

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОГРАММЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приоритетное направление IX.124 Геодинамические закономерности вещественно-структурной эволюции твердых оболочек Земли

FUUM-2019-0001 Тектоническое строение и палеогеодинамические реконструкции аккреционно-коллизийных структур и осадочных бассейнов Восточной Сибири и Российской Арктики.

Рук. академик РАН В.А. Верниковский

- Установлено, что позднекриогенское (вендское, маринонское) оледенение на юго-западе Сибирской платформы не включало три отдельных ледниковых цикла по числу пачек грубообломочных отложений, как предполагалось авторами ранее, а проявилось как единое, но многостадийное оледенение. Литогенетическая запись позднекриогенского (вендского) оледенения включает, в целом, пять стадий сложных процессов замораживания и оттаивания континента Сибирь и заканчивается пачкой покровных доломитов, маркирующей трансгрессию глобального завершения криогенской ледниковой эпохи.
- Установлен неопротерозойский (тонийский) кластер зерен ксеногенного циркона (~784-785 млн. лет) в долеритовом силле Нерсинского базитового комплекса в Присяянском прогибе, а также ранее полученные данные авторами о возрасте формирования Нерсинского комплекса [1] позволяет определить начало образования карагасской серии, и нижней части чехла на юго-западе Сибирской платформы, в интервале $\approx 785-718$ млн. лет.
- Геолого-структурные, минералого-петрографические и геохимические исследования мафитовых пород в составе тектонических чешуй в центральной части Татарско-Ишимбинской шовной зоны в Заангарье Енисейского кряжа показали, что чешуи сложены метаморфизованными в условиях зеленосланцевой фации пиллоу-базальтами и габбро, соответствующими геохимическим типам N-MORB и E-MORB. Деформационные парагенезы и кинематические индикаторы отражают два этапа: (1) метаморфизм и деформации океанической коры до начала коллизии Центрально-Ангарского террейна с Сибирским кратоном (вероятно, в мезопротерозое); (2) закрытие океанического бассейна и начало косой коллизии с образованием Татарско-Ишимбинской сутуры в тонии.
- На основе обобщения геологических данных обширной палеомагнитной базы данных по траппам архипелага Земля Франца-Иосифа установлено, что Баренцевоморский магматический ареал представляет собой фрагмент крупной изверженной провинции высокоширотной Арктики и отмечает след Исландского плюма на уровне 125 млн лет назад. Составлены реконструкции, подтверждающие стационарное положение и раскрывающие палеогеографию Исландского плюма, его непосредственную связь с мезозойско-кайнозойскими крупными изверженными провинциями Северной Атлантики, Арктики и Сибири.
- Петромагнитная запись франско-фаменского интервала разреза о. Столб (дельта р. Лены) демонстрирует стабильный режим осадконакопления, что исключает влияние узкорегionalных факторов на событие Upper Kellwasser и подтверждает его глобальный характер.
- В результате палеосейсмологических исследований установлены первичные и вторичные сейсмогенные деформации, возникшие при сильных землетрясениях, связанных с разломами Курайской зоны Горного Алтая около 4.6 и 16 тыс. лет назад.

- Построены сейсмотектонические модели и проведен анализ палеосейсмичности активных структур Горного Алтая и Прииссыккуля, развивающихся в обстановках регионального сжатия. Проведенные палеосейсмологические и археосейсмологические исследования позволили выделить в пределах Горного Алтая три зоны концентрации древних и исторических землетрясений, связанные с Курайской, Катунской и Южно-Теректинской зонами разломов, в пределах Прииссыккуля – с Коконадыр-Тегерекским, Культорским, Южно-Иссыккульским и Каркаринским разломами. Расширены каталоги сильных ($M > 5.5$) палеоземлетрясений Горного Алтая и Северного Тянь-Шаня.
- Создана схема корреляции четвертичных отложений по палеомагнитным данным с учетом палеонтологических данных, а также результатов ^{14}C датирования. Надежные палеомагнитные определения получены по 17 разрезам Прибайкалья, включающих субаэральные песчано-лессово-почвенные разрезы и колонки донных отложений озер.

