варыпаев, Т.В. Данилова.

### СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ

1. № 20189617607 от 18.06.2019 г. **Программа выборки одноканальных записей сейсмической группы по заданным временным интервалам.** Авторы: к.ф.-м.н. А.В. Варыпаев, Г.О. Воронин, Т.В. Данилова.
2. № 2019621986 от 01.11.2019 г. **Мониторинг сейсмических событий Центральной части Восточно-Европейской платформы по данным временной сети ИДГ РАН в 2018 году.** Авторы: д.ф.-м.н. И.А. Санина, М.А. Нестеркина, Н.Л. Константиновская, С.Г. Волосов, Т.В. Данилова, А.Г. Гоев.
3. № 2019621987 от 01.11.2019 г. **Каталог промышленных взрывов, зарегистрированных геофизической обсерваторией ИДГ РАН «Михнево» в 2017 г.** Авторы: д.ф.-м.н. И.А. Санина, М.А. Нестеркина, Н.Л. Константиновская, С.Г. Волосов, Т.В. Данилова.
4. № 2019621885 от 24.10.2019 г. **Каталог промышленных взрывов, зарегистрированных геофизической обсерваторией ИДГ РАН «Михнево» в 2017 г.** Авторы: д.ф.-м.н. И.А. Санина, М.А. Нестеркина, М.А. Константиновская, С.Г. Волосов, Т.В. Данилова.
5. № 2019621971 от 30.10.2019 г. **Синхронные измерения различных геофизических полей в ГФО «Михнево».** Авторы: доктора физ.-мат. наук И.А. Санина, Б.Г. Гаврилов, кандидаты физ.-мат. наук И.А. Ряховский, С.З. Беккер, Ю.С. Рыбнов, Р.А. Резниченко, А.В. Варыпаев.

# Совет молодых ученых

Активную роль в жизни Института играет Совет молодых ученых. С каждым годом число молодых исследователей стремительно растет. На конец 2019 года общая численность молодых исследователей превысила 40 человек. Новыми членами семьи ИДГ РАН стали выпускники МГУ, МФТИ, МИСиС и РГУНГ. Председателем Совета молодых ученых является к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории деформационных процессов в земной коре Алексей Андреевич ОСТАПЧУК. Молодые ученые участвуют в исследованиях всех научных направлениий Института. В 2019 г. при непосредственном участии молодых исследователей было опубликовано 5 статей, входящих в первый квартиль Scopus, и сделано более 40 устных и стендовых выступлений на многочисленных российских и международных конференциях, включая AGU, EGU, EAGE и др.

При непосредственном участии СМУ ИДГ РАН была организована V Международная конференция ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГЕОСИСТЕМАХ и заседание секции Теоретической и экспериментальной физики геосистем 62-ой Всероссийской научной конференции МФТИ.

Полученные молодыми учеными достижения отмечаются многочисленными премиями и грантами. В 2019 году медаль Российской академии наук для молодых ученых в области геологии, геофизики, геохимии и горных наук присуждена к.ф.-м.н., старшему научному сотруднику ИДГ РАН Марине Владимировне КАРСАНИНОЙ за научную работу «Мультимасштабное моделирование внутреннего строения сред: от структуры к свойствам». Грантовую поддержку Российского фонда фундаментальных исследований получила Мария Александровна ТРИМАНОВА за проект «Учёт фильтрационных процессов при определении величин тектонических напряжений в нефтенасыщенных коллекторах по данным гидроразрыва пласта».

Сформированная в Институте система научных ценностей, желание самих молодых ученых и мотивация их деятельности со стороны администрации дают возможность достижения самых больших научных высот.

**На фото:** *А.А. ОСТАПЧУК – председатель Совета молодых ученых ИДГ РАН (слева); молодые исследователи (слева-направо) к. ф.-м. н., с.н.с. А.А. ТАИРОВА, к.ф.-м.н., н.с. С.З. БЕККЕР, м.н.с. М.А. ТРИМОНОВА, аспирант, м.н.с., К.Г. МОРОЗОВА, к.ф.-м.н., с.н.с. А.Н. БЕСЕДИНА, к.ф.-м.н., с.н.с. Н.А. БАРЫШНИКОВ (нижний ряд); аспирант, м.н.с. Н.А. ЮДОЧКИН, м.н.с. П.Е. ЗЕНЧЕНКО, аспирант, м.н.с. И.В. БАТУХТИН, аспирант, м.н.с. З.З. ШАРАФИЕВ, к.ф.-м.н., и.о. зав. лабораторией Литосферно-ионосферных связей И.А. РЯХОВСКИЙ*

# Публикационная активность

**В 2019 году изданы:**

**МОНОГРАФИИ**

1. **Trigger Effects in Geosystems** / Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences / G. Kocharyan, A. Lyakhov (eds.). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_49 .
2. *Рябова С.А., Спивак А.А.* **Геомагнитные эффекты в приповерхностной зоне Земли**. М.: Графитекс. 2019. – 150 с. : ил.
3. *Цветков Л.А., Пустовалов А.А., Баранов Н.Н., Мандругин А.А.* **Основа бета-вольтанки: научные и технологические аспекты преобразования энергии бета-распада радионуклидов в электрическую энергию.** М. : РадиоСофт. 2019. – 336 с. : ил.
4. *Адушкин В.В., Христофоров Б.Д.* **Подводные и прибрежные взрывы.** С.-Пб. : Премиум-Пресс, 2019. – 256 с.: ил.

**СБОРНИКИ НАУЧНЫХ ТРУДОВ ИДГ РАН**

1. **Триггерные эффекты в геосистемах**: материалы V Международной конференции / Под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М. : ТОРУС ПРЕСС. 2019. – 456 с. : ил.
2. **Динамические процессы в геосферах. Вып. 11**: сборник научных трудов ИДГ РАН. М. : Графитекс. 2019. – 152 с. : ил.

