

ГРАНТЫ

РФФИ

В отчетном году Институт выполнял научно-исследовательскую работу по 36 инициативным проектам Российского фонда фундаментальных исследований.

Инициативные проекты

1. № 15-05-01310 а. Теоретические основы и, ориентированные на суперкомпьютерные вычисления, модели формирования геофизических полей в напряженных формациях. Роменский Е.И. 2015-2017 гг.
2. № 15-55-20004 норв_а. Геометрические и сейсмические характеристики разломов. Колюхин Д.Р. 2015-2017 гг.
3. № 15-06-09094 а. Разработка научных основ формирования инновационно-сырьевой модели развития российской экономики на базе повышения эффективности функционирования нефтегазового комплекса. Филимонова И.В. 2015-2017 гг.
4. № 15-05-06752 а. Томографические и тектонофизические исследования Сахалина на основе данных землетрясений: вычислительные алгоритмы и обработка реальных данных. Сердюков А.С. 2015-2017 гг.
5. № 15-05-04165 а. Связь между напряжённым состоянием, структурой порового пространства и давлениями в скелете и флюиде в породах коллекторов углеводородов. Сибиряков Б.П. 2015-2017 гг.
6. № 16-35-60087 мол_а_дк Мониторинг сейсмологического проявления динамики резервуара наземной и скважинной системами наблюдений в условиях неоднородной скоростной модели и различных физических характеристик сеймоприемников. Яскевич С.В. (2016-2018 гг.)
7. № 16-35-60053 мол_а_дк. Геохимия взаимодействия дренажных потоков с природными и модифицированными сорбентами: экспериментальные и натурные исследования поведения As-Sb, Zn-Cu-Hg. Абросимова Н.А. (2016-2018 гг.)
8. № 16-05-00800 а. Обращение полного волнового поля в целях надёжной реконструкции макроскоростного строения среды. Чеверда В.А. (2016-2018 гг.).
9. № 16-05-00523 а. Формирование и геодинамическая эволюция окраинно-континентальных структур Центральной и Восточной Арктики. Верниковский В.А. (2016-2018 гг.).
10. № 16-05-00155 а. Гидрогеохимия железа в различных геохимических средах: источники, механизмы концентрирования и рассеивания. Шварцев С.Л. (2016-2018 гг.).
11. № 16-05-00196 а. Кембрийские бентосные и пелагические сообщества и биостратиграфия Алтае-Саянской складчатой области. Коровников И.В. (2016-2018 гг.).
12. № 16-05-00936 а. «Нескучный миллиард» Сибирского кратона: комплексное палеонтолого-геохимическое изучение новых и опорных разрезов рифея. Наговицин К.Е. (2016-2018 гг.).
13. № 16-05-00830 а. Совместные электрофизические и геомеханические модели нефтенасыщенных коллекторов. Ельцов И.Н. (2016-2018 гг.).
14. № 16-35-00002 мол_а. Биогеохимия пресных питьевых подземных вод юго-восточной части Среднеобского бассейна (Томская область) и условия их обитания. Иванова И.С. (2016-2017 гг.).

