

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОГРАММЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

FWZZ-2022-0001 Тектоническая эволюция и геодинамическая типизация складчато-покровных и платформенных систем Сибири и арктической окраины в докембрии - фанерозе

Рук. академик РАН В.А. Верниковский

На основе комплексного анализа геолого-геофизических данных создана магнитотектоническая реконструкция, описывающая эволюцию террейнов Верхояно-Чукотской области и прилегающего шельфа Восточной Арктики в раннем палеозое. Показана возможность миграции бентосной фауны между Сибирской и Лаврентийской провинциями, обоснована палеогеография связывающего их эпиконтинентального морского бассейна, преобладающий трансформный тектонический режим и кинематика дрейфа составных элементов.

С использованием авторской палеомагнитной основы восстановлена архитектура Новосибирско-Чукотско-Аляскинской карбонатной платформы – крупного эпиконтинентального бассейна, объединявшего верхоянскую окраину Сибирского и канадскую окраину Лаврентийского палеоконтинентов в раннем палеозое. Ее каркас образуют террейны Восточно-Арктической, Колымо-Омолонской и Чукотско-Аляскинской провинций. Отличительной чертой является доказательство трансформного режима реорганизации структуры платформы, отсутствия барьеров для расселения бентосной фауны и объяснение наличия в разрезах сибирского происхождения нехарактерных для них источников сноса.

Metelkin D.V., Chernova A.I., Matushkin N.Yu., Vernikovskiy V.A. Early paleozoic tectonics and paleogeography of the Eastern Arctic and Siberia: Review of paleomagnetic and geologic data for the De Long Islands // Earth-Science Reviews, 2022, 231, 104102, doi: 10.1016/j.earscirev.2022.104102

FWZZ-2022-0002 Периодизация геологической истории Земли в протерозое и на рубеже с фанерозоем, хронология биотических и абиотических (гляциальных, изотопных, аноксических, тектонических) событий

Рук. д.г.-м.н. Д.В. Гражданкин

Результаты изучения гляциальных, изотопных, аноксических, тектонических и биотических событий Сибири уточняют периодизацию геологической истории Земли в протерозое

В Восточном Присяянье обнаружено мощное геологическое тело, целиком сложенное переотложенными конкрециями, – первый такой случай для протерозоя, позволяющий формулировать новые гипотезы об эволюции седиментогенеза в докембрии. На Оленекском поднятии выявлено новое эвксинное событие с возрастом 550 млн. лет, которое носит глобальный характер. Показано, что первые в истории Земли животные были устойчивы к кратковременным периодам аноксии и обладали способностью вести факультативный анаэробный образ жизни. Новые животные с возрастом в 530 млн. лет с трехсторонней пирамидальной раковинкой, обнаруженные на Оленекском поднятии, подвергают сомнению гипотезу о массовом вымирании в конце венда. Системы ископаемых сложных открытых нор, впервые обнаруженные на Игарском поднятии, свидетельствуют о колонизации роющими животными морских карбонатных обстановок осадконакопления еще в позднем венде (540 млн. лет назад). На основании новых

геохимических, палеонтологических, изотопно-геохимических и геохронологических данных разработана новая стратиграфическая схема докембрия Игарского поднятия, обнаружен древний (с возрастом около 750–700 млн лет) рифтогенный прогиб, заполненный вулканогенно-осадочными отложениями, а в венде выявлена крупная положительная С-изотопная аномалия, при этом граница венда и кембрия имеет сложный характер и не связана с границами свит.

Marusin V.V., Kochnev, B.B., Izokh, O.P. Thalassinoides and Olenichnus in the Terreneuvian carbonates of the Igarka Uplift (NW Siberian Platform) // Lethaia. 2022. V. 55 (2). P. 1–17.

Kochnev B.B., Khudoley A.K., Priyatkina N.S., Dufrane S.A., Pokrovsky B.G., Kuznetsov A.B., Kaurova O.K., Marusin V.V. Neoproterozoic evolution of the northwestern margin of the Siberian Platform // Precambrian Research. 2022. V. 382. Article 106877.

Sarsembaev Z.A., Marusin V.V. Non-mineralized triradial conulariids from the lowermost Cambrian Stage 2 of the Olenek Uplift, Siberian Platform // Journal of Paleontology. V. 96 (4). P. 791–802.

Cherry L.B., Gilleaudeau G.J., Grazhdankin D.V., Romaniello S.J., Martin A.J., Kaufman A.J. A diverse Ediacara assemblage survived under low-oxygen conditions // Nature Communications. 2022. V. 13. Article 7306.

Aleksandrov D. The origin of boulders in the Neoproterozoic of Eastern Sayan Ranges, Southwest Siberia: glacial transport vs winnowed nodules // Depositional Record. 2022. V. 8 (2). P. 869–879.

FWZZ-2022-0003 Закономерности глобальных и региональных эволюционных изменений палеозойских осадочных бассейнов Сибири и Арктических зоны России в различных геодинамических и климатических обстановках; состав населявших их пелагических и бентосных палеобиот; палеогеографическое распространение фаунистических комплексов в разнофациальных отложениях; региональные стратиграфические схемы

Рук. д.г.-м.н. Н.В. Сенников, д.г.-м.н. Коровников И.В.

Результат – «Геологическая история раннекаменноугольного бассейна Северного Хараулаха (Западное Верхоянье)»

Установлен генезис относительно глубоководных псефито-псаммитовых образований нижнекаменноугольных крестяхских конгломератов — средне-дальнемагистральная транспортировка по подводным каньонам из инициального прибрежного мелководного участка накопления. Перенос материала осуществлялся импульсами за счет деятельности суспензионных потоков в конечный относительно глубоководный участок седиментации. Наиболее вероятным материнским источником масштабного образования карбонатного обломочного материала крестяхских конгломератов являлись ордовикские, силурийские и девонские преимущественно карбонатные осадочные образования, аналоги которых известны на о. Котельный. В Северном Хараулахе, в слагающих его осадочных образованиях, наблюдаются феномены проявления двух геологических событий: а) средневизейского раскола перикратонной окраины Сибирского палеоконтинента и отрыва террейнов от этого кратона; б) поздневизейская коллизия Карского террейна с северной окраиной Сибирского палеоконтинента.

Краткое описание

При использовании литологического, фациального, палеонтологического, биостратиграфического и палеозоогеографического методов анализа верхнепалеозойских

материалов Северного Хараулаха, установлено, что источником аллохтонного ордовикско-силурийского карбонатного материала в псефито-псаммитовой визейской толще крестяхских конгломератов был «Палеодельтоленский» сильно расчлененный, приподнятый участок суши — «останец» оторванного от Сибирского кратона блока. Там формировался инициальный бассейн седиментации — фан горных рек в мелководной прибрежной зоне моря (River fan). Транзит карбонатного аллохтонного псефито-псаммитового материала в Северо-Хараулахский визейский бассейн был средне-дальнемагистральным из промежуточного палеобассейна вблизи «Палеодельтоленской» суши в сторону эпицентра конечного палеобассейна осадконакопления на участке современной дельты Лены.

Раннекаменноугольный бассейн в районе южнее современного о. Котельный (Новосибирские острова) и севернее дельты Лены был средне-мелководно-шельфовым — транзитным для масштабного перемещения обломочного материала в более южный (в современных координатах) конечный бассейн седиментации.

В Северном Хараулахе, в слагающих его осадочных образованиях, наблюдаются следы средневизейского раскола перикратонной окраины Сибирского палеоконтинента и следы поздневизейской коллизии Карского террейна и северной окраины этого палеоконтинента.

Базальным стратонам верхоянского верхнепалеозойско-нижнемезозойского терригенного осадочного комплекса является тиксинская свита. Ранее к этому элементу относились крестяхские конгломераты.

Ссылка на опубликованные материалы

Сенников Н.В., Хабибулина Р.А., Обут О.Т., Гонта Т.В. Литологические индикаторы проявлений раннекаменноугольных геологических событий на северо-восточной окраине Сибирской платформы (Западное Верхоянье) // Геология и геофизика, 2022, том 63, № 4, с. 498-521.

