### Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИНСТИТУТ ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР имени академика М. А. Садовского Российской академии наук



**ИДГ РАН: 1946 – 1991 – 2021.** М.: ООО «МАКИН-ПРИНТ». 2021. – 48 С.: ИЛ.

Научно-информационное издание подготовлено к 30-летию ИДГ РАН и 75-летию Спецсектора Института Химической физики АН СССР (с 1963 г. — Спецсектор ИФЗ АН СССР) — коллектива, от которого берет начало Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук.

Буклет знакомит с историей Института, его структурой, основными направлениями научных исследований, кратко информирует о наиболее интересных и значимых результатах, полученных за время деятельности Института.

Ответственный редактор: д.ф.-м.н. *Г. Г. КОЧАРЯН* 

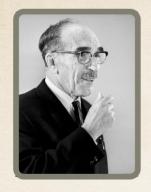
Компьютерная подготовка оригинал-макета: В.В.ЕЖАКОВА Дизайн обложки: К.Г. МОРОЗОВА

В 2021 году исполняется 30 лет ИДГ РАН и 75 лет Спецсектору Института химической физики АН СССР (с 1963 г. — Спецсектор ИФЗ АН СССР) — коллектива, от которого берет начало Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук

аботы при решении задач Атомного проекта, а также последующая деятельность Спецсектора в области исследований взаимодействия потоков высоких энергий с веществом и окружающей средой, заложили научно-методическую базу нового направления в геофизике — ГЕОФИЗИКА СИЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, исследующей экстремальные процессы природных и техногенных воздействий на твердую Землю и верхние геосферы, которое стало главным направлением деятельности Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук, образованного на базе Спецсектора.

Спецсектор Института химической физики (ИХФ) АН СССР был образован на основании Постановления Совета Министров СССР от 30 апреля 1946 г. № 973-40 «Об организации при ИХФ АН СССР Спецсектора по изучению теории ядерных цепных реакций и взрывов, а также разработке методов и специальной аппаратуры для регистрации физических процессов, сопровождающих атомный взрыв». Руководство Спецсектором было возложено на заместителя директора ИХФ М. А. САДОВСКОГО.





Академик НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ CEMEHOB (1896-1986 гг.) —выдающийся ученый химико-физик с мировым именем

Лауреат Нобелевской премии по химии (1956 г.). Дважды Герой Социалистического труда, лауреат Сталинских (дважды) и Ленинской премий СССР (1976 г.). Избран в состав 14 иностранных академий наук, почетный член 9 иностранных университетов. Основатель и бессменный директор Института химической физики АН СССР (1931-1986 гг.). Титаническая работа Н. Н. СЕМЕНОВА, его коллег, сотрудников академических и многих производственных организаций привела к потере США монопольного обладания ядерной бомбой.



Академик МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ САДОВСКИЙ (1904-1994 гг.)— выдающийся ученый в области геофизики и физики взрыва

Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии (1962 г.), четырежды лауреат Сталинской премии. Внес неоценимый вклад в исследование механического и сейсмического действия взрывов, разработку методов прогнозирования землетрясений, создание новой модели геофизической среды. В 1946 г. — заместитель директора ИХФ, с 1947 г. — научный руководитель Семипалатинского испытательного полигона. С 1960 по 1989 гг. — директор Института физики Земли АН СССР. В 1991 г. по инициативе М. А. САДОВСКОГО на базе Спецсектора ИФЗ организован Институт динамики геосфер.

### В рамках Спецсектора были сформированы следующие подразделения:

### отдел ПРИБОРОСТРОЕНИЯ — руководитель Г. Л. ШНИРМАН



Профессор (1907-1993 гг.) выдающийся физикэкспериментатор и приборист, родоначальник многих направлений отечественного приборостроения

Георгий Львович ШНИРМАН

отдел ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ руководитель О. И. ЛЕЙПУНСКИЙ



Профессор Овсей Ильич ЛЕЙПУНСКИЙ (1909-1990 гг.) известный физик, создатель способа синтеза искусственных алмазов

Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки, четырежды лауреат Сталинской

Под руководством Г. Л. ШНИРМАНА разработаны и созданы многие образцы важнейшей аппаратуры, использованной при ядерных испытаниях.

Доктор физ.-мат. наук, Заслуженный деятель науки РСФСР. Лауреат двух Сталинских премий.

Стоял во главе разработки методов контроля ионизирующей радиации, один из создателей научно-методической базы радиометрии и дозиметрии проникающих излучений, разработчик современных видов твердого топлива для ракет.

### отдел ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ — руководитель С. А. ХРИСТИАНОВИЧ



Академик Сергей Алексеевич **ХРИСТИАНОВИЧ** (1908-2000 ez.) выдающийся учёный в области механики

отдел ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ — руководитель А. С. КОМПАНЕЕЦ



Профессор Александр Соломонович КОМПАНЕЕЦ (1914-1974 гг.) — известный физик-теоретик

Один из авторов асимптотической теории коротких волн, использованной при расчёте параметров ядерного взрыва, изучена общая картина подъёма облака взрыва. Им описана общая картина подъема облака взрыва. Принимал непосредственное участие в испытаниях ядерного оружия в атмосфере и под водой. Возглавлял разработку теории подводного ядерного взрыва. Герой Социалистического Труда, трижды лауреат Сталинской премии.

Сыграл выдающуюся роль в решении многих проблем Атомного проекта. Внёс фундаментальный вклад в решение таких задач, как установление равновесия между веществом и излучением, нелинейная автомодельная тепловая волна от мгновенного точечного источника, лучистый перенос энергии, радиоизлучение сильного взрыва, сильный взрыв в неоднородной атмосфере с её прорывом, ударные волны в пластичных средах и другие проблемы сильного взрыва.

### отдел МЕХАНИКИ ПОДВОДНОГО ВЗРЫВА — руководитель И. Л. ЗЕЛЬМАНОВ

Профессор Иосиф Львович ЗЕЛЬМАНОВ (1907—1979 гг.)— крупный физик-экспериментатор



omдел ТЕПЛОВОГО И СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЙ — руководитель А. А. КОВАЛЬСКИЙ

Член-корреспондент АН СССР Александр Алексевич КОВАЛЬСКИЙ (1906—1978 гг.) — известный физик и физико-химик



Руководил разработкой и внедрением ряда важнейших измерительных методик, использованных при проведении испытаний. Являлся научным руководителем первых подводных испытаний на Новоземельском полигоне.

ЭЛЕКТРОВАКУУМНАЯ лаборатория — руководитель Б. М. СТЕПАНОВ



Профессор
Борис Михайлович СТЕПАНОВ
(1910-1990 гг.) — крупный
специалист в области
разработки методов
регистрации и исследования
быстропротекающих
процессов

Герой Социалистического Труда, Лауреат двух Сталинских и Ленинской премий, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Один из создателей методов и аппаратуры для регистрации ядерных взрывов в атмосфере и широкого спектра

тическая аппаратура.

Лаборатория ЭЛЕКТРОННОЙ АВТОМАТИКИ И

В рамках Атомного проекта под его руководством

решались задачи, связанные с измерением

параметров светового и теплового излучений при

взрывах, разрабатывалась специальная диагнос-

ЭЛЕКТРОАППАРАТУРЫ
— руководитель П. В. КЕВЛИШВИЛИ



4

Павел Васильевич КЕВЛИШВИЛИ (1915—1998 гг.) выдающийся исследователь и разработчик научной аппаратуры

Лауреат Сталинской и Ленинской премий. Один из создателей системы автоматики опытного поля, уникальной аппаратуры для регистрации быстро протекающих процессов. Руководил разработкой и созданием системы автоматического управления аппаратурой при подводных взрывах, являлся одним из руководителей работ при проведении высотных ядерных взрывов и исследований явлений взаимодействия мощных потоков электромагнитного излучения с преградами.

Руководитель Спецсектора ИФЗ с 1963 по 1989 гг.

приборов для штатных измерений при проведе-

нии полигонных испытаний ядерного оружия.

Одной из основных задач, возложенных на Спецсектор, было исследование физических процессов, возникающих при ядерных взрывах. Решение этой проблемы потребовало не только мобилизации наиболее квалифицированных сотрудников в широком диапазоне специальностей, но и создания новых уникальных датчиков и аппаратуры

В Спецсекторе было разработано и спроектировано 80% всей аппаратуры, использованной на первом испытании советской атомной бомбы, включая регистрирующую аппаратуру для контроля физических процессов, а также систему автоматического включения всей измерительной аппаратуры и систему подрыва атомного заряда. В подготовке и проведении взрыва первой атомной бомбы, который



Пульт управления, использованный при первом взрыве

был произведен 29 августа 1949 г., участвовали около 100 сотрудников ИХФ. Подготовку и проведение оптических измерений осуществляли Г. Л. Шнирман, П. В. Кевлишвили, А. С. Дубовик (выдающийся изобретатель, специалист в области прикладной оптики и аппаратуры для высокоскоростной фотографии и кинематографии, применяемой для исследования быстро протекающих процессов. Работал в Спецсекторе с 1946 по 1970 гг.). Измерения гамма-излучения проводились под руководством О. И. Лейпунского. По показателям измерения радиоактивности оценивался КПД сгорания плутония в заряде. Параметры воздушной ударной волны измерялись под непосредственным контролем М. А. Садовского.



Взрыв первого термоядерного заряда 12 августа 1953 г. После участия в научно-техническом обеспечении проведения первого испытания атомной бомбы (1949 г.) в ИХФ развернулась работа по подготовке к испытаниям первого термоядерного заряда. Испытательный взрыв первого термоядерного заряда был проведен 12 августа 1953 г. на Семипалатинском полигоне.

с ледующей важнейшей вехой участия большой группы сотрудников Спецсектора явилось участие в испытаниях водородной бомбы 22 ноября 1955 г.

Опыт, полученный после проведения первого и последующих испытаний, позволил ИХФ в содружестве с организациями Министерства среднего машиностроения СССР и Министерства обороны СССР сформулировать и предложить новую, широчайшую программу комплексных исследований «..по изучению физических явлений при взрыве и по предсказанию результатов взрыва в различных условиях» (постановление Совета Министров СССР от 10 августа 1954 г.). В том числе, теоретические и экспериментальные исследования физики ударных волн, создание соответствующей аппаратуры, определение оптимальных условий взрыва в воздухе, уточнение методики определения тротилового эквивалента по ударной волне, создание теории распространения ударных волн в воде и грунте, разработка методов наблюдения при подводных взрывах и создание соответствующей аппаратуры, разработка полевых методов регистрации потоков быстрых нейтронов, исследование распространения гамма-излучений и нейтронов в различных средах, исследование развития, подъема и распространения облака продуктов взрыва, механизма образования и высаживания радиоактивных осадков и т. д.

Начиная с середины 50-х годов в испытаниях активное участие принимали В. Н. Родионов, В. В. Адушкин, К. Е. Губкин, В. В. Гарнов и другие сотрудники.



Профессор
Владимир Николаевич
РОДИОНОВ (1926—2008 гг.)
— один из крупнейших
специалистов в области
физики взрыва и
геомеханики

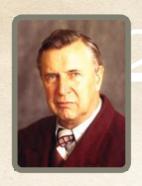
Основатель научного направления и руководитель научной школы ИДГ РАН «Геомеханика». Оригинальные работы по исследованию распространения ударных волн и механического действия взрыва принесли ему заслуженный авторитет среди коллег. В 1958 г. В. Н. Родионов становится заведующим лабораторией «Механического действия взрыва». Участник многих испытаний ядерного оружия, член советских делегаций на переговорах по ограничению и запрещению испытаний, энтузиаст мирного использования ядерных взрывов. В 1963 г. В.Н. Родионов основал кафедру «Физика взрыва» в МФТИ (в настоящее время «Теоретическая и экспериментальная физика геосистем»), которой бессменно заведовал в течение почти 30 лет.

Многие выпускники кафедры стали ведущими специалистами ИДГ РАН и многих других организаций Академии наук, Министерства обороны России, ГК Росатом.



Кандидат техн. наук Владимир Владимир Владимирович ГАРНОВ (р. 1925 г.) — автор оригинальных методик измерений деформаций массива горных пород

В Спецсекторе разрабатывал высокоскоростную фотографическую аппаратуру для исследования ядерных взрывов и других быстро протекающих процессов. Участник многих испытаний ядерного оружия во всех средах.



Академик РАН
Виталий Васильевич
АДУШКИН (р. 1932 г.) —
крупный специалист в
области физики взрыва и
геофизики. Один из
организаторов и первый
директор (1991-2004 гг.)
Института динамики
геосфер РАН

Сотрудник ИХФ, начиная с 1956 г. Почетный профессор МФТИ. Автор многих научных работ по исследованию параметров воздушной ударной волны взрыва, горения и детонации газовых смесей, моделированию экскавационного действия крупномасштабных взрывов, изучению динамических процессов в различных геосферах и закономерностей их взаимодействия.

Участник 95 испытаний ядерного оружия. Лауреат Премии Совета Министров СССР и Премий Правительства РФ.



Кандидат физ.-мат. наук Константин Емельянович ГУБКИН (1928–2009 гг.) физик-теоретик и экспериментатор, один из наиболее талантливых ученых Спецсектора

Выпускник первого выпуска МФТИ. Первый заведующий лабораторией Ударных волн Спецсектора ИХФ. Участник испытаний ядерного оружия, участник переговоров в Женеве по запрещению испытаний ядерного оружия (1958 г.). В течение многих лет читал курс лекций по физике ударных волн в МФТИ.