15. № 16-35-00320 мол_а. Последние оппортунисты докембрия: палеоэкологический, морфодинамический и таксономический анализ палеопасцихрид. Колесников А.В. (2016-2017 гг.).
16. № 16-35-00003 мол_а. Верхнеюрские и нижнемеловые устрицы (*Bivalvia*, *Ostreoidea*) севера Сибири: систематика и вариации изотопов углерода и кислорода. Косенко И.Н. (2016-2017 гг.).
17. № 16-35-00090 мол_а. Изучение области под вулканом Горелый (Камчатка) различными методами сейсмологии. Кузнецов П.Ю. (2016-2017 гг.).
18. № 16-35-00099 мол_а. Изучение изменений сейсмической структуры земной коры в вулканически абортникова
19. ктивных областях методами сейсмологического мониторинга. Касаткина Е.В. (2016-2017 гг.).
20. № 16-35-00264 мол_а. Анализ древней сейсмичности в зоне Катунского раздвиг (Горный Алтай). Лобова Е.Ю. (2016-2017 гг.).
21. № 16-35-00240 мол_а. Реконструкция верхней части геологического разреза с использованием обращения полных волновых полей в целях повышения качества сейсмических изображений глубинных структур. Сильвестров И.Ю. (2016-2017 гг.).
22. № 16-36-00353 мол_а. Научное обоснование направлений освоения углеводородного потенциала континентального шельфа России на основе экономического анализа различных схем транспортировки углеводородов. Мочалов Р.А. (2016-2017 гг.).
23. № 16-36-00369 мол_а. Разработка научных основ оценки эффективности формирования трубопроводной инфраструктуры для экспорта углеводородов из России в страны Тихоокеанского региона. Проворная И.В. (2016-2017 гг.).
24. № 17-35-80023 мол_эв_а. Лабораторные эксперименты по формированию газогидратов в угольных образцах и измерению их акустических свойств для разработки геофизических методов мониторинга и прогноза газодинамических явлений при разработке угольных месторождений (2017-2018гг.) Дугаров Г.А.
25. № 17-05-00083 а. Проявления эффекта Холла при электромагнитных зондированиях земной коры и верхней мантии. (2017-2019 гг) Плоткин В.В.
26. № 17-05-00056 а. Газовый перенос химических элементов в техногенных системах: формы миграции, сравнительная подвижность, оценка масштабов. (2017-2019 гг) Бортникова С.Б.
27. № 17-05-00418 а. Нижний венд Сибирской платформы. (2017-2019 гг) Кочнев Б.Б.
28. № 17-05-00001 а. Построение и обработка сейсмических изображений для локализации и характеристики трещиноватых резервуаров. (2017-2019 гг) Протасов М.И.
29. № 17-05-01234 а. Зоны деформационной тени в блочной среде и их роль в подготовке сильных землетрясений. (2017-2019 гг) Дядьков П.Г.
30. № 17-05-00852 а. Кембрийский взрыв на северо-востоке Сибирской платформы: этапность становления фанерозойских экосистем в позднем венде и раннем кембрии. (2017-2019 гг) Марусин В.В.
31. № 17-06-00537 а. Разработка научных основ рационального использования углеводородного сырья для повышения эффективности функционирования нефтегазового комплекса России в интересах государства и бизнеса. (2017-2019 гг). Эдер Л.В.

32. № 17-45-543214 р_мол_а 2017. Разработка методики прогнозирования геологического строения и нефтегазоносности верхнеюрского горизонта Ю1 северных районов Новосибирской области. (2017-2019) Калинин А. Ю.
33. № 17-45-540837 р_а 2017. Построение современной модели геологического строения палеозойских отложений Новосибирской области, разработка объектноориентированных сейсмогеологических критериев выявления и детального картирования нефтегазоперспективных объектов в отложениях коренного палеозоя и коры выветривания. (2017-2019) Конторович В. А.
34. № 17-45-540530 р_а 2017. Методико-алгоритмическая база обработки и интерпретации данных ГИС и керна как основа эффективной доразведки нефтеносных отложений Верх-Тарского и Малоичского месторождений Новосибирской области (2017-2018) Глинских В. Н.
35. № 17-45-540528 р_а 2017. Петрофизический подход к изучению структурных и вещественных особенностей грунтов по данным комплекса малоуглубинных геофизических методов (2017-2018) Мельник Е. А.
36. № 17-29-04314 Комплексные исследования археологических памятников Западной Сибири геофизическими методами: новые полевые технологии и способы интерпретации данных. (2017-2019) Балков Е.В.

РНФ

1. № 17-17-01128 Разработка фундаментальных основ инновационных сейсмических методов на основе полномасштабного численного моделирования и решения обратной динамической задачи сейсмологии в условиях сложного строения верхней части разреза районов Крайнего Севера России, включая развитый ледовый покров транзитных зон и шельфа Северных морей. Чеверда В.А. (2017)
2. № 17-17-01158 Механизмы взаимодействия, состояние равновесия и направленность эволюции системы соленые воды и рассолы - основные и ультраосновные породы (на примере регионов Сибирской платформы). Шварцев С.П. (2017- 2019)
3. № 17-17-01241 Филогенетические джунгли докембрия: утраченные планы строения эукариот в эволюции биосферы. Гражданкин Д.В. (2017-2019)

Грант Президента Российской Федерации

В 2017 году Институт принимал активное участие в работе по 2 проектам гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых.