ПУБЛИКАЦИИ В ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЯХ

1. *Adushkin V.V., Rybnov Yu.S., Spivak A.A., Kharlamov V.A.* **Relationship between the Parameters of Infrasound Waves and the Energy of the Source** // Izvestiya, Physics of the solid Earth. 2019. Vol. 55. No. 6. P. 897–906. DOI: 10.1134/S106935131905001X.
2. *Adushkin V.V., Spivak A.A.* **Problems related to the interaction of geospheres and physical fields in Near-Surface geophysics** // Izvestiya, Physics of the solid Earth. 2019. Vol. 55. No. 1. P. 1–11. DOI: 10.1134/S1069351319010014. (IFWoS = 0.98).
3. *Adushkin V.V., Sanina I.A., Ivanchenko G.N. et al.* **Seismogenic Ancient Structures of the Center and North of the East European Platform** // Doclady Earth Sciences. 2019. Vol. 489. Part 2. P. 1432–1435. DOI: 10.1134/S1028334X19120018 (IFWoS = 0.637).
4. *Anisimov V.N., Logachev V.I. & Logachev I.I.* (2019). **Destruction of Ferruginous Quartzite in Rock Mass by High-Gradient Magnetic Fields** // Bull. Lebedev Phys. Inst. 46, 364–370. doi:10.3103/S1068335619110095.
5. *Artemieva N., Shuvalov V.V., & Khasins V.M.* (2019). **Upper atmosphere effects after the entry of small cosmic bodies: Dust trains, plumes, and atmospheric disturbances** // Icarus 327: 60–71. DOI: 10.1016/j.icarus.2019.02.023. IF 3.565. Q1.
6. *Artemieva N. & Shuvalov V.* (2019). **Atmospheric shock waves after impacts of cosmic bodies up to 1000 m in diameter** // Meteoritics and Planetary Science 54: 592–608. DOI: 10.1111/maps.13229. IF = 2.318. Q2.
7. *Bart G.D., Daubar I.J., Ivanov B.A., Dundas C.M. and McEwen A.S.* **Dark halos produced by current impact cratering on Mars** // Icarus, 2019. V. 328. P. 45–57. (IFScopus = 3.587).
8. *Borovicka J.,Popova O.,Spurny P.* (2019). T**he Maribo CM2 meteorite fall: Survival of weak material at high entry speed** // Meteoritics & Planetary Science, 54, 1024–1041.
9. *Derossi A., Gerke K.M., Karsanina M.V. et al*. (2019). **Mimicking 3D food microstructure using limited statistical information from 2D cross-sectional image** // Journal of food engineering, 241, 116–126. IF = 4.
10. *Gerke K.M., Karsanina M.V. & Katsman R.* (2019). **Calculation of tensorial flow properties on pore level: Exploring the influence of boundary conditions on the permeability of three-dimensional stochastic reconstructions** // Physical Review E, 100(5), 053312. IF = 2.36.

12. *Jenniskens Peter, Popova Olga P., Glazachev Dmitry O. et al.* (2019). **Tunguska eyewitness accounts, injuries, and casualties** // Icarus, 327, 4–18.
13. *Kozlov S., Nikolayshvily S., Platov Yu., Repin A.* (2019). **Dynamics of the Gus-dust cloud observed in the upper atmosphere on October 26, 2017** // Acta Astonautica. Vol. 163. 2,482. P. 133–137.
14. *Koeberl C., Ivanov B.A.* (2019). **Asteroid impact effects on Snowball Earth** // Meteoritics & Planetary Science. Vol. 54 (10). P. 2273–2285, doi: 10.1111/maps.13294. IFWoS = 2.318.
15. *Kocharyan G.G., Kishkina S.B., Budkov A.M., Ivanchenko G.N.* (2019). **On the genesis of the 2013 Bachat earthquake** // Geodynamics & Tectonophysics 10 (3), 741–759, doi:10.5800/GT-2019-10-3-0439.
16. *Korsunskaja J.A.* (2019). **Heuristic model of solar X-ray spectrum according to satellite data for geophysical applications** // Solar-Terrestrial Physics. Vol. 5 (3). P. 75–86. DOI: 10/12737/stp-53201909. IF = 0.417.
17. *Krasnoshchekov D.N., Ovtchinnikov V.M., Usoltseva O.A.* (2019). **Shear wave velocity in the top of the Earth's inner core** // Doklady Earth Sciences, vol. 488, part 2, 1186–1189.
18. *Krasnoshchekov Dmitry, Ovtchinnikov Vladimir, Polishchuk Valentin.* (2019). **Dissimilarity of the Earth's Inner Core Surface Under South America and Northeastern Asia Revealed by Core Reflected Phases** // Journal of Geophysical Research, Solid Earth, vol. 124, #5, 4862–4878.
19. *Luther R., Artemieva N. & Wunnemann K.* (2019). **The effect of atmospheric interaction on impact ejecta dynamics and deposition** // Icarus. 333: 71–86. DOI: 10.1016/j.icarus.2019.05.007. IF 3.565. Q1.
20. *Naumov, M., Ivanov, B., Deutsch, A., and Langenhorst, F.* (2019). **Victor Lyudvigovich Masaitis (July 21, 1927–July 21, 2019)** // Meteoritics & Planetary Science, V. 54. no. 11. P. 2879–2883. DOI:10.1111/maps.13394. (IFWoS= 2.318).
21. *Nepeina K., An V.A., Chelyubeeva T.V.* (2019). **USSR. Peaceful nuclear tests, Geophysical Observatory «Borovoye»** // Вестник НЯЦ РК, Курчатов, выпуск 2, с. 28–32.
22. *Nepeina K., An V.* (2019). **The Refined USSR Peaceful Nuclear Explosions Database for Borovoye Geophysical Observatory** // MDPI (CH-4052 Basel, Switzerland). Vol. 4, issue 2, 56, 14 p.
23. *Ostapchuk A.A., Morozova K.G., Pavlov D.V.* (2019). **Influence of the Structure of a Gouge-Filled Fault on the Parameters of Acoustic Emission** // Acta Acustica United With Acustica, Vol. 105. P.759–765. DOI 10.3813/AAA.919356. IFScopus = 1.203.
24. *Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Ruzhich V.V., Gubanova A.* (2019). **Seismic-acoustics of a block sliding along a fault** // Pure and Applied Geophysics, doi: 10.1007/s00024-019-02375-1. IFWoS=1.466.
25. *Sanina I.A., Ivanchenko G.N., Gorbunova E.M. et al.* (2019). **Seismotectonic Setting of the Earthquake of August 7, 2016 and its Aftershocks** // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. Vol. 55. No. 2. P. 327–336. DOI: 10.1134/S1069351319020095. IF = 0.98.
26. *Svetsov V., Shuvalov V.* (2019) **Thermal radiation from impact plumes** // Meteoritics and Planetary Science. V. 54. Iss.1. P. 126–141.
27. *Spivak A.A., Riabova S.A.* (2019). **Geomagnetic field disturbances from the fall of the Lipetsk (June 21, 2018) and Chelyabinsk (February 15, 2013) meteorites** // Doklady Earth Science. Vol. 485. No. 1. P. 341–345.
28. *Spivak A.A., Riabova S.A.* **The geomagnetic effect of earthquakes** // Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 488. No. 1. P. 1107–1110.
29. *Spivak A.A., Riabova S.A., Kharlamov V.A.* **The electric field in the surface atmosphere of the megapolis of Moscow** // Geomagnetism and Aeronomy. 2019. Vol. 59. No. 4. P. 467–478. DOI: 10.1134/S0016793219040169.
30. *Spivak A.A., Rybnov Yu.S., Kharlamov V.V.* **Some characteristics of Moscow acoustic noise** // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2019. Vol. 55. No. 7. P. 785-791. DOI: 10.1134/S0001433819070089.
31. *Spivak A.A., Kharlamov V.A.* **Manifestation of lunar and solar tides in the spectra of GPS coordinate data** // Doklady Earth Science. 2019. Vol. 489, part 1, pp. 1330–1332. DOI: 10.1134/S1028334X191410175.
32. *Toporovskii V.V., Skvortsov A.A., Kudryashov A.V. et al.* (2019). **Flexible bimorphic mirror with high density of control electrodes for correcting wavefront aberrations** // J. Opt. Technol. 86, pp. 32–38.
33. *Toporovskiy V., Kudryashov A., Samarkin V. et al.* (2019). **Bimorph deformable mirror with a high density of electrodes to correct for atmospheric distortions** // Appl. Opt. 58(22), pp. 6019–6026.
34. *Riabova S.A.* **Geomagnetic effect of the strong 2011 Tohoku earthquake** // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2019. No. 4. P. 137–151.
35. *Vinogradov E., Gorbunova E., Besedina A., Kabychenko N.* (2019) **Earth Tide Analysis Specifics in Case of Unstable Aquifer Regime.** In: Braitenberg C., Rossi G., Geodynamics and Earth Tides Editor group (eds) Geodynamics and Earth Tides Observations from Global to Micro Scale. Pageoph Topical Volumes. Birkhäuser, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96277-1_15. IFWoS = 1.466.