FWZZ-2022-0004 Биохорологические и ландшафтно-экологические закономерности изменения биоразнообразия в Северной Азии и за ее пределами в мезозое–кайнозое и реперные уровни внутри- и межрегиональных корреляций

Рук. чл.-корр. РАН. Б.Н. Шурыгин, д.г.-м.н. О.С. Дзюба

ЦИРКУМ-АРКТИЧЕСКИЕ ПАЛИНОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ ЮРЫ

В рамках международного проекта “Circum-Arctic Palynological Events” на основе тщательного анализа литературных данных по распределению цист динофлагеллат в бореальных районах России установлены основные биособытия по этой группе водорослей, которые сопоставлены с таковыми на Аляске, в Арктической Канаде, в норвежском секторе Баренцева моря и Гренландии. Большинство из них скоррелированы с биостратонами по известковым наннофоссилиям и аммонитам. В целом в юре установлено 214 палиностратиграфических событий, из которых 118 – это первое появление и 96 – последнее появление таксонов спор, пыльцы и диноцист, имеющих широкое стратиграфическое значение.

Bujak J., Bringue M., Goryacheva A.A., Lebedeva N.K., Pestchevitskaya E.B., Riding J.B., Smelror M. Jurassic palynoevents in the circum-Arctic region // Atlantic Geoscience – том 58 – С. 55-98 – 2022 (WoS, Scopus).

FWZZ-2022-0005 Позднепалеозойские, мезозойские и кайнозойские морские и континентальные микробиоты бореальных и арктических бассейнов: динамика биоразнообразия и микробиотические кризисы, высокоразрешающая эко- и биостратиграфия

Рук. чл.-корр. РАН д.г.-м.н. Б.Л. Никитенко

Высокоразрешающая стратиграфия, палеобстановки и геохимия мезозоя Лаптевоморского региона (Сибирская Арктика)

Усовершенствовано и детализировано стратиграфическое расчленение триаса о. Котельный. Для триаса восточных районов лаптевоморского шельфа и прилегающей суши разработано фациальное районирование. Доказано, что триасовые разрезы о. Котельный и на севере Сибирской платформы имеют отчетливую связь платформенных типов разреза, представленную закономерной сменой фациальных обстановок с юга на север. Анализ строения фанерозойских разрезов позволяет рассматривать их в составе промежуточного структурного этажа Лаптевоморской плиты на периферии Сибирского кратона, в палеогеографическом плане являющегося продолжением осадочного чехла Сибирской платформы.

Обоснована стратиграфическая непрерывность разрезов юры и мела юга Анабарского района, несмотря на многочисленные перемычные границы. Это позволило пересмотреть стратиграфические схемы района. Установлено несколько рубежей в истории формирования бат-берриасской толщи, на которых происходила смена вещественного состава и зафиксированы последовательные изменения в составе питающих провинций. Полученная кривая вариаций $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$ практически идентична по трендам развития с таковой из разрезов о. Скай, Шотландия. Седиментологические и биофациальные характеристики позволяют предполагать, что ОВ накапливалось в прибрежно-морских субокислительных обстановках, неблагоприятных для его концентрирования и сохранности в диагенезе.

Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Константинов А.Г., Соболев Е.С., Ядренкин А.В., Пещевицкая Е.Б., Лебедева Н.К., Горячева А.А. Триас архипелага Новосибирские острова и его положение в структуре осадочного чехла Лаптевоморского шельфа // Геол. и геофиз. – том 63 – № 4 – С. 458-475 – 2022; DOI: 10.15372/GiG2021166; IF 1, 134

Константинов А.Г., Соболев Е.С., Ядренкин А.В., Никитенко Б.Л., Пещевицкая Е.Б., Лебедева Н.К., Горячева А.А., Девятков В.П. Детальная биостратиграфия триаса о-ва Котельный (архипелаг Новосибирские о-ва, арктическая Сибирь) // Геол. и геофиз. – том 63 – № 4 – С. 476-497 – 2022; DOI: 10.15372/GiG2021171; IF 1, 134

Никитенко Б.Л., Девятков В.П., Пещевицкая Е.Б., Попов А.Ю., Фурсенко Е.А., Хафаева С.Н. Стратиграфия, литология и геохимия прибрежных и мелководно-морских разрезов верхов средней юры-низов мела р. Анабар (Арктическая Сибирь) // Геол. и геофиз. – том 63 – № 5 – С. 673-708 – 2022; DOI: 10.15372/GiG2020189; IF 1, 134

Пещевицкая Е.Б., Никитенко Б.Л., Попов А.Ю. Реконструкции палеобстановок в разрезе на р. Анабар (бат – бореальный берриас, север Сибири) по литологии, фораминиферам и палиноморфам // Геол. и мин.-сырьев. ресурсы Сибири - №11с – с.29-35 – 2022; DOI 10.20403/2078-0575-2022-11с-29-35; SJR 0.24.

Попов А.Ю., Вакуленко Л.Г., Никитенко Б.Л. Петрографические и литогеохимические особенности верхов средней юры-низов нижнего мела нижнего течения реки Анабар (Восточная Сибирь, Арктика) // Геол. и геофиз. – том 63 – № 9 – С. 1233-1252 – 2022; DOI: 10.15372/GiG2021142; IF 1, 134

FWZZ-2022-0007 Цифровая модель Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, седиментогенез и литостратиграфия, закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений, детализированная количественная оценка ресурсов углеводородов в традиционных и нетрадиционных скоплениях, как основа прогноза развития нефтегазового комплекса

Рук. чл.-корр. РАН. Бурштейн Л.М., к.г.-м.н. Ян П.А.

Закономерности размещения залежей углеводородов в пластах малышевского горизонта (средняя юра, Западная Сибирь)

На основе новейших результатов региональных исследований установлен структурный и фациальный контроль распространения залежей, их распределение по типам ловушек, приуроченность к определенным интервалам разреза батского резервуара в различных районах провинции, изменение в них фазового состояния углеводородов и термобарических условий, а также физико-химических свойств флюидов. Выявленные особенности размещения залежей углеводородов позволяют выполнять обоснованный прогноз новых скоплений углеводородов в продуктивных горизонтах Ю4, Ю3 и Ю2 в пределах перспективных зон нефте- и газонакопления.

Казаненков В.А. Закономерности размещения залежей углеводородов в пластах малышевского горизонта (средняя юра, Западная Сибирь) / В.А. Казаненков // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022. – № 11с. – С. 56-63

FWZZ-2022-0008 Цифровые геолого-геофизические модели Лено-Тунгусской и Лено-Вилуйской нефтегазоносных провинций, анализ закономерностей размещения нефтяных и газовых месторождений, оценка перспектив нефтегазоносности в основных продуктивных комплексах верхнего протерозоя и фанерозоя, включая карбонатные горизонты венда и кембрия с трудноизвлекаемыми ресурсами, изучение влияния интрузий траппов на нефтегазоносность

Рук. к.г.-м.н. Губин И.А.

Цифровые геолого-геофизические модели осадочных комплексов на территории центральных и южных районов республики Саха (Якутия)

Проведены сбор и интерпретация материалов сейсморазведочных работ МОГТ, глубокого бурения, выполненных за счет средств Федерального бюджета на территории девяти нефтегазоносных областей центральных и южных районов Республики Саха (Якутия) в 2000-2021 гг., созданы цифровые геолого-геофизические модели региональных осадочных комплексов.

На основе новейших геолого-геофизических материалов построены региональные структурные карты по поверхностям фундамента, рифея, терригенного комплекса венда, нижнего-среднего кембрия (иниканская, куонамская свиты и их аналоги), перми, по основаниям нижней юры (сунтарская свита) и мела на всю территорию Республики Саха (Якутии).

В осадочном чехле выделены и описаны нефтегазовые системы, флюидоупоры, резервуары, дана углубленная геохимическая характеристика нефтегазопроизводящих пород рифея, кембрия и перми. Построены новые версии схем тектонического и нефтегазогеологического районирования осадочного чехла, выполнена оценка ресурсов нефти и газа, в частности, впервые выполнена оценка ресурсов углеводородов кембрия под верхнепалеозойско-мезозойским осадочным чехлом Вилуйской гемисинеклизы.