Проект «Гео-техногенные системы: механизмы миграции и осаждения химических элементов по геохимическим данным и результатам электроразведки». (МК-6654.2016.5, срок действия 2016-2017 гг., руководитель – к.г.-м.н. Юркевич Н.В.)

Научное исследование направлено на выяснение механизмов миграции химических элементов из складированных сульфидсодержащих отходов горнорудного производства с водными потоками и условий осаждения на природных геохимических барьерах при помощи геохимических и геофизических методов. Рассматриваются шесть хвостохранилищ переработки руд полиметаллических и золоторудных месторождений в Кемеровской области и Забайкальском крае: 1) Отходы флотации, складированные в отвалах переработки кварц-турмалин-сульфидных руд Ключевского золоторудного месторождения и молибденитовых руд Шахтаминского молибденового месторождения в Забайкальском крае, Белоключевского медно-колчеданного месторождения (пос. Урск) в Кемеровской области; 2) Отходы цианирования золото-молибденитовых руд Давендинского и Александровского комплексных месторождений (Забайкальский край) и золото-арсенопирит-кварцевых руд Комсомольского золоторудного месторождения (Кемеровская область), содержащие высокие концентрации анионогенного мышьяка.

Задачи в рамках сформулированной проблемы:

1. Оконтуривание тела техногенной системы, выявление зон аномальной проводимости и оценка путей распространения дренажных потоков с водными потоками при помощи электромагнитного сканирования, электротомографии, методом естественного электрического поля и вызванной поляризации на примере шести хвостохранилищ переработки руд полиметаллических и золоторудных месторождений в Кемеровской области и Забайкальском крае.
2. Определение физических свойств (гранулометрический состав, пористость, проницаемость, влажность), электропроводности (прямые измерения кондуктометром, резистивиметром и по данным электроразведки), химического состава отходов, поровых растворов и связанных с ними дренажных вод.
3. Экспериментальное моделирование динамического взаимодействия отходов горнорудного производства с водой, определение составов образованных дренажных стоков в зависимости от исходного состава отходов и длительности взаимодействия с водой. Определение смены электропроводящих зон по мере продвижения дренажного потока на основе замеров сопротивления в ходе динамического эксперимента по длине колонки.
4. Вывод уравнений Арчи на основании данных по общей электропроводности сульфидных отходов, поровых растворов и сухого минерального скелета сульфидных отходов разной степени окисленности.
5. Выявление водорастворимых и подвижных форм металлов Fe, Cu, Zn, Ni, Mo, Au, Ag и металлоидов As, Sb, Se в системе вода – отходы в различных физико-химических обстановках. Планируется провести ступенчатое выщелачивание вещества отходов флотации и цианирования с различными соотношениями кислотопродуцирующего / кислотонейтрализующего потенциалов, определить формы металлов и металлоидов в широком диапазоне pH, Eh и минерализаций. Построение расчетных термодинамических моделей водного переноса

химических элементов в районах складирования отходов горнорудного производства. 6. Разработка методики оценки потенциальной опасности сульфидных отходов на основе данных о составе вещества, результатов экспериментов по взаимодействию «вода - отходы», расчетных данных кислотопродуцирующего / кислотонейтрализующего потенциалов и результатов геофизических методов исследования. 7. Разработка рекомендаций по извлечению металлов (Cu, Zn, Ag, Au) из отходов и дренажных потоков при помощи электрохимических методов на основе результатов лабораторных и полевых экспериментов. Планируется, что применение методов электролиза и цементации аналогично запатентованному ранее методу (Саева, Юркевич и др., 2012) позволит выявить оптимальные условия для иммобилизации токсикантов (As, Tl, Hg) и извлечения полезных компонентов (Cu, Zn, Pb, Ag, Au). 8. Экономический расчёт экологического ущерба и рентабельности вторичной переработки отходов с извлечением полезных компонентов.

В результате проведенных теоретических, лабораторных и экспериментальных работ получены следующие результаты:

На примере хвостохранилищ отходов, расположенных в Забайкальском крае в зоне ММП, показано интенсивное преобразование техногенных песков вследствие криогенного гипергенеза, идёт активный вынос вещества, загрязнение поверхностных и грунтовых вод элементами первого класса опасности (As, Tl, Be). Одним из каналов выноса, подтвержденных электротомографией, является разломная зона. Гидрохимические аномалии по рудным металлам (Mo, Cu, Zn, Cd), металлоидам (As, Sb) и цианидным анионам регистрируются на расстоянии более 10 км от мест складирования отходов.