36. *Zhu M.-H., Artemieva N. & 4 co-authors.* (2019). **Reconstructing the late-accretion history of the Moon** // Nature. 571: 226–229. DOI:10.1038/s41586-019-1359-0. IF = 43.070. Q1.
37. *Адушкин В.В., Аксенов О.Ю., Вениаминов С.С., Козлов С.И.* **Об оценке опасности мелкого космического мусора для космической деятельности и экологии Земли** // Воздушно-космическая сфера. 2019. № 3. С. 72–80.
38. *Адушкин В.В., Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Санина И.А.* **Оценка параметров сейсмической азимутальной анизотропии верхней мантии центральной части Восточно-Европейской платформы по данным станций «Обнинск» и «Михнево»** // Геофизические исследования, 2019, том 20, № 3, с. 23–35.
39. *Адушкин В.В., Калмыков А.А.* **О развитии приборостроения в физике быстропротекающих процессов для обеспечения регистрации проведения ядерных взрывов и их последствий** // Горение и взрыв. 2019. Т. 12. № 1. С. 142–149. IFРИНЦ = 0.432.
40. *Адушкин В.В., Санина И.А., Иванченко Г.Н. и др.* **Сейсмогенные древние структуры центра и севера восточно-европейской платформы** // ДАН. 2019. Т. 489, № 4. С. 405–408.
41. *Башилов И.П., Верещагин А.А., Загорский Л.С. и др.* **Технология МСП в инженерно-геологических изысканиях** // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019;(12):141–150.
42. *Беляков Г.В., Таирова А.А., Филиппов А.Н.* **Измерение газодинамических параметров в щели при испарении ее стенок** // Труды российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. М. : РГУ нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина. 2019. № 1, с. 109–119. DOI: 10.33285/2073-9028-2019-1(294)-109-119.
43. *Беседина А.Н., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Волосов С.Г.* (2019). **Инструментальные методы расширения амплитудно-частотной характеристики геофона** // Сейсмические приборы, т. 55, № 3, с. 5–23. DOI: 10.21455/si2019.3-1. IFринц = 1.262.
44. *Габсатарова И.П., Голубева И.В., Дягилев Р.А. и др.* **Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Восточно-европейская платформа, Урал и Западная Сибирь** // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 24–29.
45. *Гаврилов Б.Г., Ермак В.М., Поклад Ю.В., Ряховский И.А.* **Оценка изменений параметров среднеширотной нижней ионосферы, вызванных солнечной вспышкой 10 сентября 2017 г.** // Геомагнетизм и аэрономия, 2019. Т. 59, №. 5, с.628–634.DOI: https://doi.org/10.1134/S0016794019050043.
46. *Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Ляхов А.Н. и др.* **Коррелированные возмущения верхней и нижней ионосферы по данным синхронных измерений параметров сигналов ГНСС и радиосигналов ОНЧ диапазона** // Космические исследования, 2019, Т. 57, №. 1, с. 39–45. DOI: https://doi.org/10.1134/S0023420619010035.
47. *Зенченко Е.В., Тримонова М.А., Турунтаев С.Б.* **Лабораторное моделирование гидроразрыва пласта и сопутствующих процессов** // Нефтяное хозяйство. 2019. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-10-68-71.
48. *Краснощеков Д.Н., Овчинников В.М, Усольцева О.А.* **О скорости поперечных волн в верхней части внутреннего ядра Земли** // Доклады Академии Наук. 2019. Т. 488, № 4, с. 434–438.
49. *Кочарян Г.Г., Батухтин И.В., Будков А.М. и др.* **Об инициировании динамических подвижек по разломам техногенным воздействием** // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 3. С. 104–116. https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-7 IFринц = .3
50. *Кочарян Г.Г., Морозова К.Г., Остапчук А.А.* **Исследование акустической эмиссии слоя геоматериала при сдвиговом деформировании** // ФТПРПИ. 2019. –22. DOI: 10.15372/FTPRPI20190302.
51. *Кудряшов А.В., Рукосуев А.Л.* (2019). **Адаптивная оптика для задач уничтожения космического мусора.** В сб. трудов конференции «Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы» / под ред Л.М. Зеленого, Б.М. Шустова. М. : ИКИ РАН. С. 191–198.
52. *Кочарян Г.Г., Куликов В.И., Павлов Д.В.* **О влиянии массовых взрывов на устойчивость тектонических разломов** // ФТПРПИ, 2019. № 6, с. 59–69.
53. *Лаврухин Е.В, Карсанина М.В., Измаилов А.Ф., Герке К.М.* **Увеличение объемов численного моделирования в масштабе пор: метод разбиения на подкубы при выделении поросетевых моделей** // Neftegaz.RU, 2019, № 7, с. 70–75. IF = 0.238.
54. *Ляхов А.Н., Козлов С.И., Беккер С.З.* **Оценка точности расчетов по международной справочной модели ионосферы IRI–2016. I. Концентрации электронов** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 1. С. 50–58.
55. *Нифадьев В.И., Адушкин В.В., Чен Б.Б. и др.* **К вопросу о механизме литосферно-атмосферных**

Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2019. Т. 19. № 4. С. 105–113. IFРИНЦ = 0.196.
56. *Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И. и др.* **Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть I: Формулировка и обоснование задачи исследований** // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 1. С. 5–25. IFРИНЦ = 0.263.
57. *Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И. и др.* **Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть II: Динамико-кинематические характеристики волн маятникового типа в напряженных геосредах и сейсмоэмиссионные процессы //** Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 11. С. 5–26. IFРИНЦ = 0.263.
58. *Опарин В.Н., Адушкин В.В., Востриков В.И., и др.* **Развитие экспериментально-теоретических основ нелинейной геотомографии. Часть III: Перспективные системы контроля деформационно-волновых процессов в подземных и наземных условиях ведения горных работ** // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 12. С. 5–29. IFРИНЦ = 0.263.
59. *Санина И.А., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. и др.* **Сейсмотектоническая обстановка землетрясения 7 августа 2016 г. и его афтершоков** // Физика Земли. 2019. № 2. С. 156–157. DOI: 10.31857/S0002-333720192156-167.
60. *Авдеева Л.И., Алёничева А.О., Алёшина Е.И. и др.* **Сведения о наиболее крупных промышленных взрывах. Землетрясения России в 2017 году.** Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. С. 189–199. ISSN 1819-852X.
61. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Харламов В.А.* **Некоторые характеристики акустического шума в г. Москва** // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. № 1. С. 118–124.
62. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Геомагнитные вариации при падении метеоритов** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 5. С. 655–665.
63. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Геомагнитные вариации при сильных землетрясениях** // Физика Земли. 2019. № 6. С. 3–12.
64. *Спивак А.А., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Электрическое поле в приземной атмосфере Московского мегаполиса** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 4. С. 501–513.
65. *Рябова С.А.* **Совершенствование автоматического вычисления К-индекса по данным наблюдений за геомагнитным полем** // Информатизация и связь. 2019. № 5. С. 118–120.
66. *Рябова С.А.* **Особенности вековой вариации геомагнитного поля на среднеширотных обсерваториях «Михнево» и «Бельск»** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 1. С. 125–136.
67. *Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А.* **Проявление квинтета основной сфероидальной моды собственных колебаний Земли $_0S_2$ в электромагнитных вариациях на ГФО «Михнево»** // Процессы в геосредах. 2019. № 3. С. 399–403.
68. *Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П.* **Синхронные вариации атмосферного давления и электрического поля при прохождении солнечного терминатора** // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59. № 2. С. 249–257. DOI: 10.1134/S0016794019020123.
69. *Тарасов С.А., Ризниченко О.Ю., Санина И.А., Варыпаев А.В.* **Добротность центральной части ВЕП, определенная по коде волны Lg по данным МСГ «Михнево»** // Российский сейсмологический журнал. 2019, т. 1, № 1, с. 57–66. https://doi.org./10.35540/2686-7907.2019.1.05
70. *Топоровский В.В., Скворцов А.А., Кудряшов А.В. и др*. (2019). **Гибкое биморфное зеркало с высокой плотностью управляющих электродов для коррекции аберраций волнового фронта** // Оптический журнал. 86(1), с. 40–47.
71. *Тюпин В.Н., Анисимов В.Н.* **Разработка методов сохранения устойчивости открытых поверхностей трещиноватых горных массивов при проведении массовых взрывов** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 53–62.

ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГЕОСИСТЕМАХ:
материалы V Международной конференции
(Москва, 4–7 июня 2019 г.)

72. *Faskheev I.O., Trimonova M.A.* (2019) **Experimental Study of the Effect of Plastic Rock Properties on Hydraulic Fracturing.** In In: G. Kocharyan, A. Lyakhov (eds.) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0_25.
73. *Baryshnikov N.A., Zenchenko E.V., Turuntaev S.B.* (2019). **Apparent Permeability Loss Over Time in Long-Term Measurements Using the Steady-State Method.** In: G. Kocharyan, A. Lyakhov (eds.) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham.