Выполненные работы являются научной основой для проектирования геологоразведочных работ и лицензирования недр, развития нефтегазового комплекса Дальнего Востока,

газификации территории Республики Саха (Якутия) и Амурской области, формирования на востоке России нефтегазоперерабатывающей, нефтегазохимической и гелиевой промышленности.

Фомин А.М., Губин И.А., Моисеев С.А., Конторович А.Э. Современное состояние геолого-геофизической изученности центральных и южных районов республики Саха (Якутия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2022, № 11с. – С. 43-48.

Фомин А.М., Константинова Л.Н., Губин И.А., Моисеев С.А. Результаты корреляции протерозойско-фанерозойских разрезов глубоких скважин и нефтегазоносные комплексы Алдано-Майской потенциально нефтегазоносной области // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2022, Т. 17. - № 3. – С. 1-20. - http://www.ngtp.ru/rub/2022/29_2022.html

Константинова Л.Н., Губин И.А., Моисеев С.А., Абдулин М.И. Перспективы нефтегазоносности рифея Алдано-Майской нефтегазоносной области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2022, № 11с. – С. 49-55.

FWZZ-2022-0009 Цифровые геолого-геофизические модели и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов Арктической зоны Сибири и республики Саха (Якутия); усовершенствование геолого-геофизических методов исследований

Рук. чл.-корр. РАН. Конторович В.А.

Сейсмогеологические критерии выявления газовых залежей и перспективных объектов в меловых отложениях севера Западной Сибири (2022 г.)

На севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции массивные сеноманские газовые залежи локализованы в горизонте ПК1 (Дл-I-III), залегающем под туронским региональным флюидоупором, и контролируются антиклинальными ловушками. Высокоамплитудные залежи ($A > 50$ м) отображаются в волновых сейсмических полях формированием на газоводяных контактах энергетически выраженных отражений и падением амплитудных характеристик приуроченного к кровле сеномана отражающего горизонта Г; залежи, контролируемые малоамплитудными поднятиями ($A < 50$ м), характеризуются резким увеличением энергии волновых полей в интервале горизонта Г и формированием сейсмической аномалии «яркого пятна». Перспективные для формирования коллекторов шельфового генезиса в неокомских песчаных пластах подписского резервуара Гыданнской НГО являются зоны повышенных амплитудно-энергетических характеристик сейсмической записи.

Полученные результаты могут быть использованы для планирования, проведения и повышения эффективности геологоразведочных нефтепоисковых работ как на уровне Федеральных проектов, так и в рамках программ ведущих Российских нефтегазовых компаний.

Разработанные программные комплексы являются импортозамещающими, не уступают зарубежным аналогам и могут быть использованы на всех этапах геологоразведочного процесса.

Конторович В.А., Аюнова Д.В. Сеноманские газовые залежи Медвежьего и Ванкорского месторождений, сейсмогеологические критерии газоносности // Бурение и нефть – № 10 – С. 25-33 – 2022.

Конторович В.А., Торопова Т.Н., Щербаненко В.М. Модель геологического строения и перспективы нефтегазоносности неокомских отложений Гыданской НГО; подпимская региональная клиноформа // // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2022. - Т.17. - №4.

FWZZ-2022-0012 Цифровые геолого-геофизические и петрофизические модели осадочных комплексов с трудноизвлекаемыми запасами нефти в Западной и Восточной Сибири как резерв для прироста запасов и добычи

Рук. к.г.-м.н. Фомин М.А.

В результате моделирования тепловой истории куонамской нефтегазопроизводящей толщи (НГПТ) на территории Курейской синеклизы в период с конца ордовика по начало перми установлено формирование двух очагов нефтегазообразования – Туринского и Ламско-Хантайского. В периферийных частях Туринского очага к завершению дотраппового периода куонамская НГПТ находилась в главной зоне нефтеобразования и пермско-триасовый магматизм мог привести к новой интенсификации образования углеводородов (УВ). В центральной части Туринского очага к началу перми генерационный потенциал толщи был полностью реализован. В Ламско-Хантайском очаге к началу перми органическое вещество куонамской НГПТ достигла максимума интенсивности генерации, что так же повышает вероятность влияния траппового магматизма на реализацию углеводородного потенциала указанной толщи на этой территории. Суммарная масса сгенерированных двумя очагами УВ составляет 570 млрд. т. условных УВ, масса аккумулированных УВ на конец предтраппового периода предположительно составляет 6-60 млрд. т. УУВ.

Фомин М.А., Костырева Е.А., Рыжкова С.В., Саитов Р.М., Сотнич И.С., Эдер В.Г. Прогноз литологического состава баженовской свиты на основе комплексной интерпретации геологических и геофизических материалов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – том 333. – № 1. – С. 154-167.

Мельник Д.С. Новые находки биodeградированных нефтидов в породах хатыспытской свиты венда Оленекского поднятия // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022. – № 2. – С. 48-56.

Рыжкова С.В., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Сотнич И.С., Фомин М.А., Эдер В.Г. Характеристика продуктивного интервала баженовской свиты в юго-восточных районах Западной Сибири (на примере Западно-Квензерской площади) [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – №4.

Ярославцева Е.С., Буриштейн Л.М. Моделирование истории генерации углеводородов в куонамском комплекса Курейской синеклизы [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17. – №4.

Парфенова Т.М., Мельник Д.С., Коровников И.В. Геохимические предпосылки нефтеносности пород униканской свиты нижнего и среднего кембрия на юго-востоке Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022. – № 11. – С. 64-71.

FWZZ-2022-0013 Геолого-экономическое обоснование долгосрочной стратегии эффективного освоения нефтегазовых провинций Сибири и Арктической зоны России в условиях изменения структуры ресурсов и запасов нефти и газа, диверсификации мировых рынков энергоресурсов, приоритетов развития экономики России, глобальных социальных и экологических проблем.

Рук. д.э.н. Филимонова И.В.

Модели прогнозирования добычи традиционной и трудноизвлекаемой нефти с учётом параметров диверсификации мировых рынков энергоресурсов, экологических факторов и приоритетов развития экономики регионов России

Выполнена кластеризация добывающих регионов России по степени трудноизвлекаемости углеводородов и уровню инновационного развития. Выявлена устойчивая корреляция и показано, что низкий уровень диверсификации связей между секторами ограничивает развитие экономики регионов за счет эффектов перелива и синергии.

Построены и апробированы на практике две математические модели для прогнозирования добычи традиционной и сланцевой нефти. Модель добычи сланцевой нефти основана на дифференциальном уравнении с запаздывающим аргументом. Выделены 3 вида решений (режимов динамики добычи), которые могут возникать при различных сочетаниях параметров макро- и микросреды (цены, производительности буровых установок, лага добычи, эластичности спроса, скорости падения добычи).

Filimonova I.V., Komarova A.V., Nemov V.Y., Dzyuba Y.A., Chebotareva A.V. The Influence of the Resource Base on Innovation Development of Oil-Producing Regions of Russia // Geography and Natural Resources. – 2022. – 43. – № 1. – С.7-13

Filimonova I., Ivershin A., Provornaya I. Optimization of the Field Development Mode by the Criterion of Maximizing Economic Efficiency // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles, Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – 210. – С.1189-1198.

Филимонова И.В., Немов В.Ю., Проворная И.В., Мишенин М.В. Современные темпы и пропорции развития мирового рынка нефти // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2022. – № 1 (176). – С.69-77

FWZZ-2022-0014 Цифровые модели гидрогеологии и гидрогеохимии нефтегазоносных бассейнов Арктических и восточных территорий Сибири, включая Республику Саха (Якутия)

Рук. к.г.-м.н. Новиков Д.А.