Термодинамическое моделирование показало, что металлы, в том числе 1-го класса опасности таллий, мигрируют в техногенных водных потоках преимущественно в биодоступной свободно катионной форме. Подвижность благородных металлов в природных водотоках обеспечивается комплексообразованием с цианидными лигандами в случае с серебром и гироксокомплексами – для золота.

Разработана технология, которая позволила на примере Комсомольского хвостохранилища оценить массу накопленных хвостов - около 3 млн. тонн. Ресурсы ценных и потенциально токсичных элементов в хвостах составили (средние значения, тонн): 9100 As, 7600 Sb, 4300 Cu, 1900 Zn, 48 In, 42 Sn, 20 Cd, 10 Ag, 1.2 Au. При рыночной цене золота 2300 рублей за 1 гр. (курс Центробанка на 18.02.2017), стоимость складированного в хвостах металла составит около 2.7 млрд. рублей. Присутствие же 9100 тонн мышьяка, элемента 1-го класса опасности, обуславливают экологические риски от размещения хвостохранилища на территории поселка в непосредственной близости от жилой зоны.

Разработана методика расчета экологического ущерба от загрязнения водных ресурсов, по экономическим оценкам в результате стока загрязнённых вод с Комсомольского хвостохранилища в р. Воскресенка, ежегодный ущерб составляет 53.682 млн руб. Подобная же методика позволила рассчитать ущербы для отходов Беловского цинкового завода и Белоключевского отвала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что полезные компоненты (Zn, Cu, Ag, Au, In, Sn) в составе изучаемых отходов находятся в высоких концентрациях сопоставимых с рудными. Их добыча существенно минимизирует стоимость работы по устранению экологического ущерба.

На примере внешне благополучных, нейтральных гидроотвалов Салагаевский Лог (г. Салаир Кемеровской области) и Комсомольское показано, что концентрации As и металлов в растворах остаются на том же уровне, что и 30 лет назад. Продолжаются процессы гипергенного преобразования вещества: окисление, выщелачивание, просачивание

дренажных растворов в горизонт подземных вод, миграция токсикантов на значительные расстояния.

Разработана концепция бережного обращения с геотехногенными системами, включающая: 1) диагностику состава (расчет запасов ценных компонентов, оценка опасности) с помощью авторской геофизико-геохимической методики, 2) переработку (бактериальное выщелачивание, кучное выщелачивание, электролиз), 3) диагностику и разделение вновь образованных отходов переработки, захоронение их на специальных геомембранах, 4) получение и реализация металла, попутных ценных продуктов (например, барита), 5) рекультивацию территории, восстановление прудов отстойников с реагентной загрузкой по пути следования дренажа. В качестве эффективных осадителей в зависимости от кислотности среды рекомендованы NaOH, Na₂S, Ca(OH)₂, Fe₂(SO₄)₃, рассчитаны их оптимальные количества для выведения As и Sb из растворов, б) мониторинг зоны ремедиации, прогноз опасности и экологического ущерба после рекультивационных мер.

Работа была выполнена в установленный срок в соответствии с требованиями гранта.

Проект Разработка комплексного метода малоглубинной сейсморазведки по данным преломленных, отраженных и поверхностных волн (МК-7778.2016.5, срок действия 2016-2017 гг., руководитель – к.ф.-м.н. Сердюков А.С.)

В проекте проводились исследования, направленные на решение проблемы повышения эффективности определения строения и свойств верхней части геологического разреза (ВЧР) глубиной до 100м., путем совместного использования данных объемных и по-верхностных сейсмических волн. Рассматривались две группы методов. Первая группа - это подходы, основанные на обработке данных (как правило времен пробега) объемных волн: метод преломленных волн (МПВ) и метод сейсмической томографии на рефрагированных волнах. Вторая группа алгоритмов основана на обработке данных поверхностных волн. Был разработан и реализован новый алгоритм на основе комбинирования новой модификации метода полей времен пробега (МПВ) в неоднородных средах (с использованием численного решения уравнения эйконала) и метода сейсмической томографии. Исследовался метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW). На основе проведения серии экспериментов с использованием синтетических данных было показано, что результаты восстановления свойств ВЧР существенно зависят от выбора начального приближения – при неправильном выборе «стартовой» модели получаются недостоверные результаты. Предлагается способ построения стартовой модели, обеспечивающий сходимость решения. Другой проблемой MASW является выделение дисперсионных кривых из зашумленных сейсмограмм. Была предложена и опробована на реальных данных методика улучшения результатов спектрального анализа, основанная на применении гладких оконных преобразований. Реализация MASW была неоднократно испытана при обработке реальных данных. Результаты хорошо согласуются с результатами других исследований ВЧР на рассмотренных объектах. На основе разработанных методов была предложена методика комплексирования результатов, полученных на основе объемных и поверхностных волн, для решения задачи восстановления физико-механических свойств путем использования корреляционных зависимостей.