74. *Gavrilov B., Zetzer J., Poklad Y. et al.* (2019). **Experimental study of mid-latitude ionosphere disturbances caused by auroral phenomena and heating experiments.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pp. 465–474. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_49.
75. *Glazachev D.O. Podobnaya E.D. Popova O.P. et al.* **Scaling relations for shock wave effects from the impacts of cosmic objects with diameters from a few meters to 3 km** (2019). In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. P. 475–486.
76. *Ivanov B.* (2019). **Acoustic Fluidization During Impact Crater's Formation.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pp. 497–505. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0_52.
77. *Ivanchenko G., Kishkina S.* (2019). **Formalized lineament analysis as a basis for seismic monitoring of platform areas.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-31970-0.P.61-71.
78. *Khazins V., .Shuvalov V.* (2019). **Chicxulub Impact as a Trigger of one of Deccan Volcanism Phases: Threshold of Seismic Energy Density**. In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. P. 523–530. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0.
79. *Kocharyan G., Budkov A., Kishkina S.* (2019). **Triggering Tectonic Earthquakes by Mining.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_34.
80. *Krasnoshchekov D., Ovtchinnikov V.* (2019). **Rotation factor: dynamics and interaction of the Earth's core and mantle.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pp.145–152.
81. *Kuzmicheva Marin*a (2019.) **Simulation of Aluminum Jet Expansion in Active Geophysical Experiments Taking into Account Deviation of Ionization State from Thermodynamic Equilibrium.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects n Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_57.
82. *Novikova N., Trimonova M.* (2019). **Hydraulic Fracturing Pressure Curves as a Way for Determining Reservoir Parameters.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0_29.
83. P*odobnaya E., Glazachev D., Popova O. et al.* (2019) **Scaling relations for radiation effects due to impacts of large cosmic objects.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pp. 569–577.
84. *Ruzhich V., Ostapchuk A., Pavlov D.* (2019). **On the Results of Studying Deep Paleo Seismic Dislocations (at the Example of the Marginal Suture of the Siberian Craton).** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-31970-0_18.
85. *Svetsov V., Shuvalov V.* (2019). **Trigger effect of an asteroidal or cometary impact at the Permian–Triassic boundary.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, pp. 589–596.
86. *Tairova A., Belyakov G.* (2019). **Measurement of Gas-Dynamic Parameters of Superheated Gas Flow in Slit, Applicable to the Bazhenov Formation.** In: G. Kocharyan and A. Lyakhov (eds.), Trigger Effects in Geosystems, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. DOI 978-3-030-31970-0_31.
87. Varypaev A., Volosov S, Konstantinovskaya N. et al. (2019). **Seismo-acoustic effects of the lipetsk bolide 21.06.2018.** In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_63
88. *Адушкин В.В.* **Влияние взрывных работ на возникновение катастрофических техногенно-тектонических землетрясений в Кузбассе.** В кн. Триггерные эффекты в геосистемах: материалы V международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах» (Москва, 4–7 июня 2019 г.). ИДГ РАН. М. : ТОРУС ПРЕСС. 2019.
89. *Батухтин И.В., Будков А.М., Кочарян Г.Г.*

**Особенности старта и остановки разрыва на разломах с гетерогенной поверхностью.** Там же.
90. *Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Поклад Ю.В. и др.* **Радиофизический измерительный комплекс геофизической обсерватории «Михнево».** Там же.
91. *Ковалева И.Х., Ковалев А.Т.* **Триггерная активация возмущения ионосферной плазмы при оптическом возбуждении нейтральной компоненты среды.** Там же.
92. *Крашенинников А.В., Локтев Д.Н., Соловьев С.П.* **Особенности атмосферного электрического поля в условиях аэрозольного загрязнения атмосферы техногенными источниками.** Там же.
93. *Мартынов В.С., Остапчук А.А., Будков А.М.* **Демпфирование распространения косейсмического разрыва.** Там же.
94. *Морозова К.Г., Остапчук А.А.* **Статистические закономерности излучения сигналов акустической эмиссии при фрикционном скольжении разлома: лабораторный эксперимент.** Там же.
95. *Рыбнов Ю.С., Соловьев А.В., Спивак А.А.* **Параметрическая модель инфразвуковых шумов автомагистралей мегаполисов.** Там же.
96. *Санина И.А., Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. и др.* **К вопросу о современных землетрясениях центра и севера русской плиты.** Там же.
97. *Сергеев В.Н.* **Критическое замедление при приближении системы к катастрофе.** Там же.
98. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П. и др.* **Геофизические эффекты, вызванные падением Челябинского болида.** Там же.
99. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Рябова С.А. и др.* **Прогностические признаки опасных атмосферных явлений в геофизических полях.** Там же.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕОСФЕРАХ.
Вып. 11. ИДГ РАН.
М. : Графитекс. 2019. – 150 с.

100. *Афанасьев В.Н., ПечерниковА Г.В.* **О вероятности захвата планетезималей в протолунный рой в процессе формирования системы земля-луна.** С. 72-83. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38470,
101. *Барышников Н.А., Зенченко Е.Е., Турунтаев С.Б.* **Изменение проницаемости ультранизкопроницаемого известнякового образца под воздействием сжимающего давления в ходе цикла нагружения – разгрузки**. С.10-17. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38471.
102. *Болонистова А.В., Гаврилов Б.Г.* **Экспериментальное исследование возмущений D области ионосферы, вызванных высыпаниями заряженных частиц.** С. 118-126. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38610.
103. *Горбунова Э.М., Батухтин И.А., Беседина А.Н. et al.* **Опыт измерений вариаций уровня подземных вод при массовых взрывах**. С. 17-26. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38611
104. *Зенченко Е.В., Зенченко П.Е., Лукина А.А., Турунтаев С.Б.* **Исследование динамики распространения и раскрытия трещин гидроразрыва в лабораторном эксперименте акустическими методами.** С.26-34. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38613.
105. *Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М.* **Анализ линейных структур сочленения сибирской платформы И байкальской рифтовой зоны методами формализованного линеаментного анализа.** С. 34-42. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38614.
106. *Краснощеков Д.Н.* **О смещении оценок скачка плотности на границе внутреннего ядра земли по амплитудному отношению PKiKP/PcP.** С. 43-47. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38628.
107. *Лосева Т.В., Косарев И.Б., Ляхов А.Н. и др.* **Ионизация воздуха тепловым излучением плазменной струи в активных геофизических ракетных экспериментах «Флаксус».** С. 134-42. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38615.
108. *Овчинников В.М.* **Дифференциальное вращение внутреннего ядра земли из сейсмических данных станции Иультин.** С.56-63. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38617.
109. *Остапчук А.А., Горбунова Э.М., Григорьева А.В. и др.* **Комплексное изучение глубинного разлома по данным наземных наблюдений.** С. 63-70. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38619.
110. *Печерникова Г.В., Сергеев В.Н.* **Краткий обзор гипотезы формирования протолунного роя в процессе ко-аккреции с учетом ударных выбросов вещества Земли.** С.93-99. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38620.
111. *Рыбнов Ю.С., Спивак А.А., Харламов В.А.* **Акустические эффекты аварийных взрывов.** С. 110-116. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38622.
112. *Санина И.А., Ризниченко О.Ю., Волосов С.Г. et al.* **Уникальной научной установке «Михнево» ИДГ РАН – 15.** С. 48-56. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38623.
113. *Светцов В.В.* **О воздействии ударов железосодержащих астероидов на фитопланктон и климат.** С. 92-99. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38624.
114. *Сергеев В.Н., Печерникова Г.В.* **Энергия ударов**

**планетезималей, перешедшая в тепло в период аккреции Земли, и энергия дифференциации, выделившаяся при формировании земного ядра.** С. 100-104. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38625.
115. *Спивак А.А., Рябова С.А., Харламов В.А.* **Геофизические эффекты извержения вулкана «Стромболи» (03.07.2019 г., Италия).** С. 104-110. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38626.
116. *Спивак А.А., Рябова С.А.* **Вариации электрических характеристик приземной атмосферы в периоды магнитных бурь.** С.134-142. DOI: 10.26006/IDG.2019.11.38627.