В начале 1950-х годов Спецсектор был привлечен к организации и проведению испытаний действия ядерного оружия под водой. В задачи ИХФ входил следующий круг вопросов: разработка теории ядерного взрыва в воде; исследование развития подводных явлений, определение энергии подводного ядерного взрыва и его тротилового эквивалента, проведение измерений параметров ударной волны в воде и воздухе, сейсмических колебаний грунта, характеристик выхода продуктов взрыва в атмосферу и радиационных процессов в воде; определение поражающего действия подводного ядерного взрыва на объекты Военно-Морского Флота.

Научным руководителем готовящихся подводных испытаний стал профессор И. Л. Зельманов Активное участие в этих работах принимали В. Н. Костюченко, Б. Д. Христофоров, Е. И. Шемякин и другие сотрудники.

Работы по подготовке и проведению подводных взрывов позволили отработать образцы атомного вооружения для ВМФ.



Профессор
Владимир Николаевич
КОСТЮЧЕНКО (1931-2012 гг.)
— один из ведущих
специалистов в области
сейсмики взрыва и действия
сейсмических волн на здания
и сооружения

Профессор Борис Дмитриевич ХРИСТОФОРОВ (1931-2020 гг.) — заслуженный изобретатель РСФСР

Им разработана модель сейсмического источника при мощных наземных и подземных взрывах. Организатор Выборгской экспедиции ИДГ РАН. Участник испытаний ядерного оружия в воздухе, под водой и под землей.



Академик РАН
Евгений Иванович
ШЕМЯКИН
(1929-2009 гг.) — лауреат
Государственной премии
СССР

С 1955 г. - научный сотрудник ИХФ. В дальнейшем директор Института горного дела СО АН СССР, заместитель председателя СО АН СССР, Председатель ВАК СССР, заведующий кафедрой волновой и газовой динамики МГУ, главный научный сотрудник ИДГРАН.



Участник атомных испытаний в воде и воздухе,

известен своими работами по взаимодействию

мощного излучения с веществом, а также в

Первый подводный ядерный взрыв 21 сентября 1955 г.

овым важным этапом участия Спецсектора в испытаниях ядерного оружия является программа по изучению физических явлений и поражающих факторов ядерных взрывов в верхних слоях атмосферы и космическом пространстве (1957—1962 гг.).

В Институте была разработана соответствующая программа, которая включала: исследование физических процессов, развивающихся при ядерных взрывах в верхней атмосфере и космосе; оценку поражающих факторов в широком диапазоне высот от 10 до 300 км; регистрацию параметров ВУВ, потоков гамма- излучения и нейтронов, светового потока; исследования ионизации атмосферы; определение параметров воздействия на поверхности Земли; воздействие на самолеты и ракеты; влияние высотных ядерных взрывов на средства радиолокации ПВО и всех систем связи, а также определение безопасной высоты перехвата в нескольких характерных диапазонах.

Разработку и изготовление соответствующих датчиков и регистрирующей аппаратуры возглавил П. В. Кевлишвили.

Теоретические исследования по всему комплексу явлений велись под руководством А. С. Компанейца, И.В. Немчинова, Ю.П. Райзера.



Профессор
Иван Васильевич НЕМЧИНОВ
(1933-2010 гг.) — крупный
ученый в области исследования газодинамических
процессов, взаимодействия
излучения с веществом,
численных методов решения
радиационногазодинамических задач

Под руководством И.В. Немчинова исследован характер распространения ударных волн при наличии тонкой протяженной области с пониженной плотностью газа (эффект теплого слоя). Им впервые введены представления о радиационных режимах обтекания естественных и искусственных метеорных тел, определена структура и найдены спектры излучения ударных и тепловых волн, распространяющихся в воздухе и инертных газах, найдены пути устранения эффекта экранировки волн с целью создания новых типов мощных источников излучения.

И.В. Немчинов внес большой вклад в разработку физических основ проблемы астероидной опасности, его работы в этой области признаны во всем мире. Им создана целая школа в механике жидкости, газа и плазмы, для которой характерно сочетание аналитических и численных методов, тесная связь теории с экспериментом, направленность на решение крупных практических проблем.

результате проведения исследований 1946-1962 гг. в числе прочих получены следующие фундаментальные результаты:

- → Установлена эффективность наиболее сильнодействующих факторов ядерного взрыва: воздушной ударной волны (ВУВ), радиационных потоков гамма-излучения и нейтронов, светового и теплового излучения. На основе этих результатов разрабатываются меры и способы защиты от воздействия ядерного оружия, оцениваются мгновенные и долговременные последствия ядерных взрывов.
- ◆ Развита теория ядерного взрыва в атмосфере с учетом реальных уравнений состояния и установлены фундаментальные зависимости основных параметров ВУВ от энергии взрыва и расстояния (формулы М.А. Садовского).
- ◆ Определен тротиловый эквивалент ядерного взрыва в атмосфере и подводного ЯВ.
- ◆ Разработана новая теория подъема огненного шара и газопылевого термика, которая используется в настоящее время для оценки энергии вулканических извержений, при крупных пожарах, ударах космических тел и других катастрофических явлениях.
- ◆ Разработана новая теория нерегулярного отражения слабых ударных волн в атмосфере с учетом нелинейных эффектов.
- ◆ Обнаружен так называемый эффект «теплого слоя», заключающийся в разрушении фронта

- ударной волны, снижении в 2-3 раза ее амплитуды и перестройке всего газодинамического течения за фронтом.
- + Созданы новые поколения геофизических приборов: высокоскоростных регистрирующих оптических систем, детекторов для регистрации радиоактивного, рентгеновского, светового и теплового излучений, датчиков для регистрации ударных волн, сейсмометров, отличающихся высокой чувствительностью и широким частотным диапазоном.
- → Установлена эффективность поражающего действия подводных ядерных взрывов, получены зависимости параметров ударной волны в воде от энергии взрывов и расстояния.
- ◆ Разработана теория подводного взрыва и новая теория коротких волн.
- → Установлены закономерности развития газового пузыря подводного взрыва и султана выброса.
- ◆ Обнаружено влияние волноводов в морской воде на распространение ударных волн.
- → При высотных и космических ядерных взрывах зарегистрирован ряд новых геофизических эффектов: -образование вокруг Земли устойчивого радиационного пояса из-за захвата геомагнитным полем заряженных частиц; крупномасштабные свечения атмосферы и сильнейшие полярные сияния, возбужденные потоками электронов и их высыпаниями вдоль магнитных силовых линий; -глобальные магнито-гидродинамические колебания в окружающем пространстве в результате расширения плазмы ядерного взрыва в геомагнитном поле; -зарегистрировано излучение высокоамплитудного электромагнитного импульса и акустико-гравитационных волн глобального характера; -длительные нарушения радиосвязи из-за изменений структуры и электропроводности ионосферы.
- + Создан банк экспериментальных данных, используемых при проведении научных исследований вплоть до настоящего времени.

1956—1957 гг. в связи с предстоящими переговорами о прекращении ядерных испытаний и возможности их контроля активизируется работа по развитию сейсмического и инфразвукового методов контроля. Сейсмический метод развивает лаборатория И. П. Пасечника (ИФЗ АН СССР, затем Спецсектор ИФЗ АН СССР) на базе специально построенных сейсмических станций. Станция «Михнево» (Станция № 1) в Московской области, введена в эксплуатацию в 1954 г. В настоящее время на базе станции организована Уникальная научная установка «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево» (СКГН «Михнево»).



Профессор
Иван Петрович ПАСЕЧНИК
(1910–1988 гг.) —
известный сейсмолог,
лауреат Ленинской премии
за труд «Физические основы
дальнего обнаружения
ядерных взрывов»

И. П. Пасечник внес крупный вклад в становление Службы специального контроля за проведением ядерных взрывов Министерства обороны.



Коллаж: первые шаги станции «Михнево» (станция № 1)

разные годы сотрудники Спецсектора М. А. Садовский, И. П. Пасечник, О. К. Кедров, В. Н. Родионов, В. Н. Костюченко, И. П. Башилов, В. В. Адушкин, А. А. Спивак участвовали в работе международных комиссий по ограничению стратегических вооружений и сопровождению международных договоров о нераспространении ядерных вооружений, вплоть до подписания Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). В настоящее время сотрудник ИДГ РАН И. О. Китов является экспертом Организации по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, г. Вена, Австрия (СТВТО, Vienna International Centre).



Делегация СССР на заседании в Женеве 25 ноября 1959 года.

В первом ряду (слева направо):И.П.Пасечник, М.А.Садовский, Е.К.Федоров, В.В.Шустов. На заднем плане сидят (слева направо) К.Е.Губкин и А.И.Устюменко, стоят (слева направо) Ю.В.Ризниченко и В.И.Кейлис-Борок

В начале 60-х годов в жизни Спецсектора начался новый этап. В 1960 г. М. А. Садовский был избран директором Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР, а в начале 1963 г. был оформлен официальный перевод коллектива в количестве 500 сотрудников в ИФЗ АН СССР

ще в конце 50-х годов для подготовки к проведению подземных испытаний М. А. Садовский организует проведение крупных подземных взрывов обычных ВВ. Знаковыми явились взрыв 1000 т ВВ (1957 г. Кабулсай, Казахстан), взрывы тротиловых зарядов в штольне горного массива Тюя-Муюн (Киргизия) (1959-1960 гг.), взрыв 600 т ВВ в штольне В-2 (Семипалатинский полигон). Непосредственное руководство экспериментами было возложено на В. Н. Родионова, который в ходе этих работ окончательно сформировался как один из научных лидеров Спецсектора. Активное участие принимали также А. Н. Ромашов, Е. И. Шемякин и многие другие. По результатам проведенных экспериментов была установлена допустимая глубина заложения ядерных зарядов, исключающая прямой выход радиоактивных продуктов в атмосферу, разработана соответствующая конструкция забивочного комплекса в штольне, впервые была получена величина коэффициента декаплинга — коэффициента, определяющего степень ослабления сейсмического сигнала.

Первый подземный ядерный взрыв мощностью 1,2 кт был проведен 11 октября 1961 г. в штольне В-1 горного

массива Дегелен на Семипалатинском полигоне. Сотрудники Спецсектора (В. Н. Родионов, В. В. Адушкин, А. Н. Ромашов, В. Н. Костюченко и многие др.) внесли большой вклад в подготовку взрыва и в проведение наблюдений внешних эффектов, измерений параметров волны сжатия в массиве и исследование сейсмического действия взрыва.



Доктор техн. наук
Александр Николаевич
РОМАШОВ (1930-2008 гг.) —
один из ведущих
специалистов в области
механического и
сейсмического действия
взрыва

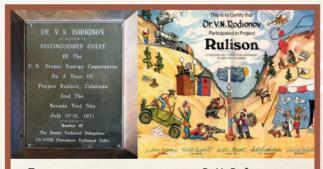
А. Н. Ромашов внес значительный вклад в исследование механики взрывов на выброс. Им создана оригинальная модель развития Земли, в рамках которой находят объяснение многие феномены — от формирования континентов до природы магнитного поля.

В период с 1963 г. до прекращения работы ядерных полигонов в 1991 г. Спецсектор ИФЗ активно участвовал в работах по обеспечению инструментальных наблюдений за подземными ядерными взрывами на Семипалатинском и Новоземельском полигонах. С 1966 по 1971 гг. на Семипалатинском полигоне действовала постоянная экспедиция Спецсектора под руководством М. М. Павлова, в составе которой работали С. В. Кондратьев, И. А. Сизов и др. В результате исследований был накоплен большой экспериментальный материал о динамике нагружения массива горных пород подземным взрывом. Важным этапом обобщения накопленных данных явилось издание монографии «Механический эффект подземного взрыва», в которой были изложены основы, разработанной под руководством В. Н. Родионова, модели развития подземного взрыва в горной породе.



Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н., Николаевский В.Н., Ромашов А.Н., Цветков В.М. Механический эффект подземного взрыва / Под ред. акад. М.А. Садовского М.: Недра. 1971. — 224 с.

В книге впервые дано систематическое изложение всех основных характеристик механического эффекта подземного взрыва. Предложена простая расчетная схема механического движения, которая позволяет прогнозировать размеры взрывной полости, зон разрушения и трещиноватость скальных пород, воронок при взрыве на выброс, а также интенсивность сейсмических волн.



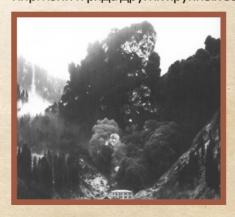
Памятные знаки о посещении В. Н. Родионовым участка проведения подземного взрыва Rulison, направленного на стимуляцию добычи газа

Начиная с середины 60-х годов Сотрудники Спецсектора принимают участие в изучении действия ряда экспериментальных взрывов ядерных зарядов для сейсмического зондирования, образования водохранилищ, дробления рудных тел, интенсификации нефтедобычи, создания подземных полостей. Результаты экспериментов докладывались и обсуждались на международных конференциях по мирному использованию ядерных взрывов вместе с аналогичными результатами ученых США. Большая работа проводилась по исследованию действия крупных промышленных взры-

вов с использованием обычных ВВ, которые

применялись в народном хозяйстве страны при строительстве плотин, защитных дамб, оросительных каналов, вскрытии месторождений.

По инициативе и под идеологическим руководством М.А. Садовского многие сотрудники Спецсектора участвовали в разработке проектов и проведении инструментальных наблюдений крупномасштабных взрывов при сооружении селезащитной плотины в Медео (1966—1967 гг.), которая через несколько лет защитила г. Алма-Ату от затопления и разрушения при сходе селевого потока, строительстве Байпазинской плотины на р. Вахш (1968 г.), опытной плотины на реках Бурлыкия (1975 г.) и Уч-Терек (1989 г.) в Киргизии и ряда других крупных взрывов.



Взрыв первой очереди на правом берегу р. Малая Алматинка (1966 г.)