Приоритетное направление IX.126. Периодизация истории Земли, определение длительности и корреляция геологических событий на основе развития методов геохронологии, стратиграфии и палеонтологии

FUUM-2019-0002 Периодизация позднепротерозойского этапа в истории Земли: комплексный междисциплинарный подход (на примере разрезов Сибири и российского сектора Арктики).

Рук. д.г.-м.н. Д.В. Гражданкин

- Показано, что «взрывообразный» рост экологического и морфологического разнообразия в раннем кембрии (530 млн лет назад) на Сибирской платформе не затронул аллювиальные и литоральные обстановки осадконакопления
- Новые результаты комплексного изучения разрезов верхнего протерозоя Оленекского и Хараулахского поднятий позволяют существенно уточнить историю формирования осадочного чехла и положение границы рифея и венда на северо-востоке Сибирской платформы
- Новые результаты изучения уникальной ископаемой лахандинской микробиоты рифейского возраста юго-восточной Сибири позволяют предполагать существование сложных пищевых цепей с участием эукариот 1030–1000 млн лет назад
- Впервые получена наиболее достоверная реконструкция древнейших (574 млн лет) представителей вендских мягкотелых организмов, доказано их родство с настоящими многоклеточными животными (Eumetazoa) и установлено время появления подвижности у билатерий (557 млн лет)

FUUM-2019-0003 Палеонтологическое и экостратиграфическое обоснование зональных стратиграфических схем палеозоя Сибири, палеогеографическое и биофациальное районирование осадочных бассейнов.

Рук. д.г.-м.н. Н.В. Сенников

- Новый вариант построения ярусной шкалы кембрия Сибири.
- Новая модель распространения кембрийских отложений в Вилюйской гемисинеклизе Сибирской платформы.

Разработана уточненная модель стратиграфического и латерального распространения кембрийских отложений на территории Вилюйской гемисинеклизы, которая построена на основании анализа данных по бурению и интерпретации сейсмических данных.

- Новые биостратиграфические данные по нижнему кембрию Монголии.

Новые находки трилобитов позволяют надежно сопоставлять разновозрастные толщи нижнего кембрия Южного Прихубсугулья, Алтае-Саянской складчатой области и западной части

Сибирской платформы, а также уточнить возраст отдельных частей эгийгольской, ухаатолгойской и уджигингольской свит.

- Новые данные о строении и биостратиграфической характеристике пржидольского отдела силура на Горном Алтае

Предлагается наименование – чергинский горизонт. Этот новый горизонт будет соответствовать нижнему горизонту черноануйского надгоризонта и сопоставляться с пржидольским отделом силура без самых его низов.

- «Ордовикские седиментационные и биотические события в истории развития Алтайских и Салаирских бассейнов».

Зафиксированные в алтайских и салаирских разрезах следы глобальных седиментационных и (или) биотических событий могут служить прецизионной основой для прямой корреляции местных стратиграфических подразделений с ярусными подразделениями Международной стратиграфической шкалы.

- Новое в систематике древнейших брахиопод.

Уточнена систематика отряда *Paterinida* (брахиоподы) из нижнего и среднего кембрия Сибирской платформы. Это самые первые появившиеся на Земле брахиоподы. Отряд небольшой, в ходе исследований охарактеризовано семь родов, два из них для кембрийских отложений Сибирской платформы ранее не описывались (*Micromitra* и *Dictyonina*).

- Фациальная специфика отложений с массовыми скоплениями трилобитов в кембрии Сибирской платформы.

Анализ распространения фаунистических остатков в разрезе показал, что массовые скопления трилобитов приурочены к породам смешанного состава. Выявлены шесть уровней с массовыми остатками трилобитов и брахиопод. Два уровня расположены в пределах зоны *Ovatoryctocara*, третий располагается в пограничном интервале зон *Ovatoryctocara* и *Kounamkites*; четвертый — около кровли зоны *Triplagnostus gibbus*; пятый и шестой — в пределах зоны *Tomagnostus fissus* — *Paradoxides sacheri*.

- Новые совместные находки мелкораквинной фауны и археоциат в нижнем кембрии Сибирской платформы.