ПУБЛИКАЦИИ В ТРУДАХ КОНФЕРЕНЦИЙ

117. *Bakeev R.A., Stefanov Yu.P., Kocharyan G.G.* (2019). **Stages of Strike-Slip Faulting and Block Structure Dynamic**s // AIP Conf. Proc. 2167, 020025-1–020025-4.
50. *Bekker S.Z., Lyakhov A.N.* (2019). **Analysis of the probability density functions obtained from the probabilistic-statistical models of the lower ionosphere** // Proceedings of SPIE. 11208-327. https://doi.org/10.1117/12.2540951.
118. *Besedina A.N.* (2019). **Investigation of the preparation process of seismic events with the help of seismic noise analysis** // AIP Conference Proceedings 2167, 020034. https://doi.org/10.1063/1.5131901.
119. *Gavrilov B.G., Zetzer Y.I., Poklad Y.V. et al.* (2019). **Investigation of the atmosphere and ionosphere by the radiophysical measuring complex of the «Mikhnevo» geophysical observatory** // Russian Open Conference on Radio Wave Propagation, Proceedings. 8810216, pp. 171–174. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810216.
120. *Gavrilov B.G, Poklad Yu.V., Rybakov V.A., Ryakhovsky I.A.* (2019). **Study of the dynamics of ionospheric irregularities by using a set of GPS receivers** // Proceedings of SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. https://doi.org/10.1117/12.2540627.
121. *Galaktionov I., Kudryashov A., Sheldakova J., Nikitin A.* (2019). **Laser beam focusing through the scattering medium using bimorph deformable mirror and spatial light modulator** // Proc. SPIE 11135, pp. 111350B, 2019. DOI: 10.1117/12.2533985.
122. *Galaktionov I., Kudryashov A., Sheldakova J., Nikitin A.* (2019). **Laser beam focusing through the dense multiple scattering suspension using bimorph mirror** // Proc. SPIE 10886, p. 1088619, 2019. DOI: 10.1117/12.2509621.
123. *Goev A., Gorbunova E., Ivanchenko G. et al.* (2019). F**eatures of the structure of collision zones of the central part of the east European craton** // SGEM2019 Conference Proceedings 19. Issue 1.1. 2019. P. 187–194. DOI: 10.5593/sgem2019/1.1.
124. *Gorbunova E., Besedina A.* (2019). **Study of the hydrogeological responses from the far earthquakes** // SGEM2019 Conference Proceedings 19. Issue 1.2. 2019. P. 507–514. 10.5593/sgem2019/1.2/S02.065. IF = 0.125.
125. *Kabychenko N.V., Gorbunova E.M., Besedina A.N.* (2019). **Deformation mode of water-saturated collector by precision hydrogeological monitoring** // AIP Conference Proceedings 2167, 020142 (2019); https://doi.org/10.1063/1.5132009.
126. *Krasnoshchekov, D., Ovtchinnikov, V.* (2019). **Heterogeneities of the Earth's inner core boundary from differential neasurements of PKiKP and PcP seismic phases** // Geocosmos, 12 p. Proceedings of the XII International Conference and School Problems of Geocosmos – 2018 Editors: T.B. Yanovskaya, A. Kosterov, N.Y. Bobrov, A.V. Divin, A.K., Saraev, N.V. Zolotova. ISBN 978-3-030-21788-4.
127. *Krasheninnikov A., Soloviev S., Rybnov Y. and Solovyov A.* (2019). **Atmospheric Pressure and Electric Field Variations During Auroras** // Russian Open Conference on Radio Wave Propagation, RWP 2019 – Proceedings, July 2019, pp. 548–551. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810239.
128. *Kovalev A.T., Kovaleva I.Kh., Lyahov A.N., Zetzer J.I.* (2019). **Electron fluxes causing atmosphere air glow during the polar active "North Star" ionospheric experiment** // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 1120898 (18 December 2019); https://doi.org/10.1117/12.2540723.
129. *Kudryashov A., Nikitin A., Galaktionov I. et al.* (2019). **Adaptive optics for laser-beam focusing through the pinhole** // Proc. SPIE 11107, pp. 111070F, 2019. DOI: 10.1117/12.2534008.
130. *Lyakhov A., Gavrilov B., Zetzer J.* (2019). **Frontiers in the D-region physics** // Proceedings of SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112088Y. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2540420.
131. *Lyakhov A.N., Kozlov S.I., Losseva T.V. et al.* (2019). **The comparison of standard and swarm D-layer ionosphere models on the simulation of the x-ray solar flare response** // Proceedings of SPIE. 2019. 11208-151. https://doi.org/10.1117/12.2540423.