Группа сотрудников Спецсектора на месте разрушенного приборного сооружения.

Слева направо: М. М. Павлов, В. В. Адушкин, С. В. Кондратьев, А. И. Гончаров, сотрудники Гидроспецпроекта (Бурлыкия, 1975 г.)

Подземные ядерные взрывы, представляют собой идеальный инструмент для исследования процессов деформирования горного массива. Достаточно крупный масштаб воздействия, широкий диапазон амплитуд, наличие значительного количества инструментальных наблюдений дают возможность проанализировать закономерности деформационных процессов на разном иерархическом уровне в различных условиях нагружения. После основополагающих трудов М. А. Садовского в конце 70-х годов началось интенсивное развитие исследований блокового строения твердой Земли. Концепция блочно-иерархического строения была развита и дополнена В.Н. Родионовым, разработавшим, в частности, новую теорию твердого тела со структурой, которая дала новый импульс проведению натурных исследований действия взрыва в массиве горных пород.

В экспериментальных работах на полигонах основное внимание на этом этапе уделялось исследованию влияния взрыва на механические и фильтрационные свойства разломов и трещин, изучению закономерностей относительного движения блоков разного иерархического уровня, учету влияния свойств нарушений сплошности на законы распространения сейсмовзрывных волн.

Были разработаны новые измерительные методики, позволяющие контролировать динамические и поствзрывные деформации на различных расстояниях от эпицентра подземных ядерных взрывов. До настоящего времени уникальными остаются результаты измерений параметров линейных и угловых движений отдельных блоков, данные инструментальных определений деформационных характеристик разломов и трещин «in situ», исследований поведения тектонических разломов при мощных динамических воздействиях и поствзрывных изменений их свойств.



Члены рабочей Советско— Американской комиссии по мирному использованию подземных ядерных взрывов (1971 г.)
Первый ряд (второй справа) — В. Н. Родионов

Обобщение и анализ разнообразного экспериментального материала на основе концепции блочно-иерархического строения земной коры, позволили разработать адекватные способы описания многих процессов, происходящих при деформировании массивов горных пород на разных иерархических уровнях. Активное участие в этих работах принимали В. В. Адушкин, В. В. Гарнов, Б. А. Иванов, Г. Г. Кочарян, А. А. Спивак и другие сотрудники Спецсектора. На основе этих результатов, уже в 90-е годы была решена проблема определения степени защищенности и долговременной устойчивости подземных инженерных сооружений при крупномасштабных динамических воздействиях.

Участие сотрудников Спецсектора в целом ряде экспериментов на Семипалатинском полигоне в1979—1991 гг. было нацелено именно на исследование влияния блокового строения массива на закономерности динамического деформирования массива и изменение его механических и фильтрационных свойств.



Вывал крупных «ключевых» блоков из кровли

К разряду уникальных по приборному оснащению и полученным научным результатам относятся опыты в которых изучалось механическое действие двух последовательных взрывов 500-тонных зарядов ВВ, расположенных на вершине горы. По результатам работы были определены параметры местного действия взрывов, характеристики сейсмовзрывных волн в ближней и дальней зоне, закономерности линейных и угловых движений блоковых структур, а также влияние свободной поверхности на передачу энергии в массив горных пород. Руководил экспедиционной работой Б. А. Иванов.

изучении наземных взрывов, был успешно исполь зован при изучении ударных кратеров, образованных на поверхности Земли, планет и астероидов при падении крупных космических тел.

В Спецсекторе были выполнены первые в мире оценки возраста кратеров на Венере. Достижения сотрудников Спецсектора/ИДГ в этой области общепризнаны в мире. О чем свидетельство тот факт, что Б. А. Иванов в 1998 г. и Н. А. Артемьева в 2015 г. были награждены престижной медалью Барринджера, присуждаемой за выдающиеся работы в области образования кратеров и/или работы, которые привели к лучшему пониманию ударных явлений.



Медаль Барринджера Международного метеоритного общества

Опыт инструментального изучения действия взрывов был в дальнейшем успешно использована при изучении физических последствий проведения массовых взрывов на карьерах и в подземных

- ★ Созданная модель развития камуфлетного взрыва дала возможность с удовлетворительной точностью описать основные аспекты действия подземного взрыва вычислить объем камуфлетной полости, оценить размер зоны интенсивного дробления, определить закономерности излучения и распространения сейсмических волн, выявить связь между внешними эффектами взрыва и основными свойствами среды.
- ◆ Разработан подход к расчетам параметров фильтрации флюидов в разрушенной среде, установлены характеристики движения радиоактивных продуктов ядерного взрыва и условия их удержания в подземных условиях, что обеспечило в дальнейшем безопасность проведения испытаний и недопущение распространения радиоактивных аэрозолей в атмосфере.
- → Определены основные закономерности возникновения длиннопробежных каменных лавин при подземных взрывах. Результаты исследований позволили значительно повысить безопасность проведения ядерных испытаний в горных условиях и явились хорошей основой для дальнейшего изучения склоновых процессов.
- ◆ Описаны механизмы и установлены основные закономерности относительных движений структурных блоков разного иерархического уровня при взрывном воздействии. Показано, что как амплитуда, так и механизм возникновения дифференциальных движений определяются напряженным состоянием массива и расстоянием от центра взрыва.
- → Разработан новый сейсмический метод определения механических свойств нарушений сплошности

земной коры в условиях естественного залегания. Установленные закономерности динамического деформирования разломных зон имеют фундаментальное значение для механики скальных пород и теории распространения сейсмических волн.

★ Созданы научные основы методологии геомеханического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений, подверженных динамическим воздействиям высокой интенсивности. Развита концепция оптимального размещения крупного подземного объекта на основе рассмотрения механизмов потери устойчивости структурных составляющих горного массива на разном иерархическом уровне. Предложен ряд принципиально новых инженерных решений по обеспечению устойчивости крупных подземных сооружений к мощным динамическим воздействиям.

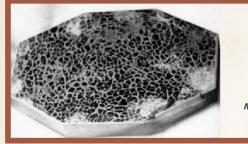


Чествование 80-летия П.В. Кевлишвили (4-й в центре) справа от него В.Н. Родионов. Первый ряд (слева направо): А.А. Калмыков, Ю.И. Зецер, М.Ф. Железников, Е.М. Садовников, Ю.И. Свильпов, Б.Г. Гаврилов, Л.Д. Лившиц. Второй ряд (слева направо): В.Н. Коновалов, В.А. Пуштарик, В.И. Хомяков, Ю.А. Гуськов, И.Б. Монастырский, Г.А. Овсянников, И.С. Свинцов, С.К. Дараган, Ю.Н. Киселев, Е.А. Иванов. За столом: В.А. Рыбаков (фото из архива, 1995 г.)

Появление мощных лазеров, источников микроволнового излучения и потоков заряженных частиц инициировало появление нового научного направления

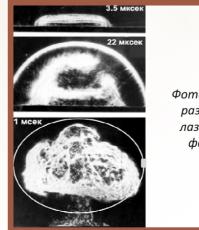
В Спецсекторе работы по исследованию физических процессов, основных механизмов и явлений взаимодействия мощного электромагнитного излучения с веществом проводились под общим руководством П. В. Кевлишвили по трем направлениям:

- взаимодействие лазерного излучения с преградами (отв. исп. И. В. Немчинов);
- взаимодействие микроволнового излучения с преградами (отв. исп. Ю. И. Зецер);
- взаимодействие потока электронов высоких энергий с преградами (отв. исп. А. С. Стрелков).



Разрушение поверхности зеркала с алюминиевым напылением микроволновым излучением

Был обнаружен и описан целый ряд новых физических явлений, разработан комплекс методов для моделирования воздействия излучения с веществом.



Фотография развития лазерного факела

- → Объяснены основные механизмы распространения плазменного фронта вдоль лазерного луча: световая детонация, режим выталкивания, дозвуковая и сверхзвуковая радиационные волны.
- ★ Созданы уникальные таблицы оптических свойств различных веществ.
- ◆ Установлены механизмы генерации магнитного поля при воздействии мощного лазерного излучения на преграду и описаны сопутствующие физические эффекты.
- ◆ Разработаны методы и проведено натурное и лабораторное моделирование воздействия лазерных плазменных факелов на преграду. Определены необходимые параметры лазеров, обеспечивающих оптимальные режимы разрушения.
- ◆ Исследованы механизмы разрушения поверхностных участков мишени при воздействии мощного микроволнового излучения на металлические (точечное эрозионное разрушение) и диэлектрические (внутреннее расположение очага разрушения с выходом на поверхность магистральной трещины) материалы.
- ◆ Исследованы механизмы разрушения мишени при действии пучков электронов на металлы (очаги эрозии) и диэлектрики (система каналов пробоя).

60-70-е годы было проведено экспериментальное и теоретическое моделирование процесса распространения ударных волн и исследование роли излучения при абляции метеорных тел, движущихся в атмосфере Земли с большими скоростями (20-70 км/с), а в конце 80-х годов первое численное моделирование радиационно-газодинамических явлений при высокоскоростном ударе кометы о поверхность Земли.



Расширенное заседание Ученого совета по случаю празднования 60-летия В. Н. Родионова (фото из архива, 1986 г.)

Комсомольская группа
Первый ряд (слева направо)
— Н.И. Зотов, Н.К. Шевченко, Л.М. Перник, А. Волков;
второй ряд —
Б.А. Иванов, А. И. Гончаров,
И.Б. Монастырский,
А.А. Спивак, В. Солнцев,
С.В. Кондратьев
(фото из архива, 1975 г.,)



о второй половине 80-х годов все большее внимание при проведении исследований стало уделяться решению геофизических задач, связанных с широким спектром природных и техногенных воздействий. Накопленный за десятилетия опыт коллектив направил на решение актуальных задач, связанных с возмущением геофизической среды широким спектром природных и техногенных воздействий.

Начальником Спецсектора и заместителем директора ИФЗ АН СССР в 1989 г. был избран В. В. Адушкин. По предложению М. А. Садовского началась работа по организации на базе Спецсектора отдельного самостоятельного Института.

## **26 марта 1991 г.** вышло постановление Президиума Академии Наук об образовании **ИНСТИТУТА ДИНАМИКИ ГЕОСФЕР**

Целью и предметом деятельности ИДГ РАН стало проведение фундаментальных, прикладных и поисковых научных исследований в области геофизики естественных и техногенных воздействий на геосистемы для решения крупных научно-технических проблем рационального использования природных ресурсов и геофизических аспектов национальной безопасности

### Институт состоял из 15 лабораторий и вспомогательных подразделений:

Геомеханики (зав. лаб. В.Н. Родионов)
Механической неустойчивости
(зав. лаб. А.Н. Ромашов)
Взрывных процессов (зав. лаб. Б.Д. Христофоров)
Сейсмоакустики (зав. лаб. Л.Г. Болховитинов)
Сейсмологии взрыва (зав. лаб. В.М. Овчинников)
Измерительных систем в геофизике
(зав. лаб. Н.В. Кабыченко)
Физики газодинамических процессов
(зав. лаб. И.В. Немчинов)
Высокоэнергетических процессов

взаимодействия (зав. лаб. Ю.И. Зецер) Электронных систем диагностики (зав. лаб. Ю.Б. Двоеглазов) Радиационных процессов (зав. лаб. А.С. Стрелков)

Электродинамики (зав. лаб. В.А. Пуштарик)
Геотехнических проблем ( зав. лаб. Е.И. Шемякин)
Геодинамики (зав. лаб. В.В. Адушкин)
Группа экспериментальной сейсмологии
(руководитель Д.Д. Султанов)
Экспериментальной астрофизики
(зав. лаб. Г. П. Кахидзе)



Академик РАН В.В.Адушкин директор ИДГ РАН (с 1991 по 2004 гг.)





Профессор, Ю.И.Зецер директор ИДГ РАН (с 2004 по 2015 гг.)

### СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ИНСТИТУТА



Профессор С.Б.Турунтаев д.ф.-м.н. директор ИДГ РАН



Профессор
Г.Г.Кочарян—
д.ф.-м.н.
зам. директора по
научной работе



А. Н. Ляхов к.т.н. зам. директора по научной работе



Д. Н. Локтев к.ф.-м.н. ученый секретарь

В структуру Института входят 8 научных лабораторий, вспомогательные подразделения, Геофизическая обсерватория «Михнево», информационно-редакционная группа, группа по инновациям и интеллектуальной собственности, научно-образовательные подразделения (отдел аспирантуры). В Институте работает Диссертационный совет № Д 002.050.01, который принимает к защите диссертации на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук, кандидата физ.-мат. наук, по специальностям:

25.00.10 — геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых;

25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы. Ученый секретарь диссовета С. 3. Беккер

### ИНСТИТУТОМ ВЕДУТСЯ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЛЕДУЮЩИМ НАПРАВЛЕНИЯМ:

- ▲ Геомеханика блочных структур и разломов земной коры, очагов динамических событий, триггерные эффекты в геосистемах, техногенная сейсмичность, подземная флюидодинамика, безопасное и эффективное освоение земных недр, в том числе в Арктическом регионе, динамическая устойчивость подземных сооружений, сейсмология, изучение структур Земли сейсмическими методами, пространственные модели строения литосферы, сейсмический мониторинг природных и промышленных объектов, сейсмология взрывов.
- ▲ Приповерхностная геофизика, взаимодействие геосфер, преобразование и взаимодействие физических полей в приповерхностной зоне Земли, их связь с процессами во внутренних и внешних геосферах, разработка методов комплексного геофизического мониторинга локальных участков земной коры в районах расположения особо ответственных объектов.
- ▲ Динамические, радиационные и плазмохимические процессы в ионосфере и атмосфере Земли, физические поля и токи в геосферах, распространение электромагнитных волн в возмущенной среде, ионосферно-магнитосферные связи и взаимодействия.
- ▲ Процессы при экстремальных воздействиях на геосферы (при взрывах, извержениях вулканов, внедрении внеземных тел и их ударов по поверхности Земли) и их последствия, разработка компьютерных моделей крупномасштабных природных катастроф.
- ▲ Комплексное приборное, методическое и геофизическое обеспечение решения вопросов рационального освоения недр и национальной безопасности, разработка и создание геофизических датчиков и приборов, развитие междисциплинарных центров мониторинга динамики физических полей Земли. Разработка и изготовление адаптивных оптических систем для управления параметрами мощного лазерного излучения, а также компенсации искажений светового излучения в условиях атмосферной турбулентности.



Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. А. А. Остапчук

### Лаборатория **ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ**

Организована в 1994 г.

Работы лаборатории направлены на изучение закономерностей зарождения и развития деформационных процессов в земной коре. Отличительной особенностью является опора на лабораторные и численные эксперименты, результаты полевых исследований. Созданные в лаборатории оригинальные методы и подходы применяются при исследовании структуры и механики природных и техногенных деформационных явлений, включая землетрясения, события медленного скольжения, лавины и оползни. Исследования ведутся в области подземной флюидодинамики, сейсмологии взрывов диагностики, деформационных характеристик разломных зон, механики импактных событий и их роли в эволюции Земли и планет.



Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Н. А. Барышников

### Лаборатория ГЕОМЕХАНИКИ И ФЛЮИДОДИНАМИКИ

Организована в 1993 году.

Основным направлением исследований является изучение взаимосвязанных сейсмодеформационных и флюидодинамических процессов в земной коре, связанных с выявлением и изучением фундаментальных механизмов реакции флюидонасыщенных систем на техногенное воздействие, в том числе при интенсификации нефтедобычи (включая месторождения баженовской свиты). В лаборатории проводится изучение техногенной

### Перспективные задачи:

- ▲ разработка комплексной модели возникновения и развития динамической неустойчивости в зонах континентальных разломов, развитие новых принципов оценки геодинамической опасности на локальных участках земной коры в условиях воздействия природных и техногенных факторов различного генезиса;
- определение условий реализации различных режимов деформирования водонасыщенных коллекторов при динамическом воздействии;
- исследование закономерностей эволюции сухого трения при динамическом деформировании крупномасштабных объектов, сравнение механизмов, выявляемых в лабораторных экспериментах, с наблюдаемыми в природных динамических событиях (очаги землетрясений, лавины и оползни, обрушение ударных кратеров).

сейсмичности, вызванной различными видами воздействий на недра (разработкой месторождений твердых полезных ископаемых и углеводородов, взрывными воздействиями и т.д.), ведутся экспериментальные исследования фильтрационных процессов и сейсмоакустических явлений.

### Перспективные задачи:

- ▲ разработка методики идентификации сейсмических событий, сопровождающих рост трещины ГРП и её взаимодействие с существующими неоднородностями с учетом проницаемости горных пород;
- ▲ совершенствование методов интерпретации кривых давления жидкости при ГРП, позволяющие адекватно оценивать характеристики напряженного состояния пласта, его фильтрационные свойства, параметры трещины гидроразрыва;
- ▲ поиск условий инициирования микросейсмичности

и закачке жидкости и разработка модели образования и распространения микросейсмических событий при закачке и извлечении жидкостей, при проведении гидроразрыва пласта, при термическом воздействии, которая позволит делать оценку фильтрационных параметров неоднородной среды по вариациям активности микросейсмической эмиссии в коллекторах с изменяющимися во времени свойствами;

▲ разработка модели оценки отдаленных последствий реакции флюидонасыщенных систем земной коры на техногенные воздействия.



Заведующая лабораторией д.ф.-м.н. И. А. Санина

## Лаборатория **СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИТОСФЕРЫ**

Организована в 2004 г.

В лаборатории решается широкий спектр задач по изучению структурных особенностей оболочек Земли и их связи с динамическими процессами в земных недрах. Основными направлениями исследований являются: изучение тонкой структуры земного ядра; развитие инструментальных средств регистрации сейсмических событий и совершенствование методов их дискриминации; построение комплексных моделей земной коры и верхней мантии, включающих кинематические и динамические характеристики среды.

#### Перспективные задачи:

- ▲ построение динамических моделей формирования и развития внутреннего ядра Земли, а также конвекции во внешнем ядре, определяющих эволюцию магнитного поля, на основе численного моделирования сейсмограмм фононным методом. Оценка скачка плотности на границе внутреннего ядра. Получение томографической модели продольных волн отдельных областей ядра с плотным покрытием лучей;

- особенности распространения сейсмических волн, вплоть до глубины порядка 300 км, на основе наблюдений на вновь созданной разветвленной сети широкополосных сейсмических станций и данных МСГ «Михнево». Оценка диссипативных свойств среды вдоль уже отработанных и вновь построенных сейсмических профилей;
- ▲ выявление ослабленных участков геологической среды, чувствительных к внешнему воздействию (границы блоков, зоны пониженного значения добротности);
- мониторинг сейсмических событий на территории ВЕП, развитие методов дискриминации природы сейсмических источников, оценка вклада техногенных событий в общий поток сейсмической энергии, учитывающих кинематические и динамические особенности распространения сейсмических волн, вплоть до глубины порядка 300 км, на основе наблюдений на вновь созданной разветвленной сети широкополосных сейсмических станций и данных МСГ «Михнево». Оценка диссипативных свойств среды вдоль уже отработанных и вновь построенных сейсмических профилей;
- ▲ выявление ослабленных участков геологической среды, чувствительных к внешнему воздействию (границы блоков, зоны пониженного значения добротности);
- мониторинг сейсмических событий на территории ВЕП, развитие методов дискриминации природы сейсмических источников, оценка вклада техногенных событий в общий поток сейсмической энергии.



Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. А. А. Спивак

### Лаборатория ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Организована в 1994 г.

Основные направления исследований:

Установление природы и механизмов генерации, преобразования и взаимодействия геофизических полей в приповерхностной зоне Земли.

Определение роли разломных зон земной коры в формировании режимов геофизических полей.

Установление влияния слабых возмущений земной коры (деформация в результате лунно-солнечного прилива, барические вариации в атмосфере и т.д.) на геодинамические процессы, амплитудные и спектральные характеристики геофизических полей.

Разработка феноменологических и численных моделей преобразования энергии между геофизическими полями разной природы.



Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. В. В. Шувалов

## Лаборатория **МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Организована в 2006 г.

Деятельность лаборатории связана с изучением последствий различных природных катастроф, в том числе, в условиях высокотехнологичного общества. Работа направлена на развитие методов моделирования природных катастрофических явлений и изучение последствий

Разработка моделей литосферно-атмосферных взаимодействий в среде обитания.

### Перспективные задачи:

- □ определение возмущений электрического и магнитного полей, естественного акустического и других волновых полей атмосферы Земли, вызванных сильными событиями природного происхождения в виде землетрясений, вулканических извержений, падения крупных космических тел, ураганов, шквалов, гроз и т.д. и техногенного происхождения в виде промышленных и аварийных взрывов, запусков ракетносителей, пожаров и др.;
- оценка воздействия природных и техногенных явлений и процессов на условия среды обитания, в частности, в крупных промышленных агломерациях;
- ▲ разработка прогностических признаков опасных атмосферных явлений и создание научных основ и систем в целях предотвращения их нежелательных и катастрофических последствий для человека и инфраструктуры.

конкретных природных явлений (в том числе фреатомагматических вулканических извержений и ударов космических тел разного размера) методами численного эксперимента. Перспективные задачи:

- ▶ разработка совершенной модели взаимодействия метеороидов метровых размеров с атмосферой;
- ▶ разработка модели быстрой оценки последствий падения на Землю космических тел, расширение диапазона размеров рассматриваемых тел в сторону их уменьшения (метры и первые десятки метров) и увеличения (десятки километров), рассмотрение новых эффектов, в том числе генерации волн цунами;
- 🗚 анализ влияния ударов космических тел на

- эволюцию Земли на протяжении всей ее истории и на развитие жизни на Земле;
- ▲ развитие модели происхождения Луны в результате ударов крупных космических тел по ранней Земле.



Заведующий лабораторией к.т.н. А. Н. Ляхов

### Лаборатория **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГЕОФИЗИКЕ**

Организована в 1990 г.

Основные направления исследований.

Разработка численных моделей возмущенных состояний ионосферы под действием естественных и техногенных факторов.

Исследование влияния геофизических факторов на радиоканалы связи, управления и навигации всех диапазонов длин волн от сверх длинноволновых до сантиметровых.

#### Перспективные задачи:

▲ разработка новых и совершенствование



Заведующий лабораторией к.ф.-м.н. И. А. Ряховский

### Лаборатория **ЛИТОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ** Организована в 1995 г.

Научные исследования, проводимые в лаборатории, направлены на обнаружение и изучение взаимосвязанных возмущений в литосферно-атмосферно-ионосферной системе

- прежних методов оценки состояния ионосферы по данным измерений амплитуд и фаз КНЧ-НЧ электромагнитных сигналов естественного и искусственного происхождения;
- ▲ исследование влияния изменения геомагнитного поля и смещения магнитных полюсов на структуру и динамику полярной ионосферы;
- ▲ исследование элементарных ионизационно-рекомбинационных химических процессов в средней атмосфере и нижней ионосфере под воздействием интенсивных потоков жесткого электромагнитного излучения;
- разработка вычислительных прогностических моделей нижней ионосферы и распространения радиоволн в сильно неоднородной среде;
- ▲ разработка вычислительных моделей для решения задач распространения электромагнитных сигналов в трехмерно-неоднородной не стационарной среде.

с целью выявления их механизмов, разработки методов геофизических измерений в широком диапазоне амплитуд и частот, совершенствование методов экспериментальных исследований пространственновременной динамики среднеширотной ионосферы и построение эмпирических моделей среды в различных гелиогеофизических условиях.

Созданный уникальный радиофизический комплекс в ГФО Михнево, позволяет проводить координированные измерения вариаций электромагнитных и электрических полей, радиосигналов КВ, ДВ и СДВ диапазонов,

вариаций и абсолютного значения полного электронного содержания ионосферы, получать данные об особенностях структуры и динамики ионосферной плазмы в среднеширотной зоне Европейской части страны.

### Перспективные задачи:

- ▲ изучение ионосферных возмущений и вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей, вызванных удаленными сейсмическими событиями;
- ▲ расширение исследований состояния и динамики нижней среднеширотной ионосферы с использованием пространственно-распределенной сети современных высокочувствительных приемников КНЧ/ОНЧ диапазона;

- установка измерительных комплексов ИДГ РАН в различных регионах Европейской части страны;
- ▲ создание системы сетевых радиофизических пунктов и проведение комплексных исследований, что должно существенно повысить пространственно-временное разрешение измерений;
- ▲ создание эмпирических моделей среднеширотной ионосферы, верификации и коррекции теоретических моделей ионосферы в интересах обеспечения надежной работы связных, управляющих и навигационных радиотехнических систем.



Заведующий лабораторией д.ф.-м.н. А. В. Кудряшов

### Лаборатория АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ

Организована в 2017 г.

Основное направление деятельности коллектива лаборатории - разработка и изготовление адаптивных оптических систем для управления параметрами мощного лазерного излучения, а также компенсации искажений светового излучения в условиях атмосферной турбулентности.

### Перспективные задачи:

- исследования атмосферных фазовых флуктуаций лазерного излучения в приземном слое атмосферы;
- ▲ построение моделей распространения излучения, а также коррекции аберраций света в реальном времени с частотами до 3 кГц.

### Уникальная научная установка «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево»

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «МИХНЕВО» (ГФО «МИХНЕВО) расположена в Ступинском районе Московской области в 80 км от ИДГ РАН на территории в 1 кв. км.

В состав обсерватории входят системы инструментальной регистрации параметров геофизических полей и характеристик их взаимодействия. Выстроенная система различных методов наблюдений направлена на исследование механизмов взаимодействия квазистатических и динамических процессов в разных геосферах - литосфере, атмосфере, ионосфере и позволяет проводить синхронную регистрацию контролируемых параметров физических полей и энергомассообменных процессов в геосистемах.

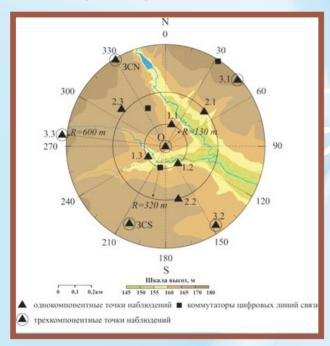


В 2014 г. на ГФО «Михнево» была организована уникальная научная установка «Малоапертурная сейсмическая антенна «Михнево». В 2021 г., согласно решению Ученого совета ИДГ РАН, была организована новая уникальная научная установка — «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево» (УНУ СКГН «Михнево»), в состав которой вошла и малоапертурная сейсмическая антенна.



Руководитель УНУ СКГН «Михнево» к.ф.-м.н. Ю. В. Поклад

УНУ СКГН «Михнево» состоит из ряда уникальных по своим характеристикам установок, позволяющих проводить синхронные измерения литосферных, атмосферных и ионосферных процессов. Система наблюдений базируется на сети измерительных пунктов, установленных в местах со слабым антропогенным влиянием



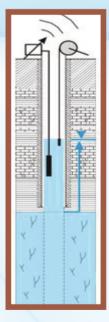
1. Малоапертурная сейсмическая антенна (МСА) установлена в 2004 г. на осадочных породах. Антенна состоит из центрального трёхкомпонентного сейсмоприемника STS-2, установленного в штольне на глубине около 20 м, и периферийных датчиков СМЗ-КВ. МСА «Михнево» представляет собой сейсмическую группу из 12 пунктов наблюдения, шесть из которых являются трехкомпонентными, а остальные однокомпонентные вертикальные.