Изучены карбонатные породы средней (осинской) подсвиты усольской свиты томмотского яруса нижнего кембрия, охарактеризованные керном скважин Ичединской-45 и Большеитирской-7, расположенных на севере Иркутской области. В осадочных отложениях, вскрытых скважинами впервые обнаружены и описаны остатки мелкораквинной фауны (*Namacalathus* Grotzinger, Watters et Knoll). Они обнаружены на нижнекембрийском уровне (томмотский ярус), что подтверждают совместные находки с археоциатами.

- Новые палеонтологические и биостратиграфические данные по ордовикским граптолитам Горного Алтая.

Найденные на территории Горного Алтая формы отличаются хорошей сохранностью, которая позволила провести их детальное монографическое изучение и выделить новые видовые таксоны – *Oncograptus hastatus* sp. nov. и *Cardiograptus altaicus* sp. nov.

- Новые данные о местных и региональных стратиграфических подразделениях верхнего ордовика Сибирской платформы.

Получены новые данные по стратиграфическому расчленению разрезов мангазейской свиты верхнего ордовика в бассейне р. Чуня (правый приток р. Подкаменная Тунгуска) на Сибирской платформе. Приведены послойное описание разрезов и новые данные по руководящим группам фауны (остракоды, трилобиты, брахиоподы, конодонты), позволившие в значительной степени расширить палеонтологическую характеристику вмещающих отложений. Впервые дана характеристика отложений баксанского горизонта, дополняющая более раннее описание подстилающих образований в стратотипическом разрезе долборского горизонта в 2 км выше устья р. Верхняя Чунку (левый берег). В результате биостратиграфического анализа по разным группам фауны удалось уточнить

стратиграфическое положение разреза, находящегося в 0,4 км ниже устья руч. Амуткан. Проведена корреляция изученных разрезов с опорной Гаиндинской скв. 3.

- Новые данные по конодонтовой зональной стратиграфии палеозоя юга Сибири и Арктических областей России.

Впервые на территории Прителецкого Алтая были обнаружены конодонты катийского яруса верхнего ордовика. В региональной биостратиграфической схеме по конодонтам для всей территории Горного Алтая в верхнеордовикской последовательности можно констатировать появление еще одного зонального интервала - *Belodina confluens*.

FUUM-2019-0004 Палеонтология, стратиграфия, биогеография бореальных и смежных с ними палеобассейнов и комплексное обоснование усовершенствования региональных стратиграфических схем мезозоя и кайнозоя Сибири.

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

- Верхнеюрские и меловые отложения широко распространены на северо-востоке Китая и Сихотэ-Алине. На территории Китая они представлены в основном континентальными осадочными породами, тогда как на Сихотэ-Алине в России верхняя юра и нижний мел преимущественно морские, а верхний мел – вулканогенный и вулканогенно-осадочный. Для позднего мезозоя определены три тектонических этапа и связанные с ними три специфических этапа седиментации: позднеюрский–готеривский, баррем–альбский и позднемеловой. На основе комплексного анализа биостратиграфических, радиометрических, тектонических и седиментологических данных предложена схема корреляции верхнемезозойских отложений Сихотэ-Алиня и Северо-Восточного Китая.(Kosenko et al., 2021a, 2021b).
- В результате палинологического изучения верхнемеловых и палеогеновых отложений Южного Зауралья в трех скважинах получены новые данные о составе морского микрофитопланктона, в частности, цист динофлагеллат, дополнена спорово-пыльцевая характеристика этих отложений и на биостратиграфической основе установлен их возраст. Сравнительный анализ позднемеловых комплексов диноцист южных и северных территорий Западной Сибири показал, что, несмотря на заметный провинциализм динофлагеллат, существует ряд стратиграфических интервалов в среднем– верхнем туроне, нижнем коньяке, нижнем сантоне, кампане и нижнем маастрихте, имеющих хороший корреляционный потенциал. Установлены значительные перерывы осадконакопления в мел-палеогеновой последовательности. (Кузьмина и др., 2021).
- Рассмотрены история выделения семейства *Beurichitidae* (Ammonoidea) и взгляды различных авторов на его систему. Приведены морфологическая характеристика бейрихитид, их состав и распространение, обоснован семейственный статус этой группы среднетриасовых аммоноидей. Проведен анализ филогенетических связей аммоноидей семейства *Beurichitidae*, рассмотрены две линии в эволюции бореальных позднеанизийских бейрихитид, выделенных на основе изучения морфогенеза основных структур раковины и анализа хроно- и хорологических данных. В составе *Beurichitidae* выделено новое подсемейство *Frechitinae* subfam. nov. (Константинов, 2021).
- Новые биостратиграфические исследования пограничных отложений перми и триаса кряжа Прончищева (север Средней Сибири) позволили определить возраст и генезис известных в этом районе вулканогенных образований. На основании полученных данных вулканогенные образования района интерпретируются как геологические тела, образовавшиеся в процессе эксплозивного вулканического события, т.е. как трубки взрыва. Было доказано что, данное вулканическое событие произошло в начале позднего оленека (ранний триас) в течении временного