132. *Lyakhov Andrey N., Kozlov Stanislav I., Losseva Tatiana V. et al.* (2019). **The comparison of standard and swarm D-layer ionosphere models on the simulation of the X-ray solar flare response** // Proc. SPIE 11208, 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112088Z (18 December 2019).DOI: 10.1117/12.2540423.
133. *Nikitin A., Galaktionov I., Sheldakova J. et al.* (2019). **Absolute calibration of a Shack-Hartmann wavefront sensor for measurements of wavefronts** // Proc. SPIE 10925, pp. 109250K, 2019. DOI: 10.1117/12.2510047.
134. *Nikitin A., Galaktionov I., Sheldakova J.* (2019). **Focusing laser beam through pinhole using bimorph deformable mirror** // Proc. SPIE 10904, pp. 109041I, 2019.
135. *Poklad, Y.V., Gavrilov, B.G., Ermak, V.M.* (2019). **Recovery of the parameters of the D-layer of the ionosphere according to the amplitude-phase measurements on the dual-frequency VLF PATH 2019** // Russian Open Conference on Radio Wave Propagation, RWP 2019 – Proceedings. 8810387, pp. 240–243. DOI: 10.1109/RPW.2019.8810387.
136. *Poklad Y., Gavrilov B., Ermak V. et al.* (2019). **Variation of parameters of the D-layer of the ionosphere during powerfull solar X-ray flashes** // Proceedings of SPIE 11208, 25-th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 112089J. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2540948.
137. *Popova O.P., Rybnov Y.S., Solovyov A.V.* **Energy estimate of the Chelyabinsk meteoroid based on long-period oscillations of atmospheric pressure** // Proceeding of SPIE. 24-th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Gennadii G. Matvienko and Oleg A. Romanovskii (Eds) V. 10833. 2019. P. 1787–1796.
138. *Popova Olga, Borovička Jiří, Campbell-Brown Margaret D.* (2019). **Modelling the Entry of Meteoroids.** In: Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond, Ryabova G.O., Asher D.J., and Campbell-Brown M.D. (eds.) . Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 p. DOI:10.1017/9781108606462.
139. *Riabova S.* **Application of the wavelet transform modulus maxima method to analyze the multifractal behavior of geomagnetic variations** // Proceeding of the 19-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM. 2019. Vol. 19. P. 769–776.
140. *Riabova S.* **Induced seismic background disturbance due to geomagnetic pulses** // 81st EAGE Conference and Exhibition 2019. http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=98393. P. 1–5
141. *Riabova S., Spivak A.* (2019). **Features of atmospheric tide according to the Geophysical observatory Mikhnevo** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 231. No. 1. 012044.
142. *Riabova S., Spivak A.A.* (2019). **Geomagnetic anomalies associated with earthquakes** // Proceeding of the 19-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM. 2019. Vol. 19. P. 821-828.
143. *Riabova S., Spivak A.A.* (2019). **Study of the splitting of the football mode 0S2 in geomagnetic variations** // 81st EAGE Conference and Exhibition 2019. http://www.earthdoc.org/ publication/publicationdetails/?publication=97977.
144. *Romanov Pavel, Samarkin Vadim, Nikitin Alexander.* (2019). **Focusing laser beam through pinhole using bimorph deformable mirror** // IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL) conference proceedings.
145. Ryakhovskiy I.A., Gavrilov B.G., Lyakhov A.N. et al. (2019). **Determination of absolute values of TEC according to data of GNSS receivers located in one measuring point** // Proceedings of SPIE. 2019. 11208–294. https://doi.org/10.1117/12.2540423.
146. *Rybnov Y.S., Spivak A.A., Romanovsky Y.O. et al.* (2019). **Complex predictive signification of hazardous atmospheric phenomena in variations of acoustic, electric and magnetic fields** // Proc. SPIE 11208. 25th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 112088F (18 December 2019); https://doi.org/10.1117/12.2541407.
147. *Sheldakova J., Galaktionov I., Nikitin A.* (2019). **Stacked-actuators deformable mirror vs bimorph mirror for laser beam shaping** // Proc. SPIE 10904, pp. 109041K, 2019. DOI: 10.1117/12.2509521.
148. *Soloviev A.V., Balykina M., Meinert E.* (2019). **Estimation of the influence of the level of tone acoustic noise on the times of simple human reactions** // Proc. SPIE 11208 0H (Part One), 25-th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 10833Z (30 June–5 July 2019, Novosibirsk, Russia).
149. *Solovyov A.V., Dulembaev, M. V., Rybnov Y.S. et al.* (2019). **The influences of urban planning and green spaces on the level of traffic noise** // Proceeding of SPIE. 24-th International Symposium

on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Gennadii G. Matvienko and Oleg A. Romanovskii (eds). V. 10833. P. 1765–1768.
150. *Solovyov A.V., Smirnov, S. S., Rybnov Y.S. et al.* (2019). **Evaluation of the influence of sound and infrasound noise on simple human responses** // Proceeding of SPIE. 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics Gennadii G. Matvienko and Oleg A. Romanovskii (eds.). V. 10833.P.1760–1764. 2019.
151. *Svetsov Vladimir, Shuvalov Valery, Collins Gareth, Popova Olga.* (2019). **Impact Hazard of Large Meteoroids and Small Asteroids.** In: Meteoroids: Sources of Meteors on Earth and Beyond, Ryabova G.O., Asher D.J., and Campbell-Brown M.D. (eds.), Cambridge, UK: Cambridge University Press, 336 p., ISBN 9781108426718, 275–298. DOI:10.1017/9781108606462.
152. *Toporovskiy V., Kudryashov A., Samarkin V. et al.* (2019). **Bimorph deformable mirror with a high density of electrodes to correct for atmospheric distortions** // Appl. Opt. 58(22), pp. 6019–6026, 2019. https://doi.org/10.1364/AO.58.006019.
153. *Toporovsky V., Kudryashov A.V., Sheldakova J. et al.* (2019). **New generation of the miniature bimorph mirrors for compensation of the wavefront distortions** // Proc. SPIE 10931, pp. 109310O, 2019. DOI: 10.1117/12.2510104.
154. *Toporovsky V., Kudryashov A., Samarkin V.* (2019). **Wide aperture high resolution stacked-actuator deformable mirror for high power laser beam correction** // Proc. SPIE 10898, pp. 1089809, 2019. DOI: 10.1117/12.2510144.
155. *Toporovskiy V., Kudryashov A., Samarkin V. et al.* (2019). **Water-cooled stacked-actuator deformable mirror for atmospheric applications** // Proc. SPIE 11135, pp. 111350A, 2019,
doi.org/10.1364/COSI.2019.JW2A.39.
156. T*oporovskiy V., Kudryashov A., Samarkin V. et al.* (2019). **Bimorph deformable mirrors for high-order aberrations simulations** // Proc. SPIE 11107, pp. 111070E, 2019. DOI: 10.1117/12.2533772
157. *Адушкин В.В., Аксенов С.И., Вениаминов А.П., Козлов С.И.* **О популяции мелкого космического мусора, ее влияния на безопасность космической деятельности** // Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы: материалы конференции (17–19 апреля 2019 г., Москва). М. : ИКИ РАН. 2019, с. 74–81.
158. *Адушкин В.В., Аксенов О.Ю., Вениаминов С.С. и др.* **Об оценке опасности мелкого космического мусора для космической деятельности и экологии Земли** // Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы: тр. Всерос. научн. конф. с междунар. участием. (17–19 апреля 2019, г. Москва). ИКИ РАН. 2019. С. 20–32.
159. *Беккер С.З., Ляхов А.Н.* **Анализ функций плотности вероятности ионосферных параметров, полученных по вероятностно-статистическим моделям нижней ионосферы** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Труды XXV Международного симпозиума. Новосибирск. 2019. С. 24–27.
160. *Беккер С.З.* **Оценка и анализ вероятностных полей параметров нижней ионосферы для расчета концентрации электронов**. В сб. Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике. Иркутск. 2019. С. 309–311.
161. *Беляков Г.В., Таирова А.А., Филиппов А.Н.* **Измерение газодинамических параметров в щели при испарении ее стенок**. Труды российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. М. : РГУ нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина. – 2019, № 1, с. 109–119. DOI: 10.33285/2073-9028-2019-1(294)-109-119.
162. *Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Поклад Ю.В. et al.* **Исследования атмосферы и ионосферы с использованием радиофизического измерительного комплекса геофизической обсерватории «Михнево»** // Распространение радиоволн: Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции. Том I. Казань. 2019. С. 150–154.
163. З*енченко Е.В., Зенченко П.Е., Тримонова М.А, Турунтаев С.Б.* **Экспериментальное изучение формирования лага при ГРП** // Нефтегаз.ру. № 7. 2019. С. 90–92.
164. *Кочарян Г.Г.* **Сейсмогенные и асейсмичные движения по разломам земной коры.** В сб. Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы шестой молодежной тектонофизической школы-семинара. 2019. С. 13–24.
165. *Куприянов А.И., Перунов Ю.М., Дмитриев В.Г.* **Проблемные вопросы активной маскировки испытаний** // Проблемные вопросы летных