Новые данные по изотопному составу рассолов Сибирской платформы

Получены новые данные по составу стабильных изотопов δD и $\delta^{18}O$ рассолов Сибирской платформы и растворенного в них неорганического углерода $\delta^{13}C$. Предполагается седиментационно-метаморфический генезис изученных вод. Их изотопный состав отражает климатические условия времени захоронения с вероятным вкладом изотопного обмена кислородом с водовмещающими породами. Значения отношения $\delta^{13}C$ растворенной в водах углекислоты позволяет сделать вывод о ее биогенном происхождении. Механизм биогенного изотопного обмена углерода определяется соотношением метаногенных и SMT-процессов. Проведенный анализ изотопных отношений $^{87}Rb/^{86}Sr$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$ исследованных рассолов показал, что воды кембрийских отложений соответствуют изотопному составу древнего океана.

Новиков Д.А., Ильин А.В., Каширцев В.А., Черных А.В., Пыряев А.Н., Дульцев Ф.Ф., Максимова А.А., Зуева И.Н., Чалая О.Н. Геохимия рассолов и нефтепроявлений кимберлитовой трубки Удачная (Сибирская платформа) // Геология и геофизика, 2022, Т.63, № 2, с. 197-218.;

Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Новиков Д.А., Максимова А.А. Роль траппового магматизма в изменении состава рассолов Сибирской платформы // Успехи органической геохимии: Материалы 2-й Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых, посв. 120-летию со дня рожд. чл.-корр. АН СССР Н.Б. Вассоевича и 95-летию со дня

FWZZ-2022-0015 Современное состояние гидрогеологических условий, рациональное освоение и сохранение ресурсов водоносных комплексов нефтегазодобывающих районов Западной Сибири

Рук. д.т.н. Плавник А.Г.

Представленные в отчете результаты представляют два основных направления исследований. Первое связано с анализом, обработкой и интерпретацией данных, накопленных за многолетний период мониторинговых исследований об изменении в процессе разведки и разработки месторождений углеводородов гидрогеохимических и геодинамических условий осадочного чехла Западно-Сибирского мегабассейна. Второе направление включает в себя проведение специализированных полевых исследований с отбором проб грунта и последующим анализом содержания в них широкого спектра компонентов, характеризующих природные закономерности миграции подземных флюидов, а также степень и особенности техногенного изменения окружающей среды на территории разрабатываемых месторождений.

Многолетние наблюдения за гидрогеохимическими условиями водоносных горизонтов верхнего гидрогеологического этажа являются основой для определения закономерностей и значимости влияния природных и техногенных факторов на природные объекты, расположенные в пределах активно разрабатываемых месторождений углеводородов. Большое количество данных, множественность исследуемых параметров, существенные различия в их количественных характеристиках и их вариативность плане и по разрезу отложений обусловлены наличием множества разномасштабных, зачастую разнонаправленных процессов, которые формируют наблюдаемые свойства подземных вод. На качественном уровне эти процессы хорошо изучены, однако применительно к конкретным условиям отдельных участков вызывают трудности вопросы оценки значимости их влияния.

В рамках изучения закономерностей формирования химического состава подземных вод атлым-новомихайловского водоносного горизонта в условиях разработки центральной части Самотлорского месторождения нефти впервые отработаны методические приемы по комплексированию гидрогеохимических показателей в отдельные группы и последующему приложению методов статистического (факторного) анализа накопленной гидрогеохимической информации за многолетний период наблюдений. Установлена связь выявленных факторов с известными природными процессами формирования состава подземных вод, в том числе на основе пространственного сопоставления количественных значений факторов и геоморфологических условий залегания водоносных отложений в точках наблюдений.

Для прогноза возможных объемов отбора подземных вод атлым-новомихайловского горизонта в северной части Шаимского нефтегазодобывающего района для технического водоснабжения предложен подход, который базируется на подтвержденной (сопоставлением керновых проб отложений и результатов интерпретации исследований методом гамма-гамма каротажа) методике прогноза глинистых пропластков. Установлена высокая корреляция расчетных показателей, характеризующих песчаность пласта и песчаность каптируемого интервала с удельным дебитом скважины и водопродимостью коллектора. На этой основе определены зоны в пределах рассматриваемого района с наибольшей прогнозной производительностью водозаборных скважин.

Созданный на Ямбургском нефтегазоконденсатном месторождении геодинамический полигон позволяет отслеживать как горизонтальные, так и вертикальные сдвигения. По

результатам геодинимического мониторинга с использованием спутниковых и геодезических наблюдений за 2015 - 2021 гг. получены новые данные об изменении рельефа земной поверхности. Определены количественные значения максимальных показателей: горизонтальное сдвигение - 58мм, величина оседания - 28мм, положительная деформация - 31мм.

По результатам построения карт вертикальных сдвижений по нивелированию и спутниковым наблюдениям установлено, что они синхронно указывают на формирование локальной зоны оседания земной поверхности в центральной части месторождения. Прослежена взаимосвязь по выявленной локальной зоне оседания в центральной части месторождения с динамикой падения пластовых давлений и величиной отбора конденсата (газа) по геолого-промысловым показателям разработки.

Установлено, что относительные значения вертикальных и горизонтальных деформаций, даже в зонах максимальных сдвижений, меньше допустимых и предельных по нормативным документам. Построена карта современной геодинимической обстановки с выделением участков возможного проявления опасных геодинимических процессов, которые определены в узлах пересечений зон проекций локальных тектонических нарушений.

Большой объем новых результатов по оценке остаточного загрязнения на буровых площадках Ростовцевского месторождения получен по материалам анализа 250 образцов фоновых и антропогенно измененных почв, отобранных с двух почвенных горизонтов (5-10 и 10-20 см) в зонах. Выполнено определение следующих показателей: рН водной вытяжки, нитрат-ион, фосфат-ион, хлорид-ион, сульфат-ион, аммоний обменный, нефтепродукты, фенолы летучие, анионные поверхностно-активные вещества, валовые формы меди, свинца, цинка, марганца, никеля, хрома, мышьяка, кадмия, бария и ртути.

Установлено, что в значениях показателей в верхнем и нижнем горизонтах фоновых проб отмечаются значимые различия, сформированных в результате естественных процессов аккумуляции под действием геохимических барьеров. Однако при антропогенном загрязнении территории действие этих процессов нивелируется и между распределениями в верхнем и нижнем горизонтах устанавливается сильная корреляционная связь практически для всех показателей.

Полученные новые данные свидетельствуют о том, что почвы загрязнены нефтепродуктами, сульфатами, барием, цинком и фенолами. Множественные превышения ПДК установлены только для цинка и мышьяка, причем для обоих элементов высокие концентрации отмечены и в фоновых пробах, что можно считать особенностью региона. Основной вклад в суммарный показатель загрязнения вносят нефтепродукты. По суммарному показателю загрязнения, рассчитанному только по коэффициентам концентрации металлов, выявлено многокомпонентное загрязнение почвенного покрова преимущественно соединениями бария, свинца и хрома.

Важные новые данные, характеризующие вертикальную миграцию подземных флюидов в зонах многолетнемерзлых пород, получены по результатам колонкового бурения 11 колонковых скважин, с отбором 437 проб керна с интервалом 0,8 — 1м. В отобранных пробах проведено определение углеводородных компонентов от C1 до C8, а также не углеводородных газов: водорода, углекислого газа и гелия.

В результате исследования впервые получены детальные закономерности изменения содержания рассматриваемых компонентов по глубине и в сопоставлении с литологическим разрезом отложений. Установлено, что в пределах одного литологического слоя на разных глубинах в разных скважинах наблюдается похожее распределение метана, его гомологов, олефинов и водорода. Отмечается тенденция к падению значений ближе к границе литологических разностей

Вашурина М.В. Изучение закономерностей формирования химического состава подземных вод атлым-новомихайловского водоносного горизонта в условиях разработки

центральной части Саянского месторождения нефти методом главных компонент / М.В. Ващурина, Ю.О. Русакова, А.Л. Храмцова, Р.И. Тимшанов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений – № 3(363) – С. 66-72 – 2022

Русакова Ю.О. Применение данных геофизических исследований для прогноза производительности водозаборных скважин в северной части Шаимского нефтегазодобывающего района / Ю.О. Русакова, А.Г. Плавник, А.Л. Ковяткина // Известия ВУЗов. Нефть и газ. – 2022. – № 4. – С. 41–56

Тимшанов Р.И. Оценка остаточного загрязнения на буровых площадках Ростовцевского месторождения / Р.И. Тимшанов, Р.А. Колесников, Е.Н. Моргун и др. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 200–213

Васильев Ю.В. Анализ и интерпретация результатов маркшейдерско-геодезических наблюдений на геодинамическом полигоне Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения / Ю.В. Васильев, Д.П. Иноземцев, О.В. Волков, С.С. Семенов // Маркшейдерский вестник. – 2022. – №3(148). – С. 61-71.