Решаемые задачи:

Мониторинг, локация и верификация источников

сейсмических сигналов природного и техногенного характера в пределах Восточно-Европейской платформы. Высокоточные измерения сейсмической добротности и ее вариаций во времени.

2. Комплекс гидрогеологических измерений состоит из 3 скважин глубиной 30 м, 115 м и 60 м, которые оборудованы прецизионными датчиками уровня LMP308i. Гидрогеологический аппаратурно-измерительный комплекс является единственным установленным в платформенных условиях, который в автоматическом режиме позволяет отслеживать вариации уровня напорного и безнапорного водоносных горизонтов с точностью ежесекундной регистрации 1.7 мм вне зоны влияния активного техногенеза.



3. Инфразвуковая станция состоит из трех микробарометров МБ-03 ИДГ скважинного типа, размещенных на местности в трех пунктах. Микробарометры оснащены шумоподавляющими фильтрами в виде шестилучевой «звезды». Инфразвуковая станция является аналогом



инфразвуковых станций Международной системы мониторинга СТВТ.

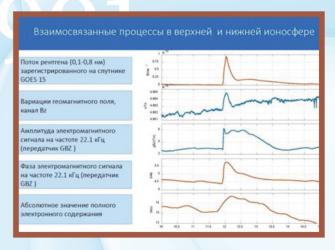
Решаемые задачи:

- (i) Исследование микропульсаций давления, связанных с атмосферными явлениями и процессами.
- (ii) Исследование характеристик атмосферного электрического поля и концентрации аэрозолей в Московском регионе.
- 4. Радиофизический комплекс, позволяющий получать данные об особенностях структуры и динамики ионосферной плазмы в среднеширотной зоне Европейской части страны. В обсерватории проводятся непрерывные измерения вариаций электромагнитных полей в широком спектральном диапазоне, что позволяет решать многие научно-прикладные задачи в режиме реального времени. Для исследования состояния геомагнитного поля Земли используются магнитовариационные данные, полученные трехкомпонентным феррозондовым магнитометром LEMI-018 и высокочастотными индукционными магнитометрами MFS-06 и MFS-07. Исследование динамики нижней ионосферы проводятся по данным измерения вариаций электромагнитного поля в КНЧ/ОНЧ диапазоне.

В состав комплекса также входят электростатические флюксметры, регистрирующие вертикальную компоненту напряженности электрического поля,

и компенсационный измеритель приземного атмосферного тока. Регистрация сигналов проводится в диапазоне частот 0 – 10 Гц.

Для наблюдения за процессами, происходящими в Е и F областях ионосферы, в обсерватории непрерывно проводятся измерения в КВ диапазоне, ЛЧМ зондирование ионосферы, регистрация сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Регистрация параметров электромагнитных волн КВ диапазона ведется с использованием приемника Rohde&Schwarz ESCI (Германия) и ромбической антенны с размерами диагоналей 140х80 м и высотой подвеса около 30 м. Контроль состояния верхней ионосферы проводится с использованием ЛЧМ ионозонда на базе аппаратуры фирмы Icom (Япония): передатчика R-718 и приемников R-75. Сигналы спутников ГНСС регистрируются мультисистемным трехчастотным приемником Javad Sigma (США).



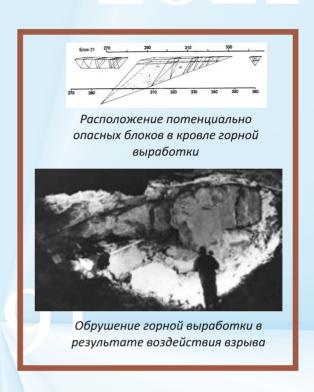
#### Решаемые задачи:

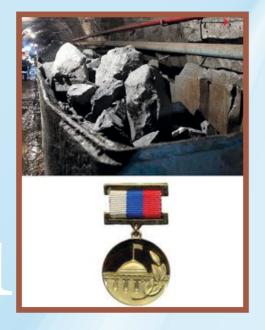
Исследование пространственно-временной динамики возмущений атмосферы, верхней и нижней ионосферы, исследование взаимосвязанных процессов на различных высотах в различных гелио-геофизических условиях.



# За годы работы в Институте динамики геосфер РАН был выполнен ряд крупных научно-исследовательских программ прикладной направленности, основанных на фундаментальных разработках

ДГ РАН являлся головным исполнителем крупной программы «Аксамит-15», которая выполнялась рядом организаций Академии наук, Минобороны и Росатома. В результате выполнения программы были созданы научные основы методологии геомеханического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации специальных подземных сооружений, подверженных динамическим воздействиям высокой интенсивности. Было показано, что дискретность строения массива скальных пород выдвигает на первый план принципиально новую для геомеханики проблему - обеспечение устойчивости подземного сооружения к локальным подвижкам крупных структурных блоков, сравнимых по размерам с масштабом объекта. Предложен комплекс геолого-геофизических исследований и методов построения структурных и механических моделей, обеспечивающих выявление местоположения значимых межблоковых границ, учет их реакции на динамическое воздействие, что позволило разработать инженерные методы компенсации дифференциальных движений.





еоретические и экспериментальные исследования взрывного разрушения горной породы позволили установить принципиально новые закономерности изменения степени дробления при увеличении энергии зарядов ВВ. Эти исследования позволили обосновать возможность применения в подземных условиях зарядов большой массы. В кооперации с рядом институтов и организаций предложена, всесторонне исследована и реализована новая технология ведения горных работ на железорудных предприятиях в сейсмоактивных зонах. Это дало существенную экономию, свыше 50 миллионов рублей в год (в ценах 2003 г.) и снизило риск возникновения негативных геодинамических явлений.

За разработку данной технологии сотрудники ИДГ РАН академик РАН В. В. Адушкин, кандидаты ф.-м.н. А. И. Гончаров, В. И. Куликов в составе коллектива авторов были удостоены Премии правительства Российской Федерации.

азработана концепция нового научного направления в науках о Земле «Геомеханика разломов». Впервые в России проведены анализ и обобщения широкого круга вопросов, связанных со структурой и режимами деформирования разломных зон, землетрясениями, проблемами разрушения горных пород. В рамках единого формализма сформулирована модель формирования и трансформации различных режимов сдвигового деформирования разломов.

Разработана методика оценки фрикционных параметров и напряженно-деформированного состояния локального участка разлома на основе регистрации сейсмических колебаний в широком диапазоне частот.

азработан метод определения геодинамической устойчивости локальных участков земной коры на основе анализа сейсмической информации, пространственных и временных вариаций геофизических полей в приповерхностном слое. Метод успешно применен при ранжировании горных склонов по степени опасности их обрушения (Южные Альпы, Италия), выборе и обосновании площадок под строительство подземных захоронений жидких радиоактивных отходов, новых блоков АЭС, выборе площадок под новые блоки АЭС.

При непосредственном участии ИДГ РАН в Ломбардии (Италия) был создан Международный центр по контролю за опасными склоновыми явлениями.



В.В. Адушкин и А.А. Спивак (крайние слева) на Презентации международного Геофизического Центра в коммуне Грозио



В результате выполнения программы «Афалина» специалистами ИДГ РАН, в составе кооперации институтов РАН и Росатома, установлено значение магнитуды максимально возможного землетрясения, инициированного некоторыми видами техногенных воздействий, разработана методика лабораторного моделирования импульсного динамического воздействия на подводные склоны.



Сформулирован критерий возникновения подводных оползней при воздействии сейсмических волн в виде правил принятия решений при анализе возможности инициирования оползня сейсмическим воздействием.

овместно с ИМГиГ ДВО РАН разработана концепция и создана система сейсмического мониторинга района разработки месторождений углеводородов шельфа о.Сахалин. Впервые такая сеть создана до начала интенсивной разработки месторождений, что позволило установить основные статистические характеристики сейсмического режима до проявления техногенного влияния разработки месторождений углеводородов.



На фото: к.ф.-м.н.
В. И. Куликов во время установки временных пунктов регистрации



В рамках крупного проекта, выполняемого в кооперации с рядом организаций, была установлена техногенная природа землетрясений в районе Ромашкинского месторождения нефти, разработана модель, объясняющая закономерности сейсмических активизаций и их связь с техногенной деятельностью.

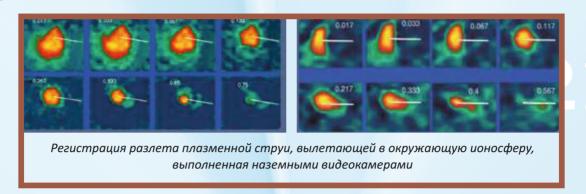
ля решения ряда научных проблем в интересах сервисных и нефтедобывающих компаний, создан уникальный комплекс экспериментальных установок для проведения лабораторного ГРП в условиях истинно трехмерного напряженного состояния, изучения микросейсмичности, сопровождающей ГРП, исследований нелинейности фильтрационных свойств пористых сред.

Выполнен комплекс лабораторных экспериментов с учетом критериев подобия, в которых найдены условия переориентации трещин ГРП из-за изменения напряженного состояния, вызванного



разботкой месторождения, показана необходимость учета проницаемости горных пород и дополнительных сжимающих «обратных» напряжений, вызванных диффузией давления жидкости из создаваемой трещины в породу, исследованы особенности фильтрации жидкости в низкопроницаемых породах сучетом влияния напряженного состояния.

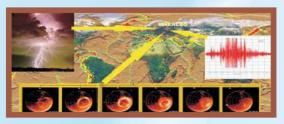
**В** целях исследования среднеширотной и высокоширотной ионосферы проведены ракетные эксперименты «Флаксус» и «Северная звезда» с использованием плазменных взрывных генераторов, созданных в ИДГ РАН. Получены уникальные результаты по динамике неравновесной ионизации



в процессе разлета плазмы в космосе и ее взаимодействия с геомагнитным полем. Результаты исследований используются для разработки новых физических моделей, описывающих плазменные потоки в ионосфере и магнитосфере.



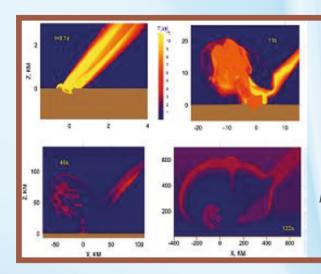
результате выполнения Межведомственной программы «Радиоволны» была разработана прогностическая компьютерная модель передачи информации в условиях возмущенной геофизической среды, построены физические модели, описывающие динамику ионосферы в условиях воздействия сильных источников возмущения.



Были созданы физические и прогностические модели электромагнитной помеховой обстановки с учетом локальных и глобальных источников помех. Все модели прошли верификацию, переданы в эксплуатацию Заказчику и используются при разработке новых комплексов связи.

В ходе реализации Федеральной целевой программы « Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки» были разработаны и экспериментально верифицированы принципиально новые плазмохимические модели средней атмосферы и ионосферы, учитывающие влияние УФ и рентгеновского излучения, а также электрических полей в средней атмосфере Земли. Разработанные модели и приборные комплексы внедрены в заинтересованных организациях (рис. слева).

оздан и апробирован комплекс программ, позволяющий рассматривать все последствия падений космических тел. Получены оценки основных поражающих факторов, вызываемых падением на Землю космических тел разного размера и различной природы. Расчеты показали, что при падении космического тела на Землю возможны различные сценарии (кратерообразующий удар, поверхностный взрыв, воздушный гигантский болид, обыкновенные метеорные явления), при которых определяющее значение имеют разные поражающие факторы. При ударах тел диаметром от нескольких десятков до 300 м основными поражающими факторами являются ударная волна, сейсмические волны, световое излучение и цунами.



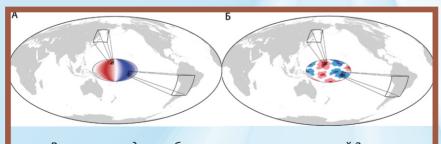
Распределения температуры в различные моменты времени после удара 300-метрового астероида по поверхности Земли под углом 45 градусов со скоростью 20 км/с. Температура воздуха в следе в момент удара достигает 10 кК (в головной ударной волне даже больше). Ударный плюм, образующийся при разлете выбросов из кратера, значительно холоднее, его температура близка к температуре конденсации (около 2 кК). При движении космического тела в атмосфере за ним образуется след, горячий и разреженный канал. При вертикальном ударе ударная волна, вызванная разлетом выбросов из кратера, и нагретый ею воздух распространяются преимущественно вдоль этого разреженного канала

При ударах космических тел меньшего размера от десяти до нескольких десятков метров основным поражающим фактором является ударная волна, а роль остальных эффектов становится незначительной.

Между этими режимами нет резких границ и возможны промежуточные варианты. Реализация конкретного сценария зависит как от диаметра ударника **и** его скорости, так и от его плотности и состава, а также от угла входа в атмосферу.