испытаний и исследований авиационной техники: Сборник трудов Всероссийской межведомственной научно-технической конференции. 2019, с. 235–240.
166. *Морозова К.Г., Остапчук А.А.* **Определение внутренней структуры модельного разлома по данным акустической эмиссии** // Современная тектонофизика. Методы и результаты: Материалы шестой молодежной тектонофизической школы-семинара (7–12 октября 2019 г.). ИФЗ РАН. С. 163–165.
167. *Перунов Ю.М., Куприянов А.И., Дмитриев В.Г.* **Функциональное поражение РЭС – технические достижения и потенциальные возможности** // Телекоммуникация и кибербезопасность: специальные системы и технологии: Сборник трудов Межведомственной научно-практической конференции. 2019. с. 238–245.
168. *Перунов Ю.М., Куприянов А.И., Дмитриев В.Г.* **Спецтема** // Телекоммуникация и кибербезопасность: специальные системы и технологии: Сборник грифованных трудов Межведомственной научно-практической конференции. 2019, т. 1, с. 349–354.
169. *Перунов Ю.М., Куприянов А.И., Дмитриев В.Г. Шабатура Ю.М.* **Проблемные вопросы контроля работоспособности радиоэлектронных систем летательных аппаратов в условиях функционального воздействия** // Проблемные вопросы летных испытаний и исследований авиационной техники: Сборник трудов Всероссийской межведомственной научно-технической конференции. 2019. с. 17–36.
170. *Поклад Ю.В., Гаврилов Б.Г., Ермак В.М. et al.* **Восстановление параметров D-слоя ионосферы по данным амплитудно-фазовых измерений на двухчастотной СДВ трассе** // Распространение радиоволн: Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции. Том I. Казань, 2019, с. 502–505.
171. **Ряховский И.А., Гаврилов Б.Г., Ляхов А.Н. et al. Восстановление абсолютного значения ПЭС по данным приемников ГНСС, расположенных в ГФО «Михнево» //** Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXV Международного симпозиума. Новосибирск. 2019. С. 96–99.
172. *Рыбнов Ю.С., Спивак А.А., Соловьев С.П. et al*. **Комплексный прогностический признак опасных атмосферных явлений в вариациях акустических и электрических полей** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXV международного симпозиума (1–5 июля 2019 г., Новосибирск). Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2019. С. D-23–D-26. ISBN978-5-94458-176-1.
173. *Рыбнов Ю.С., Спивак А.А., Соловьев С.П., Харламов В.А.* **Локальные источники инфразвукового шума в мегаполисе** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXV международного симпозиума (1–5 июля 2019 г., Новосибирск). Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2019. С. D-27–D-30. ISBN978-5-94458-176-1.
174. *Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П. et al.* **Геофизические эффекты зимней грозы 18.01.2019 в Московском регионе** // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXV международного симпозиума симпозиума (1–5 июля 2019 г., Новосибирск). Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2019. C.D-69–D-72. ISBN978-5-94458-176-1.
175. *Таирова А.А., Беляков Г.В.* **Измерение потока массы в щели при испарении ее стенок** // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов в 4 томах. Т. 4: Материалы симпозиумов.— Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. - 525 с. DOI: 10.22226/2410-3535-2019-congress-v4.
176. *Тримонова М.А., Фасхеев И.О.* **Неупругое поведении породы при гидроразрыве пласта.** В сборнике Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах. Москва. 2019. С. 137–138.

# СОДЕРЖАНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ**.....3-4

Важнейшие результаты научных исследований
ИДГ РАН в 2019 году.....5-7

Практическое применение разработок
по результатам НИР.....9–10

Результаты, полученные Институтом в 2019 году,
по темам Государственного задания, программам РАН..... 11–26

Геофизическая обсерватория ИДГ РАН
«Михнево».....27–28

Гранты РНФ, РФФИ, Президента РФ, Договоры.....28–40

Интеграция науки и образования.....40–41

Патентно-лицензионная деятельность..... 42

Совет молодых ученых.....43

Публикационная деятельность.....44-53

Отчет о научной и научно-организационной деятельности ИДГ РАН за 2019 г.
Утвержден к печати Ученым советом
от 23.01.2020 г. № 1

© ИДГ РАН, 2020
Отпечатано в типографии ООО «Графитекс»
127018, Москва, ул. Складочная, д. 6, стр. 7