За отчетный период были получены следующие научные (научно-технические результаты):

1. Научно-исследовательская версия программного обеспечения для обработки данных поверхностных и объемных волн, предназначенная для исследования строения верхней части геологического разреза.

Созданное научно-исследовательское программное обеспечение (ПО) предназначено для обработки данных малоглубинной сейсморазведки. ПО реализовано в виде набора функций и процедур в пакете MATLAB. Для удобства пользователя создан графический интерфейс, позволяющий: редактировать сейсмограммы, работать с частотно-временными представлениями сейсмических сигналов, производить частотно-временную и f-k фильтрацию, автоматически или вручную производить пикирование времен первых вступлений объемных волн, строить дисперсионные кривые скоростей поверхностных волн, проводить построение и редактирование скоростных разрезов продольных и поперечных сейсмических волн. Так же в пакет встроены процедуры, позволяющие проводить моделирование процессов распространения как объемных, так и поверхностных волн, рассчитывать времена первых вступлений для произвольных неоднородных трехмерных моделей среды и строить дисперсионные кривые фазовых скоростей поверхностных волн Релея и Лява для горизонтально-однородных слоистых сред.

2. Новый метод автоматического определения фазовых скоростей поверхностных волн в горизонтально-неоднородных средах.

На основе анализа известных теоретических результатов, посвященных распространению поверхностных волн в горизонтально-неоднородных средах предложен двухэтапный метод пространственно-временного спектрального анализа, позволяющий исследовать атрибуты (групповые и фазовые скорости, лучевые траектории, поглощение) нестационарных поверхностно-волновых пакетов на основе данных многоканальных сейсмических наблюдений. На первом этапе рассматриваются частотно-временные представления сейсмических записей. Для каждой временной частоты выделяется пакет поверхностных волн. Таким образом удается восстановить траектории пространственно-временных лучевых траекторий вдоль которых происходит распространение отдельных мод нестационарных поверхностных волн. На втором этапе происходит дальнейший спектральный анализ уже с использованием найденных лучевых траекторий с целью восстановления фазовых скоростей поверхностных волн, необходимых для последующей процедуры инверсии, направленной на определение скоростного разреза поперечных сейсмических волн. Разработанный метод реализован в виде научно-исследовательской версии ПО и опробован как на синтетических, так и на реальных данных.

3. Результаты апробации и тестирования разработанных в проекте методов и ПО, обработка реальных и синтетических данных сейсморазведки.

Был выполнен большой объем работ по тестированию и апробации разработанных методов и ПО, а именно: расчет и обработка синтетических данных для случая многослойной горизонтально-слоистой модели среды с монотонно возрастающей скоростью с глубиной; расчет и обработка синтетических данных для горизонтально-слоистой модели среды с низкоскоростным слоем, перекрытым и подстилаемым высокоскоростными слоями; обработка данных малоглубинной сейсморазведки, полученных в ходе опытно-методических работ на сейсмическом полигоне близи п. Быстровка, Новосибирская область; обработка данных малоглубинной сейсморазведки,

полученных при исследовании бугра пучения карстового типа близи п. Кош-Агач, Республика Алтай; обработка данных малоглубинной сейсморазведки, полученных при исследовании активного оползня вблизи п. Чаган-Узун, Республика Алтай. На основе анализа полученных результатов были сделаны выводы о применимости и достоверности разработанных подходов в различных условиях, а также устранены недостатки и улучшен пользовательский графический интерфейс разработанного научно-исследовательского ПО. В целях исследования возможности патентования разработанных методов и подходов были проведены патентные исследования.

Работа была выполнена в установленный срок в соответствии с требованиями гранта.