### Важные научные результаты, полученные в ходе выполнения Государственного задания, проектов научных фондов, договоров с промышленными предприятиями и организациями

#### ТОНКАЯ СТРУКТУРА ВНУТРЕННЕГО ЯДРА



Внутреннее ядро изображено в центре прозрачной Земли. Четырёхугольники на поверхности внутреннего ядра и Земли очерчивают области расположения сейсмических источников и станций, и зондируемые участки поверхности твёрдого ядра под Азией и Америкой. Распределение теплового потока от внутреннего ядра изображено цветом: (А) — дихотомная модель с линейным распределением от более холодного и тяжелого Западного полушария к более тёплому Восточному, (Б) — мозаичная модель

С помощью отражённых волн РКіКР проведено зондирование поверхности внутреннего ядра Земли под Южной Америкой и восточной Евразией. Впервые получена площадная устойчивая оценка скачка плотности на границе внутреннего ядра, которая для фрагмента поверхности под Южной Америкой составила 0.9 г/см³, а под восточной Евразией 0.3 г/см<sup>3</sup>. Трёхкратное отличие полученных значений указывает на существенно различный режим затвердевания твёрдого внутреннего ядра Земли из расплава



жидкого внешнего для этих двух фрагментов поверхности. Полученные результаты являются следствием либо дихотомной структуры внутреннего ядра (А), либо 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.

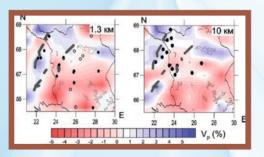
### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Методами локальной томографии получены новые данные о строении литосферы в регионах с различными тектоническими условиями.

Построена объемная скоростная модель с высоким пространственным разрешением для полуострова Камчатка. Выделены поперечные разломные зоны мантийного заложения в Авачинском и Камчатском заливах. Показана взаимосвязь современных тектонических элементов Камчатки со скоростными аномалиями в мантии — астеносферным слоем пониженных скоростей на глубине 80-120 км.

В томографической модели коры Тянь-Шаня установлена смена структуры неоднородностей на глубине 20 км. Ниже 20 км высокие скорости Р волн наблюдаются под Западной частью Тянь-Шаня, а низкие— под Восточной.

Построена томографическая модель верхней коры под Балтийским щитом, которая хорошо согласуется с геологической картой, местонахождением древней сдвиговой Ботниа-Балтийской мегазоны, послеледниковыми разломами.



Горизонтальные сечения трехмерной модели скоростей Р волн района Северной Фенноскандии на глубинах 1.3 и 10 км. Серые линии - послеледниковые разломы. Черные закрашенные круги - землетрясения, не закрашенные - взрывы

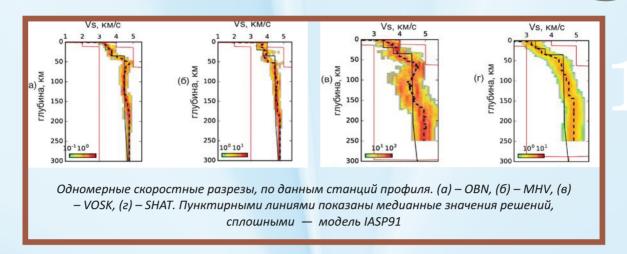
Показано, что на Балтийском щите в результате послеледникового поднятия происходит реактивавация древних геологических структур.

### ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Впервые определено глубинное скоростное строение центральной части ВЕП до глубины порядка 300 км, отражающее раннюю историю геологического развития и современную геодинамическую обстановку центральной части Восточно-Европейской платформы.

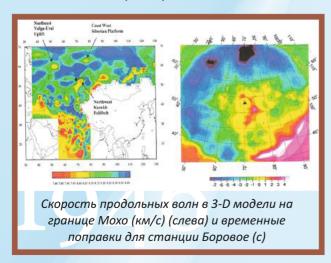
Глубина залегания границы между верхней и нижней корой, для данного региона, определена на глубине порядка 18 км. Показано, что раздел кора/мантия представлен не единой границей, а зоной Мохо, глубина кровли и подошвы которой изменяются на разных участках.

В построенных разрезах выделена средне литосферная неоднородность (MLD) на глубинах 70-140 км (иллюстрация на стр. 31).

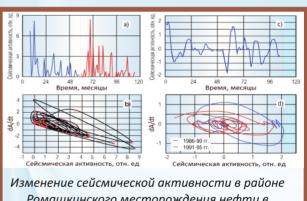


### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЛОЦИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ

Создана 3-D модель коры и верхней мантии Центральной Азии, Западной и Восточной Сибири с использованием высокоточных измерений времен вступлений волн Pn от взрывов и землетрясений. Построенная модель используется в Международном Центре Данных в Вене для определения координат сейсмического источника на региональных расстояниях. Для снижения порога обнаружения слабых сигналов разработан и внедрен в методику обработки данных сейсмической группы «Михнево» автоматический детектор сверхслабых сигналов на основе метода согласованного фильтра.



### КИНЕТИКА ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ



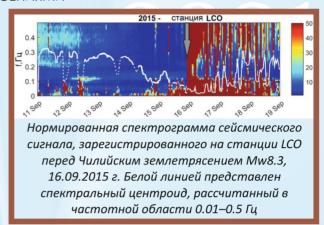
Ромашкинского месторождения нефти в обычных и фазовых координатах

Разработан способ анализа сейсмического режима при помощи введения фазовых координат, который позволяет выявлять устойчивые состояния сейсмического процесса. Обнаружено, что техногенное воздействие на недра приводит к повышению упорядоченности, детерминированности сейсмического процесса, по сравнению с естественной сейсмичностью. Показано, что техногенная сейсмичность является более предсказуемой, чем естественная, и существует возможность создания технологии управления сейсмическим режимом. Техногенная сейсмичность на разрабатываемых месторождениях углеводородов появляется, в среднем, через 10-20 лет после начала разработки месторождений, при этом наиболее сильные землетрясения происходят еще на десять лет позже (через 20-30 лет после начала работ).

### ЭФФЕКТ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛОМНОЙ ЗОНЫ ПЕРЕД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Экспериментально обнаружено новое физическое явление: выраженный эффект изменения механических характеристик разломной зоны перед динамическим срывом. Этот эффект проявляется в спектре сейсмического шума в виде смещения соответствующих спектральных пиков в область низких частот и может быть обнаружен по результатам инструментальных наблюдений.

Перед крупными землетрясениями подобное смещение может быть выявлено за несколько дней до события.



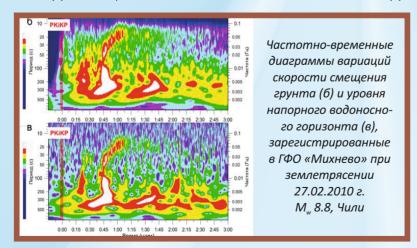
### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛОМНЫХ ЗОН

Выполнены не имеющие аналогов в мире экспериментальные работы по диагностике нарушений сплошности земной коры в широком диапазоне размеров — от миллиметров, до сотен километров. Полученные данные позволили впервые определить механические свойства разломных зон в условиях естественного залегания. Обнаруженные закономерности динамического деформирования разломных зон имеют фундаментальное значение для механики скальных пород и теории распространения сейсмических волн.



В частности, установлено, что характерные линейные размеры L~500–1000 м являются некоторой переходной областью, после которой изменяются характеристики разломов. Научные основы метода защищены Патентом РФ.

#### АИСТАНИОННЫЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ФЛОНОВНОВННОПИВНАТОРА



Создана методика дистанционного контроля состояния флюидонасыщенного коллектора in situ по данным прецизионного мониторинга уровня подземных вод. В основе методики лежит новый подход к выделению информативного временного диапазона для анализа фоновых вариаций фазового сдвига между приливными компонентами, выделенными в смещении грунта и уровне подземных вод.



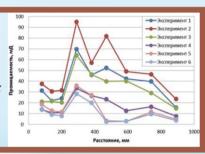
Методика позволяет определять проницаемость флюидонасыщенного коллектора в нестабильных условиях режима фильтрации, которая зависит от изменения упругой емкости пласта под влиянием земных приливов.

### СВЯЗЬ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В результате проведения теоретических оценок и лабораторных экспериментов по изучению разрушения пористого материала при быстром сбросе порового давления найдено, что за счет разных скоростей изменения напряжений в твердом скелете и диффузии порового давления в пористой среде могут возникнуть значительные растягивающие напряжения, приводящие к разрушению. Показано, что наибольшие разрушения наблюдаются в том случае, когда пористая среда насыщена двухфазным флюидом с выраженной границей между жидкостью и газом, причем количество образующихся трещин линейно растет с увеличением начального порового давления. Предложена модель, описывающая связь процесса микросейсмической эмиссии с изменением порового давления во времени.



Установка для изучения связи микросейсмичности с изменением порового давления. Изменение проницаемости модельного коллектора на разных расстояниях от точки закачки жидкости в серии последовательных циклов закачки



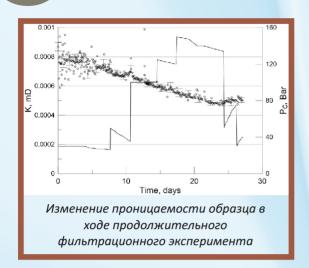
### ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАСТА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТРЕЩИН ГИДРОРАЗРЫВА

Найдены условия переориентации трещин ГРП из-за изменения напряженного состояния, вызванного разработкой месторождения. Показано, что возмущение поля напряжений трещинами, созданными ранее, приводит к отклонению трещины ГРП от исходного направления. Продемонстрирован рост трещин автоГРП на нагнетательных скважинах при закачке жидкости с постоянным давлением, меньшим давления гидроразрыва. Показана необходимость учета проницаемости горных пород и дополнительных сжимающих «обратных» напряжений, вызванных диффузией давления жидкости из создаваемой трещины в породу. Получено подтверждение влияния граничных условий на величину этих напряжений.

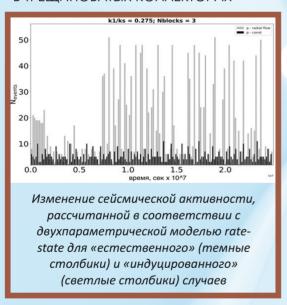


### НЕЛИНЕЙНОСТЬ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ СРЕД

Изучена долговременная реакция фильтрационных свойств ультранизкопроницаемых (проницаемость  $^{\sim}1\,\mu$ D) и низкопроницаемых ( $^{\sim}10\,m$ D) образцов горных пород на всестороннее сжатие. Установлено, что существенный вклад в изменение проницаемости пород под постоянными продолжительными нагрузками вносит неупругое деформирование. Была разработана методика и проведена серия измерений зависимости проницаемости от порового давления (иллюстрация на стр. 34).



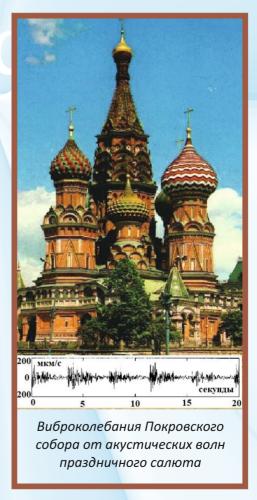
### МОДЕЛЬ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРАХ



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. Найдены значения геомеханических параметров пород, при которых возможно усиление техногенной сейсмической активности спустя месяцы после прекращения закачки.

# СЕЙСМОБЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ

На основе исследования параметров сейсмического и акустического действия массовых взрывов на инфраструктуру и жилую застройку, разработаны и внедрены рекомендации по совершенствованию технологии проведения работ. Разработана и внедрена новая технология ведения взрывных работ, обеспечивающая минимальное воздействие на близко расположенные инженерные объекты при строительстве перегонных тоннелей линий метрополитена глубокого заложения в г.Москве. Создано устройство дробящего действия «Деструктор» с сейсмическим эквивалентом 0.1-1 % от действия штатных взрывчатых веществ. Обследованы десятки уникальных сооружений, подверженных техногенным вибронагрузкам мегаполиса.



#### ЦЕНТР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА Г. МОСКВЫ

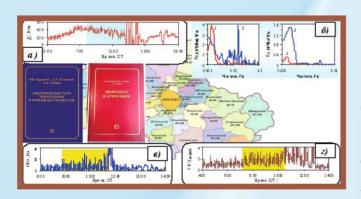
Разработаны основные принципы геоэкологического мониторинга городских конгломераций. Создан Центр геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН для проведения систематических исследований негативного влияния на среду обитания и инфраструктуру явлений и процессов природного и техногенного происхождения. Центр обеспечивает инструментальные наблюдения за сейсмическим фоном мегаполиса, микропульсациями атмосферного давления, в том числе в звуковом и инфразвуковом диапазонах частот, вариациями напряженности электрического поля в приземной атмосфере.



Проведение синхронных инструментальных наблюдений в г. Москве и в условиях геофизической обсерватории «Михнево», позволяет определить особенности геофизических полей и результаты их взаимодействия в условиях мегаполиса.

## ПРОЯВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Выполнен обобщающий анализ результатов инструментальных наблюдений за вариациями электрического поля и акустических колебаний в приземной атмосфере, вызванными природными и техногенными источниками. Впервые предложен комплексный прогностический признак опасных атмосферных явлений в виде ураганов, шквалов и сильных гроз.



В основу признака заложен совместный анализ особенностей амплитудных и спектральных вариаций локального электрического поля Земли, сейсмического шума и внутренних гравитационных волн, которые регистрируются инструментально заблаговременно (за 2—4 часа) до наступления сильных атмосферных явлений. Предложенный прогностический признак может служить основой для предупреждения последствий сильных атмосферных явлений для населения и городской инфраструктуры. Результаты исследований обобщены в виде двух монографий.

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТЕОРИТА С ГЕОСФЕРАМИ ЗЕМЛИ

Проведен комплексный анализ всех эффектов, сопровождавших падение Челябинского метеороида 15 февраля 2013 г. Разработанная модель взаимодействия метеороида с атмосферой позволила описать наблюдательные данные (световую кривую, кривую торможения, поле рассеяния метеорита, оценить общее количество метеоритного вещества), оценить последствия, инициированные падением космического объекта, сопоставить результаты моделирования с реальной зоной разрушения.