интервала равного фазам *Bajarunia euomphala* и *Nordophiceras contrarium* и, вероятно, оно явилось проявлением затухающего сибирского траппового магматизма, основной импульс которого имел место на рубеже перми и триаса. (Попов и др., 2021: см. Труды и материалы конференций).

- Рассмотрена проблема бореально-тетической корреляции карнийских отложений, обусловленная географической дифференциацией фауны морских беспозвоночных в позднетриасовую эпоху. На основе данных, полученных в последнее время по таксономическому составу и распространению бореальных карнийских аммоидей, проведена корреляция наиболее полно и детально разработанных аммоидных зональных шкал карнийского яруса бореальных и тетических регионов: Северо-Востока России, Арктической Канады, Британской Колумбии и Альп. Намечены перспективы дальнейшего совершенствования бореально-тетической корреляции карнийских отложений. (Константинов, 2021: см. труды и материалы конференций). Обоснованы предложения по лимитотипу границы карния и нория (Hounslow et al., 2021).
- Разработан пилотный вариант стратиграфической шкалы триаса Западной Сибири нового поколения на основе региональных инверсионных горизонтов. Установлено, что в морском нижнем и среднем триасе циклитами-стратонами являются ярусы общей шкалы, которые изначально были выделены в своих стратотипах в объеме полных циклитов. В триасе выделено 6 инверсионных горизонтов (ИГ): индский, оленекский, анизийский, ладинский, а также осипайско-чайдахский, тумулский. (Бейзель, 2021: материалы конференции).
- Представлены результаты палинологических исследований триасовых отложений о. Котельный. Предложена новая шкала по палиноморфам, состоящая из семи биостратонов, выделенных в ранге слоев, увязанных со шкалами по макро- и микрофауне. Впервые в триасовых отложениях России определены цисты динофлагеллат. (Лебедева и др., 2021: см. труды и материалы конференций).
- Для сравнения с бореальными последовательностями палиноморф тоара и аалена было выполнено исследование палиноморф из естественных обнажений пограничного интервала тоар-аалена (джигиатская свита) в бассейне реки Кубань (Карачаево-Черкессия, Северный Кавказ). Палинологическим методом изучено пять образцов, четко привязанных к руководящим формам аммонитов. В трех образцах определен относительно обильный и разнообразный микрофитопланктон (акритархи, цисты динофлагеллат, прازیнофиты и зигнемовые водоросли) и наземные палиноморфы (пыльца и споры); остальные два образца были менее продуктивными и содержали менее 50 экз. палиноморф. Установлено два комплекса с диноцистами: тоарский комплекс с *Nannoceratopsis* spp. и тоар-тоар-ааленский комплекс с *Parvocysta* spp. По спорам и пыльце установлен единый комплекс для верхнего тоара–нижнего аалена. (Goryacheva et al., 2021).
- Установлен и описан новый вид белемнитов из аалена юго-западной Германии, являющийся самым молодым (последним?) из известных представителей рода *Acrocoelites* в семействе *Megateuthididae*. Учитывая медио-вентральное положение брюшной борозды, предполагается, что *A. ippolita* является частью филолинии, ведущей к раннебайосскому роду *Eocylindroteuthis*, и тем самым представляет собой найденное недостающее звено в эволюции мегатеутидид. (Weis et al., 2021).
- Обобщены новейшие результаты исследований головоногих и двустворчатых моллюсков байоса Сибири, Дальнего Востока России и южной Аляски. Уделено внимание некоторым аспектам биогеографии байосской фауны моллюсков. Полученные данные использованы для корректировки схем межрегиональной корреляции среднеюрских отложений исследуемых территорий. (Дзюба и др., 2021: см. труды и материалы конференций).