Науменко В.О. Корреляция углеводородных и неуглеводородных компонентов рассеянного газа в криолитозоне Западной Сибири / В.О. Науменко, М.Д. Заватский, А.Ю. Белоносов и др. // Chemical Bulletin. – 2022. – Том 5. – №2. – С.53-66

Kraev G. Fluid Migration through Permafrost and the Pool of Greenhouse Gases in Frozen Soils of an Oil and Gas Field / G. Kraev, A. Belonosov, A. Veremeeva и др. // Remote Sensing. – 2022. – 14. – 3662

FWZZ-2022-0016 Цифровые гидрогеологические и гидрогеохимические модели нефтегазоносных бассейнов центральных и южных территорий Западной Сибири

Рук. д.г.-м.н. Лепкурова О.Е.

Оценка применимости геохимических геотермометров для пластовых вод томской области

Впервые рассчитаны различные варианты химических геотермометров (эмпирические или расчетные выражения, связывающие пластовые температуры и соотношение концентраций некоторых компонентов химического состава вод, чувствительные к температурным условиям) по имеющейся базе данных химического состава пластовых вод Томской области (более 3 000 проб воды). Показано, что классические геотермометры (Si, Na-K, Na-K-Ca, K-Mg) в нефтяных водах осадочных бассейнов (т.е. в условиях более высоких давлений и солености вод и более низких температур, в отличие от геотермальных областей) не работают, плохо коррелируют с реально полученными данными глубинных термометров. Рекомендованы для использования Mg-Li и Na-Li геотермометры, а также Na-K-Ca геотермометр с корректировкой по Mg (рис. 1). Благодаря этим геотермометрам заполнены пробелы в базе данных по 650 отсутствующим температурам. Делается вывод о необходимости в дальнейшем дорабатывать геотермометры для пластовых вод нефтяных месторождений с учетом более современных и точных данных. В качестве практического результата данной работы указывается о возможности использования полученных температур при расчетах равновесий в системе вода-порода и других расчетах.

Лепкурова О.Е., Трифионов Н.С. Оценка применимости геохимических геотермометров для пластовых вод Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т.335. – №12.

FWZZ-2022-0017 Сейсмические методы для изучения разномасштабных геологических процессов

Рук. чл.-корр. РАН Кулаков И.Ю., к.ф.-м.н. Дучков А.А.

Алгоритм построения модели поверхностных волн в сейсмических данных имеет практическую значимость при обработке данных разведочной и инженерной сейсморазведки. Во-первых, процедура подавления поверхностных волн в сейсмограммах является одной из важнейших процедур шумоподавления в графе обработки данных наземной сейсморазведки. Во-вторых, модель поверхностных волн позволяет более качественно применять метод многоканального анализа поверхностных волн для построения скоростной модели верхней части разреза для поперечных волн.

Модифицированный алгоритм AVAZ-инверсии амплитуд отражённых продольных волн в данных площадной сейсморазведки имеет практическую значимость. Оценки параметров анизотропии помогают искать зоны упорядоченной трещиноватости целевых горизонтов на этапе интерпретации сейсмических данных.

Алгоритм оценки длиннопериодных статических поправок на основе метода факторной декомпозиции имеет практическую значимость. Процедура оценки и коррекции остаточных статических является важной процедурой в графе обработки данных сейсморазведки.

Таким образом, разработанные алгоритмы анализа сейсмических данных могут быть интегрированы в пакеты обработки сейсморазведочных данных, в том числе, в рамках импортозамещения ПО в области геологоразведки.

FWZZ-2022-0019 Механизмы воздействия природных и техногенных факторов на процессы в геосферах по результатам мониторинга естественных геофизических полей

Рук. к.г.-м.н. Дядьков П.Г., д.ф.-м.н. Тимофев В.Ю., к.ф.-м.н. Белинская А.Ю.

1. Выполнен обзор геотермических данных по основным геологическим структурам Алтае-Саянской области (на основании анализа неиспользованных ранее архивных материалов).
2. Получена карта границы Мохо для Горного Алтая. Мощность земной коры изменяется с северо-запада от 55°N на юго-восток до 49°N от 40 до 50 километров.
3. Проанализированы вариации параметров ионосферы в моменты активизации Солнца. Выявлен эффект всплеска амплитуды суточного хода критической частоты слоя F2 ионосферы над Новосибирском на восьмые сутки после этих событий, причиной которого могут быть значительные вариации интенсивности потоков космических лучей, вызывающих изменения термобарического режима атмосферы и приводящих к усилению циркуляции во всей ее толще вплоть до ионосферных высот.
4. По результатам ежегодных геомагнитных наблюдений в Байкальском и Алтайском регионах определена вековая вариация магнитного поля Земли для интервала 2004-2021 гг., которая сопоставлена с глобальными моделями IGRF и EMM. Получены оценки точности ее учета при проведении тектономагнитных исследований в этих регионах.

FWZZ-2022-0021 Региональные особенности структуры земной коры и верхов мантии платформенных и складчатых областей Сибири, их напряженно-деформированное состояние по данным сейсмологии, гравиметрии и геомеханики

Рук. к.г.-м.н. Мельник Е.А.

Предложенные латерально-неоднородные модели верхней мантии с непосредственным учетом сферичности Земли для построения двухслойной сейсмической структуры литосферы вдоль профилей Кварц и Кимберлит принципиально отличаются от известных в классе многослойных слабонеоднородных. Появляется возможность получить обоснованные интерпретационные модели, с надежно выделяемыми аномалиями скорости, характеризующимися размерами более 300 км, с повышенной достоверностью, что особенно актуально для решения задач глобальной внутриплитной геодинамики, связанной с природой формирования и тектоникой крупных неоднородностей земной коры. В сравнении с Сибирским кратоном верхняя мантия Западно-Сибирской плиты и Алтае-Саянской складчатой области характеризуется пониженной до 7.9-8.3 км/с скоростью в верхах мантии. Отличительной особенностью мантии является исключительно контрастная и протяженная зона волновой тени, обусловленная увеличением мощности астеносферы и утонением литосферы до 170 км под Алтае-Саянской областью.

Основой для изучения природы сейсмичности, является составление стартовой модели напряженного состояния коры, с учетом ее изостатического состояния и оценок величины статических горизонтальных напряжений, связанных с латеральными сейсмоплотностными неоднородностями. Существуют перспективы картирования сейсмоактивных зон разломов и через геомеханическое моделирование определения пределов изменения свободных механических параметров (пределов прочности, коэффициентов внутреннего трения и др.), контролирующего распределение очагов землетрясений в зависимости от положения и параметров латеральных неоднородностей. Полученные в данном проекте результаты показали возможность по достаточно детальным наблюдениям выявить значительные изменения свойств земной коры, ее структуры, характера распределения неоднородностей, коррелирующихся с приповерхностными характеристиками и тектоникой. Обнаружена вертикальная зональность распределения напряжений в земной коре и верхах мантии в виде значительных вариаций аномалий вертикальных растягивающих напряжений в земной коре и ее верхней части, достигающих 300 МПа в области сочленения Станового и Алданского блоков (окрестность Станового хребта и Чульманской впадины). Сжимающие аномалии напряжений до -100 МПа характерны для мантии Станового блока и земной коры Алданского щита.