Анализ инфразвуковых данных и повреждений на поверхности, моделирование световой кривой и расчеты избыточного давления позволили оценить энергию космического тела в 400-600 кт ТНТ. Предложенная модель энерговыделения согласуется с наблюдаемой областью разрушений и временами прихода ударной волны в различные населенные пункты.

## МЕТОДИКА БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПАДЕНИЯ НА ЗЕМЛЮ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ

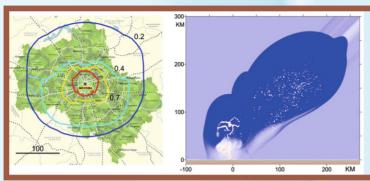
Разработана методика быстрой оценки основных поражающих факторов (избыточного давления за фронтом ударной волны, потоков излучения на поверхности Земли, сейсмического эффекта, возмущений ионосферы, размера кратера, если он образуется, толщины слоя выбросов из кратера) при падении на Землю комет и астероидов размером от десятков метров до нескольких километров. Отличие этой методики от других состоит в том, что она основана не на аналогии с сильными взрывами, а на результатах проведенных нами систематических расчетах ударов в широком диапазоне размеров и скоростей ударников и построении на основе результатов

этих расчетов интерполяционных формул. Методика учитывает сложный характер выделения энергии при ударе и зависимость результатов от угла наклона траектории. Методика реализована в виде он-лайн калькулятора, доступного на сайте <a href="http://AsteroidHazard.pro">http://AsteroidHazard.pro</a>.



## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗМОЖНОГО ПАДЕНИЯ НА ЗЕМЛЮ АСТЕРОИДА

Построена комплексная компьютерная модель падения на Землю 300-метрового астероида. Расчеты избыточного давления и скорости ветра на поверхности Земли показали, что размер (диаметр) зоны разрушений наиболее слабых конструкций может достигать 700-1000 км. причем уменьшение угла наклона траектории к поверхности приводит к заметному увеличению площади, поражаемой ударной волной. Возмущения ионосферы имеют глобальный характер и длятся часами: на расстояниях в несколько тысяч километров на высотах более 100 км возмущения плотности воздуха составляют десятки процентов, а вертикальные и горизонтальные компоненты скорости достигают сотен метров в секунду. При ясной погоде размер области, где под действием теплового нагрева может воспламениться древесина, достигает 200 км, а зона отдельных очагов пожара, где загораются легко воспламеняющиеся материалы, может быть в два раза больше. В центральной области очень сильного теплового поражения размером ~100 км загораются конструкции, крыши, одежда.



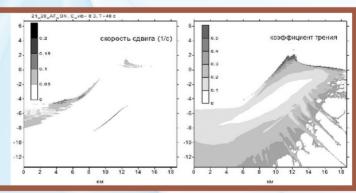
Слева изолинии максимального избыточного давления  $\Delta P/P_o$ , нанесенные на карту Московской области. Справа распределения относительной плотности воздуха (синий цвет) через 90 сек после столкновения. Более насыщенный цвет соответствует большей плотности. Показаны результаты для случая, когда астероид падает под наиболее вероятным углом 45 градусов

Опасная для человека область увеличивается с уменьшением угла наклона траектории, и тепловое действие может ощущаться людьми на расстояниях до 250–400 км от кратера. Аномальные погодные явления, возможно, будут наблюдаться во всем мире в течение нескольких лет после падения астероида.

# МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ НА ЗЕМЛЕ И ДРУГИХ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛАХ

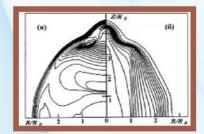
Создан метод математического моделирования ударных процессов для исследования процессов образования ударных кратеров на Земле и других планетных телах. Главным достижением, позволившим добиться количественного согласия результатов моделирования и геологических данных, стала модель временного снижения трения при образовании крупных кратеров. Были изучены все известные крупнейшие кратеры Земли. Подтверждены возможности использования численного моделирования для сопровождения геологических и геофизических исследований крупномасштабных природных событий с динамическим перемещением горных пород на многие километры по глубине и расстоянию. Исследования позволяют продвинуться в построении модели эволюции трения при динамическом деформировании крупномасштабных геологических объектов.

Распределение скоростей сдвига (слева) и величины коэффициента трения (справа) при образовании кратера в момент времени 40 с после удара, в модели с эффектами динамического уменьшения силы трения при скольжении и акустической флюидизации



#### ДОЗВУКОВЫЕ РАДИАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Разработана теория распространения дозвуковых радиационных волн (ДРВ) - фронтов нагрева и ионизации, возникающих при взаимодействии с преградой импульсов излучения. Проведено теоретическое исследование ДРВ при взаимодействии потоков лазерного излучения (Nd,  $CO_2$  УФ-лазеры) и излучения сплошного спектра с преградой, окруженной достаточно плотным газом (воздух, гелий, неон).



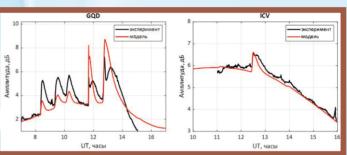


С помощью численного моделирования соответствующих радиационно-газодинамических задач определены основные закономерности и параметры явления, подтвержденные сравнением с имеющимися экспериментальными данными. Построены простые аналитические модели явлений, позволяющие проводить оценки параметров ДРВ. Результаты исследований важны в вопросах технологической обработки материалов, создании селективных источников излучения, вопросах диагностики плазмы.

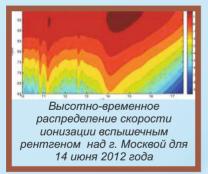
#### МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ВСПЫШЕК

Создана эмпирическая модель потоков солнечного рентгеновского и жесткого УФ излучения для расчета скорости ионизации нижней ионосферы по данным ИСЗ «GOES». Разработана ассимиляционная модификация плазмохимической модели нижней ионосферы с усвоением данных ИСЗ «Аура» по параметрам нейтральной атмосферы. Комплекс моделей *D*-области ионосферы верифицирован на амплитудно-фазовых характеристиках сигналов СДВ станций в спокойных условиях и во время рентгеновских вспышек.

Теоретический и экспериментальный ход амплитуды радиоволны от передатчиков GQD и ICV во время рентгеновских вспышек C- и X-класса, произошедших 9 июня 2014 г. (слева) и 10 июня 2014 г.



#### ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ ИОНОСФЕРЫ И СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ



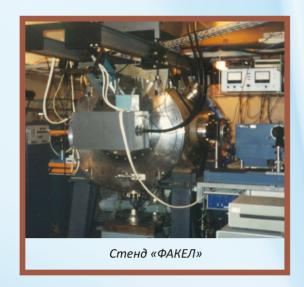


Разработаны физико-математические модели и программные коды для решения ряда фундаментальных и прикладных задач ионосферы Земли. Создан аппаратно-программный комплекс прогноза параметров ионосферы и распространения радиоволн в диапазоне частот 2-30 МГц в условиях естественных возмущений.

Принципиальная новизна моделей ИДГ состоит в учете жесткого УФ, рентгеновского и гамма-излучения Солнца, а также электрических полей в средней атмосфере Земли. Разработанные модели использованы при решении ряда обратных задач физики ионосферы. Впервые численно решена задача распространения КНЧ электромагнитного сигнала от ионосферного источника в трехмерно-неоднородной ионосфере с реальным геомагнитным полем.

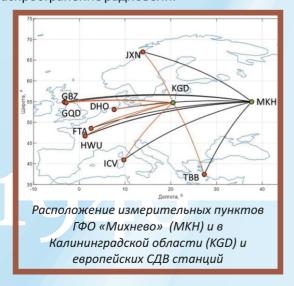
#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ВЕРХНИХ ГЕОСФЕРАХ

Создан лабораторный стенд "Факел", позволяющий моделировать процессы в солнечной системе, ионосфере и магнитосфере Земли. Исследовано распространение скоростной плазменной струи в искусственной ионосфере. Впервые в лабораторных условиях была промоделирована генерация продольных токов и исследована их зависимость от параметров нижней ионосферы (иллюстрация к тесту на стр. 39).



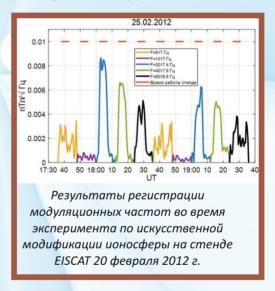
## МОНИТОРИНГ СРЕДНЕШИРОТНОЙ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ

Разработан комплекс пространственно-распределенных измерительных пунктов для мониторинга и исследования среднеширотной нижней ионосферы Земли. Комплекс позволяет восстанавливать высотные профили электронной концентрации D области ионосферы как во время солнечных вспышек, так и в спокойных условиях. Полученные результаты исследования влияния жесткого электромагнитного излучения Солнца на состояние и динамику нижней ионосферы используются для верификации теоретических моделей и прогнозирования влияния солнечных вспышек на распространение радиоволн.



# ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ИССЛЕДОВАНИЯ КЕЙТЕРИИ ИЗИМАНИЕМ ИЗИМЕНТИВНЕННОЕМ ОТНОЕМ ОТНО

В рамках Федеральной целевой программы по созданию национальной системы геофизического мониторинга проведены исследования возмущений геофизической среды, вызванные естественными и искусственными воздействиями. Созданы уникальные измерительные комплексы, позволяющие производить регистрацию сверхмалых вариаций геомагнитного поля и приземного электрического тока. Измерения в обсерватории Михнево и на Кольском полуострове с использованием новых приборов и методов обработки информации показали возможность регистрации геомагнитных возмущений, вызванных работой нагревных стендов, на расстояниях до 2000 км от источника.



#### ИОННЫЕ КАНАЛЫ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

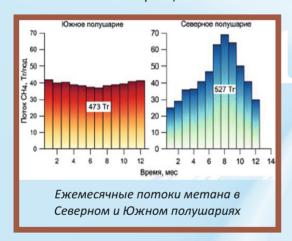
Предложена модель генерации и распространения волн коронного разряда в грозовых облаках. Такие волны распространяются на большие расстояния от точки «поджига» разряда на каплях или льдинках, а за их фронтом возникают области долгоживущей (порядка 1 секунды) ионизации — ионные стримеры. В трехмерном моделировании определены геометрические и электрофизические характеристики таких стримеров (иллюстрация к тексту на стр. 40).

1991



#### ГЛОБАЛЬНЫЕ ПОТОКИ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ

По материалам измерений концентрации метана в атмосфере выполнен расчет глобального пространственно-временного распределения потоков метана и его сезонных вариаций.



Модель глобального баланса позволила установить значение глобального потока метана в 1000 Тг/год, что почти в два раза превышает значение, представленное в отчете IPCC-2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Глобальный поток метана асимметричен. В северном полушарии он составляет 530 Тг/год и имеет сильную сезонную зависимость, связанную с эмиссией в осенний период из термокарстовых озер и глубинных источников. В южном полушарии он равен 470 Тг/год и слабо зависит от широты и сезона.

# КОРРЕКЦИЯ МОЩНОГО СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРОШЕДШЕГО РАССЕИВАЮЩУЮ И СИЛЬНО ТУРБУЛЕНТНУЮ АТМОСФЕРУ

Проведено экспериментальное исследование возможности фокусировки лазерного излучения видимого диапазона с использованием жидкокристаллического пространственного модулятора света. Реализованные параметры установки позволяют моделировать прохождение луча сквозь слой тумана средней плотности протяженностью от 300 м до 5 км.



#### МАКЕТ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Разработан и изготовлен лабораторный макет адаптивной оптической системы, предназначенной для коррекции аберраций волнового фронта излучения, прошедшего сквозь турбулентную атмосферу. Лабораторный макет позволяет, в зависимости от используемых параметров турбулентности, определять оптимальную конфигурацию и число электродов корректирующего деформируемого зеркала, а также требуемую частоту работы системы коррекции волнового фронта. Рассчитана область применимости быстрой адаптивной оптической системы для реальной оптической трассы в зависимости от протяженности трассы и структурной функции показателя преломления атмосферы.



#### НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

#### КАФЕДРА МФТИ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИКА»

В 1963 г. по инициативе академиков М. А. Садовского и М. А. Лаврентьева в Спецсекторе ИФЗ АН СССР была создана базовая кафедра Московского физико-технического института — Физики взрыва. Первым заведующим кафедрой был профессор В. Н. Родионов



Заседание кафедры (приблизительно 1975 г.)
На фото: (в центре)
В. Н. Родионов, ( за столом слева направо):
К. Е. Губкин, И. В. Немчинов, А. Г. Фомичев, Л. Г. Болховитинов, В. М. Цветков

# С 2017 г. заведующим кафедрой **«Теоретичес-кая и экспериментальная физика геосистем»** является д.ф.-м.н. С. Б. Турунтаев

Кафедра готовит специалистов по фундаментальной и прикладной геофизике процессов, протекающих в Земле, на её поверхности и в ближнем космосе. Курсы лекций, которые охватывают весь спектр геофизики, читают ведущие научные сотрудники Института.

На семинарских и практических занятиях студенты знакомятся с современным геофизическим оборудованием, осваивают методы сбора, анализа и хранения геофизических данных, изучают компьютерное моделирование геофизических процессов и реализуют научные минипроекты.



Посещение ГФО «Михнево» студентами кафедры (сентябрь 2021 г.)

Молодые сотрудники Института, аспиранты и студенты МФТИ также работают на научном полигоне ИДГ РАН Геофизической обсерватории «Михнево». 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. Магистранты и аспиранты кафедры принимают участие в экспедиционных и полевых работах на природных объектах, приобретая бесценный научный опыт, активно участвуют в выполнении работ по грантам РФФИ и РНФ.

соответствии с лицензией на осуществление образовательной деятельности в ИДГ ежегодно производится прием аспирантов по специальностям: 25.00.10 — геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых и 25.00.29 — физика атмосферы и гидросферы.