- Рассмотрено первоначальное описание батского вида *Arcticoceras cranoccephaloide* для решения проблемы его присутствия в Северной Сибири. При сравнении имеющихся фотографий восточно-гренландской коллекции *A. cranoccephaloide* и описаний ранних кадоцератин установлено, что все северосибирские экземпляры, определяемые под этим видовым названием, по основным параметрам следует относить к узкоумбональной модификации *Catacadoceras barnstoni* (Meek, 1859) (Шамонин, Князев, 2021: см. труды и материалы конференций).
- Новый материал по 11скважинам с полным выносом керна Ем-Еговского месторождения позволил значительно уточнить стратиграфическое и фаціальное строение Казым-Кондинского СФР Западной Сибири. Изученный разрез включает верхнюю часть тюменской свиты (батский ярус), абалакскую (верхняя часть батского-кимериджский ярусы), тутлеймскую (волжский, рязанский, основание валанжина) и основание фроловской (валанжин). Установлена последовательность подразделений бореального зонального стандарта, а результаты лито- и биофаціальных исследований позволили реконструировать палеогеографию района (Маринов и др., 2021).
- На основе анализа биостратиграфических последовательностей морских и наземных палиноморф в кимеридже, волжском ярусе и готериве разреза Городищи описаны палиностратоны по диноцистам и по спорам и пыльце. Для средней части волжского интервала предложено более детальное расчленение. Впервые установлены слои с диноцистами в готериве и биостратиграфическая последовательность спорово-пыльцевых биостратонов для всего разреза. Показано, что границы большинства палиностратонов имеют значительный корреляционный потенциал. На основе биофаціального анализа микрофитопланктона изучена динамика трансгрессивно-регрессивных событий, а также изменения сопутствующих кислородных и трофических условий (рисунки 77-81) (Пещевикская, 2021).
- В разрезе на р. Анабар (бат–берриас) установлены биостратоны по морским и наземным палиноморфам, стратиграфическое положение которых контролируется данными по макро- и микрофауне. Границы палиностратонов имеют значительный корреляционный потенциал (рисунок 82) (Пещевикская, 2021: см. труды и материалы конференций).
- Получены новые данные по систематическому составу белемнитов в разрезах нижнего мела Анабарского района (север Сибири). Сделаны выводы по динамике биоразнообразия белемнитов в рязанском и валанжинском веках, экологическим группировкам и факторам, влиявшим на распределение белемнитов по площади палеобассейна (рисунки 83, 84). Установлены два основных этапа миграций: 1) обмен таксонами между морями Арктики и Северной Пацифики в берриасе; 2) активизация инвазий в северо-сибирский бассейн белемнитов европейского происхождения с конца берриаса (Ефременко, 2021; Ефременко, Дзюба, 2021: см. труды и материалы конференций).
- В целях упорядочения систематики меловых устричных двустворок ревизованы представители рода *Amphidonte* Fischer de Waldheim, 1829 из апта и альба юго-западных отрогов Гиссарского хребта. В апте род представлен новым видом *A. mirkamalovi* sp. nov., в альбе – видом *A. zachanensis* Mirkamalov, 1966. (рисунки 85, 86) (Метелкин, Косенко, 2021).
- Получена детальная палинологическая характеристика струнинского и серебрянского аллювиев – двух разновозрастных толщ, выделяемых в опорном разрезе ниже- и среднечетвертичных отложений у дер. Исаковка в Омском Прииртышье. Комплексные исследования позволили существенно уточнить стратиграфию и условия формирования этих отложений. Отсутствие во флорах струнинского и серебрянского аллювиев представителей перигляциальной флоры

свидетельствует о формировании этих отложений в межледниковых условиях (рисунки 87, 88) (Зыкин и др., 2021).

FUUM-2019-0005 Микрофоссилии (фораминиферы и остракоды), биотические и абиотические события, детальная стратиграфия и биофации бореальных и арктических бассейнов фанерозоя.