FWZZ-2022-0022 Разработка численных методов и алгоритмов, ориентированных на высокопроизводительные вычислительные системы, для моделирования и инверсии геофизических полей: от петрофизики к сейсмологии

Рук. д.ф.-м.н. Чеверда В.А., д.ф.-м.н. Лисица В.В.

Полученные в 2022 году научные результаты можно разделить на две основные группы.

1) Теоретические исследования. Сюда прежде всего относятся результаты о регулярности оператора прямой задачи, рассматриваемого как действующего из пространства параметров, определяющих упругие/вязкоупругие свойства изучаемых геологических объектов. Следуя общепринятой к настоящему времени параметризации мы выбираем скорости распространения продольных и поперечных волн для идеально упругой среды, к которым добавляются соответствующие добротности при рассмотрении вязкоупругой среды. Заметим, что в рассматриваемых нами в настоящий момент постановках, связанных с поверхностными системами наблюдениями, весьма убедительно показано,

что вариации плотности в среде реконструируются неустойчиво, точнее говоря вообще не поддаются определению методом обращения полного волнового поля. Поэтому мы и не включаем плотность в искомые параметры, сконцентрировавшись на определении изменчивости скоростей распространения продольных и поперечных волн на начальной стадии работ по проекту. Отметим, что приятной неожиданностью для нас стало устойчивое определение возмущений добротности среды. Отметим при этом, что специфика рассматриваемой нами постановки, связанной с реконструкцией изменчивости добротности как возможного прогнозного признака растепления вечной мерзлоты, позволяет рассматривать проявление этой изменчивости в сейсмических волновых полях в рамках линейного приближения, что существенно облегчает решение обратной задачи.

2) Разработка научно-исследовательской версии программного обеспечения. В 2022 г. основное внимание уделялось разработке программного обеспечения, ориентированного на использование высокопроизводительных вычислительных систем с параллельной архитектурой. При этом мы сконцентрировались на организацию вычислений на CPU под управлением MPI. Как уже было отмечено выше, основным результатом здесь мы считаем устойчивую реконструкцию изменчивости всех четырёх параметров, описывающих вязкоупругую среду: скоростей распространения продольных и поперечных волн и соответствующих добротностей. Также весьма важным мы считаем, что проведённая нами представительная серия численных экспериментов показала отсутствие связанности этих четырёх параметров вязкоупругих сред. Под связанностью параметров при решении многопараметрических обратных задач принято называть возможность проявления ложной изменчивости одних параметров (например, добротности) при возмущении других (например, скорости). Как нами показано и опубликовано в работах В.А.Чеверда и др. «Разработка методики мониторинга состояния газогидратных залежей восточно-сибирского шельфа» (Доклады РАН, см. список публикаций) и V.Cheverda et al. “Subsea Methane Hydrates: Origin and Monitoring the Impacts of Global Warming” (Applied Sciences), восстановленные возмущения этих параметров нигде не выходят за пределы областей своих возмущений и весьма хорошо описываются не только качественно, но и количественно.

Идентификация математических моделей подразумевает восстановление неизвестных коэффициентов, входящих в систему уравнений в частных производных. В свою очередь эти коэффициенты связаны с физическими свойствами процессов, описываемых конкретной математической моделью. В рамках предлагаемого проекта рассматриваются волновые процессы в упругих средах. Определение коэффициентов соответствующих моделей позволяет восстановить такие параметры упругих сред, как скорости распространения продольных и поперечных волн, добротность среды, наличие в ней анизотропии и др. Отметим, что распределение скоростей распространения упругих волн традиционно является одним из основных направлений развития теории и численных методов решения обратных задач для волнового уравнения. Во многом это связано с необходимостью построения качественной скоростной модели для последующего её использования при применении разнообразных методов так называемой миграции, позволяющих строить волновые изображения трёхмерных неоднородностей. Конечно же знание такой скоростной модели безусловно важно, и мы в ходе выполнения проекта также предполагаем приложить значительные усилия для её решения с точки зрения развития унифицированного подхода к решению обратной задачи теории распространения волн. Вместе с тем знание ряда других особенностей строения среды, таких как её добротность и анизотропия, позволит существенно расширить понимание её строения и оценить изменчивость её упругих параметров со временем путём мониторинга протекающих в ней процессов. Так, повышение уровня поглощения сейсмической энергии, особенно для поперечных волн, выступает, в частности, надёжным свидетельством растепления вечной мерзлоты или таяния газогидратов. Наличие зон

повышенной анизотропии горных пород может быть связано с образованием систем ориентированных трещин, вызванных увеличением напряжений в среде и грозящим её последующим разрушением.

Настоящий проект посвящён развитию единообразного численного подхода к решению многопараметрической обратной задачи теории распространения упругих волн в трёхмерно неоднородных средах. В течение 2022 года были выполнены следующие работы:

- 1) Построен оператор прямой задачи, задающий отображение коэффициентов используемой математической модели в регистрируемые данные (как правило, задаётся неявно как результат решения начально-краевой задачи для выбранной системы дифференциальных уравнений в частных производных);
- 2) Изучена его регулярность для выбранных функциональных пространств;
- 3) Построен целевой функционал, сводящий решение обратной задачи к отысканию точки минимума;
- 3) Построена производная Фреше оператора прямой задачи по коэффициентам используемой математической модели волнового процесса – на данном этапе модель вязкоупругого изотропного;
- 4) Построение сингулярного разложения производной Фреше.

FWZZ-2022-0024 Геоэлектрические и электромагнитные методы исследования верхней части земной коры: теория, модели, эксперимент

Рук. к.г.-м.н. Оленченко В.В.

С помощью численного, физического моделирования и полевого эксперимента обосновано применение метода электротомографии с измерением вызванной поляризации для поисков аллювиальных россыпей золота. Впервые показаны различия в электрических моделях целиков и рекультивированных полигонов, что имеет важное значение при планировании геологоразведочных работ на россыпных месторождениях.

При физическом моделировании и полевым эксперименте установлен ранее неизвестный эффект аномальной поляризуемости в области нарушения гидроизоляции в бассейне растворов кучного выщелачивания. Этот эффект предложено использовать для повышения однозначности интерпретации данных электротомографии при контроле качества гидроизоляции.

В результате математических расчетов переходных процессов в измерительной установке для условий акваторий морского шельфа показаны возможности моделирования эффекта вызванной поляризации горных пород, который ранее считался помехой при полевых исследованиях и не использовался при интерпретации.

На площади распространения гигантской наледи впервые в России начаты исследования с применением современной геофизической аппаратуры, которые расширяют круг решаемых геокриологических задач. Установлено сокращение максимальной толщины льда по сравнению с данными прошлого века на 26%, показано, что глубина сезонного промерзания пород наледной поляны не зависит от толщины льда.

На основе сравнения процесса поляризации мёрзлых пород при возбуждении источником тока и источником напряжения показано, что быстропротекающая поляризация мёрзлых пород контролируется диэлектрической релаксацией льда.

FWZZ-2022-0025 Геоэлектрика многомасштабных гетерогенных геологических сред: модели, программы, технические средства

Рук. д.т.н. Ельцов И.Н.

В 2022 году получены следующие новые результаты:

Разработаны и реализованы методы аппроксимации тороидальной и соленоидальной многовитковых источников электромагнитного поля в частотной области с использованием векторного метода конечных элементов на тетраэдральном не регулярном сеточном разбиении с иерархическим базисом полного второго порядка. Полученные результаты являются значимыми в контексте развития методов аппроксимации источников электромагнитного поля для математического моделирования процессов скважинного каротажа. В отличие от существующих зарубежных и отечественных разработок в этом направлении реализованные методы аппроксимации многовитковых катушек учитывают геометрию витков катушек, что позволяет корректнее задавать источник поля и позволяет получать корректное решение не только в дальней зоне, но и вблизи катушки.

По данным электротомографии получены новые детальные модели верхней части разреза на трех участках юго-восточной части Новосибирской области, два из которых расположены в Томь-Кодыванской складчатой области, а третий в центральной части Горловской впадины. По этим данным в результате решения обратной задачи получены значения удельного электрического сопротивления и коэффициентов анизотропии. Эти характеристики разреза можно эффективно использовать для регулярных наблюдений за состоянием геологической среды в связи с усиливавшейся сейсмичностью в районе Горловского прогиба.