За время обучения аспиранты выполняют индивидуальный план обучения, сдают кандидатские экзамены по дисциплинам: История и философия науки, Иностранный язык, Специальная дисциплина, завершают работу над диссертацией и представляют ее к защите.



Зав. аспирантурой Т. В. Данилова



На фото (слева): слева направо — студентка 1-го курса магистратуры МФТИ, инженер-исследователь Екатерина Козакова, кандидаты ф.-м.н. С. 3. Беккер — ученый секретарь диссовета, И. А. Ряховский — председатель СМУ, мл. научные сотрудники аспирант ИДГ Ксения Морозова, Виктор Начев; На фото(справа): сотрудники ИГЕМ РАН, ИЗК СО РАН и ИДГ РАН по изучению Приморского разлома Байкальской рифтовой зоны, июль 2021 г.



Чтобы глубоко «копнуть» — надо высоко забраться

ИДГ РАН работает Совет молодых ученых (СМУ, председатель к.ф.-м.н. И. А. Ряховский) — объединение молодых ученых, аспирантов и специалистов ИДГ РАН. Основные задачи Совета связаны с содействием профессиональному и научному росту, самореализации молодых ученых, созданию благоприятной среды для плодотворной научной деятельности и решению социально-бытовых вопросов. За последние 3 года при непосредственном участии молодых ученых было опубликовано более 150 публикаций различного уровня, подготовлено около 140 выступлений на различных конференциях, защищено 11 магистерских и бакалаврских работ, 4 кандидатские диссертации. Молодыми специалистами получено 3 жилищных сертификата.

Достижения молодых ученых ИДГ РАН отмечаются многочисленными премиями и грантами. В период с 2018 по 2021 года молодые исследователи получили 3 гранта Российского научного Фонда (РНФ), 6 грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), стипендии Президента РФ и Правительства РФ, Медаль РАН.

#### ТРИГГЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГЕОСИСТЕМАХ

ИДГ РАН является организатором Международной конференции «Триггерные эффекты в геосистемах», которая регулярно проходит в стенах Института

**Цель конференции:** рассмотрение актуальных вопросов воздействия природных и антропогенных факторов на различные геосферы, геомеханические системы, техногенные объекты, находящиеся в субкритическом состоянии, влияние естественных и искусственных возмущений на систему атмосфера-ионосферамагнитосфера.

В V конференции, которая прошла в г. Москве 4-7 июня 2019 г., приняли участие свыше 260 ученых и специалистов из более чем 50 организаций из 7 стран, которые представили результаты и достижения по следующим направлениям:

- ◆ Триггерные эффекты в геосферах. Причины, мониторинг и прогноз.
- ◆ Флюидодинамические процессы и сейсмичность.
- → Триггерные эффекты в геологии и тектонике.
- + Геофизические поля. Активное воздействие на ионосферу и магнитосферу.
- → Лабораторные эксперименты и численное моделирование.
- → Динамические процессы при ведении горных работ.
- → Электрические и оптические переходные процессы в атмосфере. Ионосферный отклик на катастрофические события.

Труды конференции опубликованы в двух сборниках на русском и английском языках. Часть докладов, тексты которых были представлены на английском языке, опубликованы в издательстве Springer в серии книг «Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences».

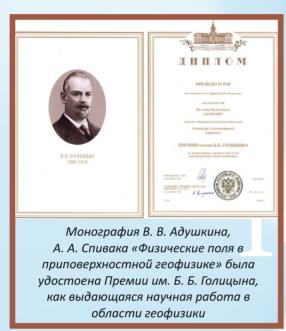


### Москва, 4-7 июня 2019 г.



#### ПУБЛИКАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

За последние 15 лет сотрудники Института опубликовали более 750 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, в том числе более 130 публикаций в журналах первого и второго квартиля, включая такие издания, как Science, Nature, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH и др. За эти годы сотрудники Института являются авторами и соавторами более чем 40 монографий, вышедших с 2006 по 2021 гг.



Некоторые публикации сотрудников ИДГ РАН

#### Монографии:

Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. — 423 с.: ил. ISBN 5-94628-078-3.

*Адушкин В.В., Спивак А.А.* **Подземные взрывы**. М.: Наука, 2007. 579 с.

Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. Техногенная сейсмичность — индуцированная и триггерная. М.: ИДГ РАН, 2015, —364 с. ISBN 978-5-91682-032-4 Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. М.: ГЕОС. 2016.-424 с.

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

#### Статьи:

- 1. Artemieva N., Shuvalov V. Motion of a fragmented meteoroid through the\_planetary atmosphere // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-PLANETS, 2001, vol. 106, No. 2, p. 3297-3309.
- 2. Ivanov B.A. Mars/Moon cratering rate ratio estimates // SPACE SCIENCE REVIEWS, 2001, vol. 96, No. 1, p. 87-104.
- 3. Head J.N., Melosh H.J., Ivanov B.A. Martian meteorite launch: High-speed ejecta from small craters // SCIENCE, 2002, vol. 298, No. 5599, p. 1752-1756
- 4. Bland P.A., Artemieva N. Efficient disruption of small asteroids by Earth's atmosphere // NATURE, 2003, vol. 424, No. 6946, p. 288-291.
- 5. Neukum G., Basilevsky A.T., Ivanov B.A. et al. Recent and episodic volcanic and glacial activity on Mars revealed by the High Resolution Stereo Camera // NATURE, 2004, vol. 432, No. 7020, p. 971-979.
- 6. *Renne P.R., Melosh H.J., Ivanov B.A. et al.* **Is Bedout an impact crater? Take 2** // SCIENCE, 2004, vol. 306, No. 5696, p. 610-611.
- 7. Krasnoshchekov D.N., Kaazik P.B., Ovtchinnikov V.M. Seismological evidence for mosaic structure of the surface of the Earth's inner core // NATURE, 2005, vol. 435, No. 7041, p. 483-487.
- 8. Soloviev S.P., Sweeney J.J. Generation of electric and magnetic field during detonation of high explosive charges in boreholes // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH, 2005, vol. 110, No. 1, p. B01312.
- 9. Hauber E., Van Gasselt S., Ivanov B., et al. Discovery of a flank caldera and very young glacial activity at Hecates Tholus, Mars // NATURE, 2005, vol. 434, No. 7031, p. 356-361.

- 10. Losseva T.V., Popel S.I., Yu M.Y., Ma J.X. Ambipolar diffusion in complex plasma // PHYSICAL REVIEW E, 2007, vol. 75, No. 4, p. 046403.
- 11. Ferriere L., Koeberl C., Ivanov B.A., Reimold W.U. Shock Metamorphism of Bosumtwi Impact Crater Rocks, Shock Attenuation, and Uplift Formation // SCIENCE, 2008, vol. 322, No. 5908, p. 1678-1681.
- 12. Artemieva N. Russian skyfall (Solar System News and Views) // NATURE, 2013, vol. 503, p. 202-203.
- 13. *Popova O.P. et al.* Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization // SCIENCE, 2013, vol. 342, p. 1069-1073.
- 14. Kocharyan G.G., Markov V.K., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V. Mesomechanics of shear resistance along a filled crack // Physical Mesomechanics. 2014. T. 17. № 2. C. 123-133.
- 15. Kozlov S., Nikolayshvili S., Platov Y., Silnikov M., Adushkin V. Exceptional optical phenomena observed during the operation of Russian launchers // Acta Astronautica, 2016, No. 126, p. 536-540.
- 16. Kocharyan G.G., Novikov V.A., Ostapchuk A.A. and Pavlov D.V. A study of different fault slip modes governed by the gouge material composition in laboratory experiments // Geophysical Journal International, 2017, vol. 208, No. 1, p. 521-528.
- 17. *Melosh H.J., Ivanov B.A.* **Slow Impacts on Strong Targets Bring on the Heat** // GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2018, vol. 45, No. 6, p. 2597-2599.
- 18. Kocharyan G.G., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V., Markov V.K. The effects of weak dynamic pulses on the slip dynamics of a laboratory fault // BSSA. 2018. V. 108. N. 5B. P. 2983–2992.
- 19. Kocharyan G.G., Ostapchuk A.A., Pavlov D.V. Traces of laboratory earthquake nucleation in the spectrum of ambient noise // Sci. Rep. 2018a. V. 8. P. 10764.
- 20. Karsanina M.V., Gerke K.M. Hierarchical Optimization: Fast and Robust Multiscale Stochastic Reconstructions with Rescaled Correlation Functions // Physical Review Letters, 2018, vol. 121, No. 26, p. 265501.
- 21. 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. T. 55. № 1.
- 22. Zhu M.H., Artemieva N., Morbidelli A., Yin Q.Z., Becker H., Wunnemann K. Reconstructing the lateaccretion history of the Moon // NATURE, 2019, vol. 571, No. 7764, p. 226.
- 23. Krasnoshchekov D., Ovtchinnikov V., Polishchuk V. 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, 2019, vol. 124, No. 5, p. 4862-4878.
- 24. Adushkin V.V., Sanina I.A., Ivanchenko G.N., Gorbunova E.M., Konstantinovskaya N.L., Nesterkina M.A., Gabsatarova I.P. Seismogenic ancient structures of the center and north of the east european platform // Doklady Earth Sciences. 2019. T. 489. № 2. C. 1432-1435.
- 25. Kocharyan G. Nucleation and Evolution of Sliding in Continental Fault Zones under the Action of Natural and Man-Made Factors: A State-of-the-Art Review // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2021. P. 439-473.
- 26. Bekker S.Z., Ryakhovsky I.A., Korsunkaya J.A. Modeling of the Lower Ionosphere During Solar X-Ray Flares of Different Classes // Journal of Geophysical Research Space Physics. 2021. Vol. 126(2).
- 27. Besedina A.N., Kabychenko N.V., Volosov S.G., Korolev S.A. Instrumental Circuit for Extending the Frequency Responses of Short-Period Sensors on the Example of the SM-3KV Seismometer // SEISMIC INSTRUMENTS, 2021, vol. 57, No. 3, p. 249-258.
- 28. Spivak A.A., Rybnov Y.S. Acoustic Effects of Strong Earthquakes // IZVESTIYA-PHYSICS OF THE SOLID EARTH, 2021, vol. 57, p. 37-45.
- 29. Shuvalov V.V. Release of Matter into the Atmosphere Duringthe Fall of Ten-Kilometer Asteroids into the Ocean // SOLAR SYSTEM RESEARCH, 2021, p. 97-105.

За 20 лет в ИДГ РАН было получено более 120 грантов РФФИ и РНФ с общим объемом финансирования свыше 300 млн. руб., выполнено около 150 хоздоговорных работ в интересах предприятий Росатома, Министерства обороны РФ, горно- и нефтедобывающих компаний и др.

#### ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ФОНДА

№ 20-77-10087 Применение современных методов анализа данных для решения задач геомеханики разломных зон приповерхностной области континентальной коры (рук. к.ф.-м.н. А. А. Остапчук).

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

№ 21-77-00071 Построение и коррекция схемы ионизационно-рекомбинационного цикла для расчета параметров нижней ионосферы в спокойных условиях и во время рентгеновских вспышек (рук. к.ф.-м.н. С. 3. Беккер, сроки выполнения).

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

№ 20-69-46064 Адаптивная оптика для коррекции волнового фронта в сверхмощных лазерных комплексах (рук. д.ф.-м.н. А. В. Кудряшов, сроки выполнения: 2020—2022 гг.).

№ 20-19-00597 Адаптивная оптика для 6-ти метрового телескопа САО РАН (рук. к.ф.-м.н. Ю. В. Шелдакова). № 17-77-10071 Разработка механической модели и построение концепции контроля в реальном времени процесса подготовки техногенно-тектонических землетрясений (рук. к.ф.-м.н. А. А. Остапчук).

№ 16-17-00107 Комплексная оценка катастрофического воздействия на Землю ударов космических тел (рук. д.ф.-м.н. В. В. Шувалов).

№ 16-17-00095 Разработка новых принципов снижения риска возникновения сильных техногенных землетрясений и изучение антропогенного влияния на сейсмичность в платформенных районах (рук. академик РАН В. В. Адушкин).

№ 14-17-00719 Механика медленных перемещений по разломам и трещинам: условия возникновения и возможность трансформации. Следствия и значение для снижения сейсмической опасности (рук. д.ф.-м.н. Г. Г. Кочарян).

#### НЕКОТОРЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИЙСКОГО ФОНДА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

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

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

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

№ 19-05-00671 Взаимосвязанные физические процессы в литосферно-атмосферно-ионосферной системе Земли по данным измерительного комплекса ГФО « Михнево» (рук. д.ф.-м.н. И. А. Санина).

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

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

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

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

№ 16-05-00869 Геомеханические и флюидодинамические аспекты техногенной сейсмичности (рук. д.ф.-м.н. С. Б. Турунтаев).

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

№ 14-35-50354 Геофизические эффекты при движении в атмосфере крупных метеорных тел (рук. к.ф.-м.н. О. П. Попова).

№ 14-05-00073 Отражение структуры и геодинамических свойств разломных зон в геофизических полях (рук. д.ф.-м.н. А. А. Спивак).

№ 13-05-00780 Геомеханические модели внутриконтинентальных сейсмических событий разного масштаба (рук. д.ф.-м.н. Г. Г. Кочарян).

№ 13-05-00950 Определение геомеханических характеристик локальных участков земной коры по результатам анализа параметров микроколебаний и расположения очагов слабой сейсмичности (рук. к.ф.-м.н. С. Б. Кишкина).

№ 13-05-00309 Оценка последствий падения на Землю космических тел размером 100-300 метров (рук. д.ф.-м.н. В. В. Шувалов).

# 1946