Рук. д.г.-м.н. Б.Л. Никитенко

- Полученные новые данные по остракодам из трех ключевых разрезов верхнего девона, расположенных в северо-западной части Кузнецкого бассейна, существенно дополняют ранее разработанную биостратиграфическую схему по остракодам для западной части Алтае-Саянской складчатой области. Слои с остракодами хорошо коррелируются внутри региона в разных структурно-фациальных подрайонах. Разработанная схема по остракодам является хорошей основой для проведения корректных разномасштабных корреляций.
- Получены новые данные по остракодам из акарачкинских, сафоновских и керлегешских слоев (эйфельский и живетский ярусы) заречного горизонта Салаира. Эти разрезы являются опорными для всей Алтае-Саянской складчатой области и представлены разнофациальными терригенно-карбонатными породами с различной фауной. В последние годы при проведении комплексного анализа распространения фауны, было уточнено, что керлегешские слои являются более молодыми, чем сафоновские слои, а не наоборот, как это было принято в стратиграфических схемах девона.
- Проведены монографические и биостратиграфические исследования юрских комплексов остракод полуострова Ямал. Дано описание 5 стратиграфически важных видов, для 6 форм приведены изображения. Обосновано биостратиграфическое расчленение нижней и средней юры Западной Сибири по остракодам.
- Впервые изучены остракоды из опорного разреза келловя Центрального Дагестана, содержащего представителей разного биогеографического происхождения, что является перспективным аспектом для проведения межрегиональной, а, возможно, и бореально-тетической корреляции по данной группе микрофауны. Приведено описание нового вида, а также сделан обзор стратиграфического, географического распространения ранее известных видов с приведением их изображений.
- В разрезах волжского яруса п-ова Нордвик (Арктическая Сибирь) и в разрезе Городище (р. Волга), отмечается снижение концентраций диметилалканов в алифатической фракции по мере возрастания содержаний общего органического углерода. Микропалеонтологические и геохимические признаки показали высокую продуктивность фотической зоны, подтвержденную составом палинологических ассоциаций с обилием диноцист и празиофитов.
- Проведены биостратиграфические исследования по фораминиферам в рамках комплексного изучения зоны *Garantiana garantiana* верхнего байоса в разрезах по р. Кыфар (приток р. Большой Зеленчук, Карачаево-Черкесия).

Приоритетное направление IX.128. Физические поля, внутреннее строение Земли и глубинные геодинамические процессы

FUUM-2019-0006 Структуры и напряженно-деформированное состояние земной коры платформенных и складчатых областей Центральной Азии на основе совместного решения обратных задач сейсмологии и гравиметрии.

Рук. к.г.-м.н. Е.А. Мельник.