Для района Горного Алтая: построена трехмерная геоэлектрическая модель активной разломной структуры на участке Мухор-Тархата Чуйской впадины. Получены новые полевые данные методом электротомографии в Уймонской впадине для уточнения её строения.

Разработана оригинальная осесимметричная компоновка, корпус и электронный модуль управления аппаратуры малоуглубинного электромагнитного профилирования для монтажа на платформу БПЛА. К типичным сферам применения разработанной аппаратуры можно отнести: исследование археологических объектов – курганы, древние поселения; решение экологических задач – изучение отвалов и хвостохранилищ горнодобывающих предприятий, зон распространения вредных веществ; локализация инженерных объектов – труб и коммуникации, исследование состояния дамб и плотин. Перспективной сферой являются объекты агропромышленного комплекса – оценка плодородности почв (распределение минерализации), контроль эффективности мелиорации.

Рассмотрены особенности МТЗ в случае представления поля первичного источника волнами с круговой поляризацией и введения вместо стандартных - модовых импедансных соотношений для таких волн. С помощью численного моделирования показано, что применение волн с круговой поляризацией приводит к достоверному решению обратной задачи МТЗ и ускоряет процесс поиска оптимальной модели среды по экспериментальным данным. Модовые кривые кажущегося сопротивления менее подвержены искажениям, вызываемым гальваническими эффектами в 3D-среде.

Реализовано построение 3D модели пласта по практическим каротажным данным с использованием цифровых мультифизических моделей пропластков из системы АТЛАС МФМ. В систему встроены новые версии программ 3D моделирования сигналов ВИКИЗ и БКЗ. Это обеспечивает развитие системы АТЛАС МФМ для интерпретации скважинных

измерений на основе моделирования электрогидродинамических и геомеханических процессов в окрестности скважины. На основе модели двухфазной фильтрации в трещиновато-пористом коллекторе, которая позволяет получать радиальные профили пластового давления и фильтрационных характеристик пласта, был численно реализован подход к получению профиля УЭС трещиновато-пористом коллекторе. Проведены эксперименты по измерению толщины глинистой корки, показано, что первый слой корки уплотнен в наибольшей степени и его проницаемость минимальна, пористость и проницаемость следующих слоев увеличивается. В некоторый момент времени следующие слои корки не фиксируются на поверхности образца и смываются циркулирующим буровым раствором. Вследствие этого рост корки прекращается.

Предложен метод прямого измерения коэффициента макроанизотропии горных пород, окружающих скважину, с помощью зонда постоянного тока. Предложена и обоснована конструкция такого датчика. Предложен способ компенсации прямого поля геофизических устройств электромагнитного индукционного зондирования с применением цифровой обработки сигнала. Создана программа для интерпретации данных ВЭЗ в рамках горизонтально-слоистой модели среды и построения разрезов GEM. Разработан комплекс программ для постобработки и визуализации моделей строения околоскважинного пространства, моделирования и визуализации сигналов электрокаротажа.

FWZZ-2022-0026 Инновационные аспекты электродинамики в задачах разведочной и промысловой геофизики

Рук. д.т.н. Глинских В.Н.

С применением машинного обучения создан комплекс экспресс-алгоритмов численного моделирования и инверсии данных зондирующих методов скважинной электрометрии для поиска и оценки электрофизических свойств потенциально продуктивных меловых и юрских терригенных отложений (нефтегазонасыщенные гранулярные коллекторы и баженовская свита, Западная Сибирь)

Для количественной интерпретации данных скважинной электрометрии разработаны нейросетевые алгоритмы численного моделирования и инверсии сигналов гальванических и электромагнитных зондов в классе двумерных геоэлектрических моделей. Апробацией на практических данных из скважин Западной Сибири показана высокая эффективность и точность созданного программного обеспечения.

Danilovskiy K., Petrov A., Asanov O., Sukhorukova K. Deep-Learning-Based Noniterative 2D-Inversion of Unfocused Lateral Logs // Russian Geology and Geophysics. 2022 (August). P. 1-7. DOI: 10.2113/RGG20224457

Петров А.М., Даниловский К.Н., Асанов О.О., Москаев И.А., Примаков С.А. Автоматизация процедуры расстановки границ пластов для решения задачи двумерной инверсии данных электрокаротажа нефтегазовых скважин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2022

Эпов М.И., Петров А.М., Даниловский К.Н., Нечаев О.В., Сухорукова К.В., Асанов О.О., Миляев Д.В. Способ определения удельного электрического сопротивления терригенных нефтяных коллекторов по данным электрокаротажа субвертикальных скважин с использованием искусственных нейронных сетей / Патент РФ № 2774819

Даниловский К.Н., Леоненко А.Р., Петров А.М. Программа для учета влияния вмещающих пород на сигналы ВИКИЗ «VIKIZ_2D_to_1D» / Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022681651; опублик. 16.11.2022.

Асанов О.О., Даниловский К.Н., Петров А.М. Программный модуль Logs2Layers для автоматического расчленения геологического разреза на отдельные пласты по данным каротажа нефтегазовых скважин / Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022682867; опубли. 28.11.2022.

FWZZ-2022-0027 Новые технологии внелабораторного химического анализа и контроля, прецизионных измерений физических полей природных и техногенных объектов

Рук. к.т.н. Макасы А.Л.

Исследованы аналитические характеристики опытных образцов поликапиллярных ГХ колонок с уменьшенным диаметром капилляров и определены их основные характеристики. С целью повышения достоверности анализа следовых концентраций веществ в матрицах сложного состава разработаны и обоснованы технические решения источника ионов для малогабаритного масс-спектрометрического детектора с регулируемым входным потоком, что необходимо для оптимизации при сочленении с ПКК. Для оценки динамики испарения (сублимации) построена и верифицирована математическая модель испарения пленки следового количества тринитротолуола со стекла.

С целью совершенствования алгоритмов решения прямых задач геофизики для широкого класса трехмерных моделей с наклонными или криволинейными границами неоднородностей впервые предложен новый способ численного решения уравнений Максвелла для широкого класса моделей строения геологической среды. Предложенный способ позволяет получить решение нестационарной задачи электродинамики в сложной материальной среде и в полной постановке с вычислением всех требуемых параметров (E , B , J , Z и т.д.) в любой точке пространства.

Завершенные в 2022 году экспериментальные разработки:

- 1) Масс-спектрометрический источник ионов: разработана документация, изготовлен экспериментальный образец, техническое решение запатентовано.
- 2) Газохроматографические поликапиллярные колонки уменьшенного диаметра капилляров 25 мкм: разработан технологический регламент, изготовлены экспериментальные образцы.

FWZZ-2022-0028 Механизмы трансформации техногенных систем и формирования водных и воздушных аномалий

Рук. д.г.-м.н. Бортникова С.Б.

1. На примере вещества Талмовских Песков определены циклические процессы окисления сульфидов, перераспределение металлов и металлоидов и образование вторичных минеральных фаз в среде с разной кислотностью. Новообразованные минеральные фазы, сформировавшиеся за 90-летний период, чаще всего представлены каймами Рb-содержащих минералов – плюмбоярозита, англезита, церуссита, в меньшей степени разностями гидроксидов железа, пироморфита, гинсдалита и ковеллина: а) замещение и обрастание галенита (PbS) ковеллином (CuS) за счет сорбции меди на металл-дефицитной поверхности и поступления сульфид-ионов из раствора; б) образования неустойчивой фазы англезита (PbSO₄) на поверхности галенита и плюмбоярозита (Pb_{0.5}Fe₃(SO₄)₂(OH)₆) на поверхности пирита, сфалерита, блеклых руд в качестве пассивирующего слоя; в)

преобразование англезита в церуссит $PbCO_3$ с разрушением пассивирующих каемок и опять интенсификацией окисления галенита.

2. С помощью ступенчатого выщелачивания и определения форм нахождения элементов в веществе складированных отходов разного возраста и различающихся по физико-химическим параметрам прослежено развитие основных процессов преобразования вещества. Окисление и разрушение минеральной матрицы ведет к выходу элементов в раствор и, при нейтрализующих условиях, - их осаждению в виде соединений разной подвижности. Циклические процессы взаимодействия вещества отходов с поступающими водами может существенно снижать количество водорастворимых соединений в одних горизонтах за счет их вымывания в нижележащие слои и за пределы хранилищ, а также соосаждения в виде инертных соединений. В составе паро-газовых потоков концентрация большинства элементов увеличивается со временем, однако при формировании вторичных инертных фаз летучие формы элементов «запечатываются».

3. Изменение подвижности элементов в условиях гипергенной трансформации складированных сульфидных отходов определяется множественными процессами растворения-осаждения минералов и фаз. Общей тенденцией является увеличение доли водорастворимых соединений с возрастом техногенных тел, при этом в локальных участках возможна фиксация металлов в инертных формах за счет вариаций в рН-Eh условиях и биотических взаимодействий (восстановительные реакции). Составленная схема эволюции техногенных тел может быть использована для прогноза состава дренажных потоков с учетом начальной минералогии отходов.

4. Геофизическими исследованиями методом электротомографии установлено наличие высокопроводящих зон, окаймляющих Комсомольское озеро по вертикали и латерали, поровые воды в которых представляют собой высокоминерализованные растворы. Состав воды Комсомольского озера формируется за счет взаимодействия сезонных осадков с веществом отходов и инфильтрацией поровых вод в озеро из прибрежных и подстилающих участков. В результате постоянно идущих процессов растворения вещества отходов вода озера имеет стабильный состав с превышением > 5 относительно фона по As, Sb, Cd, Se, Cr, Mn. В организмах рыбы (карасей), обитающих в Комсомольском озере, идет процесс интенсивного накопления многих химических элементов, основные из которых – мышьяк, сурьма, кадмий, свинец и ртуть. Наибольшие концентрации As и Sb зарегистрированы в жабрах и сердце карасей, Cd – в печени и гонадах, Pb – в сердце, Hg - в почках и печени.

5. Воздействие накопления химических элементов (в том числе, 1-2 класса опасности) в органах рыб приводит к понижению темпов линейного роста карасей в оз. Комсомольское по сравнению с фоновым водоёмом в 2 раза, по массе – в три раза и появлению карликовых форм. В качестве одной из гипотез о причинах формирования карликовых форм серебряного карася мы рассматриваем ингибирующее воздействие комплекса металлов и металлоидов на скорость метаболизма рыб. Тем самым показана высокая биодоступность металлов и металлоидов. В этой связи нельзя не отметить, что население пос. Комсомольск рыбачит на этом техногенном озере и использует карасей в пищу, что, безусловно, негативно отражается на здоровье людей.

FWZZ-2022-0029 Эколого-экономические проблемы природно-техногенных систем: накопленный ущерб, ресурсы, возможности переработки и рекультивации

Рук. к.г.-м.н. Юркевич Н.В.

По итогам выполнения работ по проекту НИР в 2022 г. можно заключить, что коллективом авторов проекта, его научных руководителей, сотрудинок молодежной

лаборатории «эколого-экономического моделирования техногенных систем» проведены комплексные, разноплановые, исследования техногенных объектов, расположенных в Кемеровской, Оренбургской областях, респ. Тыва и Красноярском крае, которые позволили получить следующие результаты:

- 1) Даны научно-обоснованные рекомендации по экспериментальному изучению «теплового загрязнения» в районе складированных отходов горнорудного производства;
- 2) Предложен метод измерения водо-нефтенасыщенности и электрических сопротивлений на образцах керна, который может быть использован при проведении фильтрационных экспериментов по вытеснению модельной нефти или керосина водой. Метод применим при проведении исследований в широком диапазоне температур и рабочего давления. Достоинством метода является возможность его применения при проведении исследований с использованием кислот и буровых растворов;
- 3) Разработана методика оценки потоков газов, выделяющихся с поверхности техногенных и природных объектов;
- 4) По результатам работ на гидротехнических сооружениях, расположенных в зоне развития многолетнемерзлых пород, предложен комплекс геофизических методов (электротомография и регистрация стоячих волн) для определения областей фильтрации оборотных вод через тело дамбы. Место утечки определяется по набору геофизических аномалий: низкие значения УЭС, пониженные амплитуды сигнала и добротность, повышенный коэффициент Пуассона;
- 5) Применение метода электротомографии в комплексе с геохимическими исследованиями позволило определить вертикальную зональность хвостохранилища до глубины 50 м, выявить разломную зону и рассчитать ориентировочные ресурсы химических соединений в сезонно-талом слое;
- 6) Проведены комплексные исследования рекультивированных складированных отходов гидрометаллургической переработки арсенидных Ni-Co-руд методами электротомографии, фотограмметрии и геохимического опробования. Выявлены направления предполагаемой инфильтрации минерализованных растворов и стока вод с поверхности карт. Наличие протечек глубже защитного экрана, которое приводит к загрязнению подземных вод, подтверждено данными опробования скважин;
- 7) Предложен подход для выделения рудных тел в заброшенных отвалах горнорудного производства на примере отходов Гайского ГОКа (Оренбургская область) с применением метода электротомографии с измерением вызванной поляризации;
- 8) Составлен реестр отходов горнорудного производства в Кемеровской области и республике Тыва с расчётом ресурсов ценных (Cu, Zn, Cd, Pb, Au, Ag, Mo) и токсичных (As, Hg) элементов.

FWZZ-2022-0030 Исследование многофизических процессов в гетерогенных средах, представленных трёхмерными цифровыми моделями, в геофизических приложениях

Рук. к.ф.-м.н. Марков С.И.

Предложена методика построения цифровых моделей гидратосодержащих образцов и образцов микропористых флюидонасыщенных горных пород при использовании результатов неразрушающей визуализации. В отличие от существующих решений предложенные методы позволяют восстановить внутреннюю структуру гетерогенных сред, в которых протекают процессы диффузии и фазовые переходы в реальном времени, а также построить пригодную для математического моделирования дискретную геометрическую модель с существенной экономией вычислительных ресурсов, при низком качестве входных данных с сохранением физической адекватности полученных цифровых аналогов.

Предложенные алгоритмы построения цифровых моделей кернов по данным компьютерной томографии позволяют сохранить на дискретном уровне характеристики геометрической модели, к которым чувствительны физические свойства исследуемых объектов, и получить физически адекватный результат решения задачи численной гомогенизации образцов горных пород.

Полученные результаты могут быть использованы при установлении петрофизических зависимостей между физическими характеристиками горных пород и сигналами, измеряемыми каротажными приборами.

С помощью разработанного программного обеспечения было показано, что удельная электропроводность микропористых осадочных пород зависит не только от их пористости, но и от их абсолютной проницаемости.

Идентификация гидратов метана в стабильном состоянии возможна геотермическими методами, если объёмная доля гидрата не меньше 10%. Для гидратосодержащих пород обнаружен эффект перколяции относительно коэффициента теплопроводности при достижении концентрации гидрата метана 30%, что объясняется формированием кластерных структур внутри порового пространства образцов.

Результаты могут быть использованы при установлении петрофизических зависимостей характеристик горных пород от сигналов каротажа.

FWZZ-2022-0031 Геолого-геофизические исследования и палеоклиматические реконструкции в дельте р. Лена как инструмент анализа динамики арктической экосистемы в процессе глобального изменения климата

Рук. к.ф.-м.н. Аюнов Д.Е.

К текущему моменту информация по химическому составу озёр на островах дельты Лены практически отсутствовала. Также скудно освещены особенности микроэлементного состава вод, в том числе редкоземельных элементов, арктических озёр и в других дельтовых системах. Между тем, эта информация необходима для корректного мониторинга уязвимых экосистем Арктики. Полученные результаты исследований послужат основой для создания концептуальной модели трансформации озёр со временем и дают информацию о региональном геохимическом фоне по широкому спектру химических элементов, в том числе первого класса опасности.