- В сейсмической структуре земной коры Верхоянья установлено восточное ограничение Сибирского кратона и признаки его пассивной континентальной окраины, характеризующейся, присутствием передового Предверхоянского и Тылового прогибов с глубиной фундамента до 20 км (рисунок 12), что подтверждает геодинамические представления Л.М. Парфенова и является предметом дальнейшего геомеханического моделирования. Существенно, что эта модель верхней коры соотносится с строением палеозой-мезозойского осадочного чехла Баренцево-Карского бассейна по профилю, пересекающему о. Северная Земля, что свидетельствует о значительном потенциале данных МПВ для построения «гладкой» стартовой модели для использования выявления высокочастотных компонент волнового поля ОГТ, определяющих свойства нефтегазоносных толщ пород. Земная кора восточной окраины Сибирского кратона вдоль профиля 3ДВ характеризуется исключительно неоднородной структурой, находящейся в изостатическом состоянии. Вместе с тем, в наиболее контрастной, латерально-неоднородной ее части, на глубине 10-30 км дифференциальные растягивающие напряжения достигают $-75 - (-230)$ МПа, ответственные, вероятно, за формирование глубоких прогибов фундамента при отсутствии сторонних горизонтальных сил (рисунок 13).
- Существенно другой, чем на восточной окраине Сибирского кратона, сейсмической структурой верхней коры и всей ее толщи характеризуется Алдано-Становой щит (рисунок 14). Отличие заключается в значительно пониженной скорости верхней коры, характер изменения которой маркирует различия в структуре коры Алданского и Станового блоков. Это определяется также резким (ступенчатым) увеличением мощности земной коры, под Алданским щитом, коррелирующим с положением южного борта Чульманской впадины (возможно по разлому через всю толщу коры).
- Численным геомеханическим моделированием в рамках упругопластического приближения оценено влияние прочностных характеристик на локализацию деформаций в слоистой среде при горизонтальном сжатии. Построены схемы развития необратимой деформации и формирования полос локализованного сдвига в зависимости от прочностных свойств среды. Установлено, что существенную роль в формировании надвиговой структуры, ее общем строении и геометрии разломов играют слои с контрастными реологическими (прочностными) свойствами (рисунок 15). При этом изменяются геометрии зон локализации деформаций (разломов) с уменьшением их наклонов и плотности распределения в пластичных слоях. Такие зоны зарождаются на поверхности и границах слоев, где сдвиговые напряжения превышают предел прочности и проявляется на поверхности в виде сбросов и взбросов. Изменения параметров прочности до 40% (коэффициента внутреннего трения и когезии) оказывают слабое влияние на геометрию зон локализации деформаций.
- Получены предварительные результаты геомеханического моделирования напряженного состояния земной коры Алдано-Станового блока (рисунок 16). Показано значительное различие в распределении дифференциальных статических напряжений в земной коре Станового блока относительно Алданского. Область различия контролируется рельефом Мохо и протягивается от начала профиля (глубина Мохо 40 км) до его погружения на глубину 50 км.

FWZZ-2019-0007 Создание единой математической, алгоритмической и программной структуры, обеспечивающей принятие дискриминирующих технологических решений при проектировании современной измерительной аппаратуры для геофизических, биологических инженерных приложений.

Рук. к.г.-м.н. Е.И. Штанько.

- В 2021 г. при использовании результатов, полученных в 2019 и 2020 годах, разработаны и реализованы алгоритмы математического моделирования сопряженных процессов тепло- и массопереноса в гетерогенных средах с фазоизменяющимися физическими свойствами с учетом механических и тепловых воздействий.
- Показана зависимость тепловых характеристик гетерогенных сред с фазоизменяющимися физическими свойствами от направления конвективного переноса жидкой фазы вещества в предположении многомасштабности порового пространства. Установлены границы применимости изотропной и анизотропной модели теплопроводности пористых сред с фазоизменяющимися физическими свойствами. Также были проведены экспериментальные исследования посредством рентгеновской компьютерной томографии гидратосодержащих образцов с более сложной вмещающей матрицей - угольных образцов. Эти образцы отличаются более сложной многомасштабной пористой структурой, по сравнению с песчаными, что приводит к усложнению всех динамических процессов.
- Для угольных образцов наблюдался только один механизм наработки гидрата - в виде «корок» на границе газ-вода. Некоторые угольные частицы, изначально рассматриваемые как однородные, в процессе наработки гидрата проявлялись уже как заполненные водой за счёт повышения солёности воды, адсорбированной в узкие поры, каналы.
- После наработки гидрата и сброса давления, некоторые из этих каналов оказались заполненными газом, что свидетельствует о попадании в эти каналы некоторого объема метана под давлением, что может быть вызвано эффектом конкурентной сорбции: адсорбированный газ частично вытесняет воду из тонких пор угля в поровое пространство.
- Результаты проекта вносят вклад в решение задачи о построении многофизических моделей нефтенасыщенных коллекторов с учётом взаимодействия гидродинамических, геомеханических, геоэлектрических процессов при использовании петрофизических моделей электропроводности гетерогенных сред; при развитии математических моделей физических процессов, протекающих при формировании и диссоциации газовых гидратов.
- Практическая значимость полученных результатов для геофизических приложений: задачи связанные с разработкой и эксплуатацией углеводородных месторождений, разработка новых источников энергии. Практическая значимость полученных результатов для материаловедения: создание фазоизменяемых материалов с теплоаккумулирующими свойствами.

FUUM-2019-0007 Геоэлектрика в исследованиях геологической среды: технологии, полевой эксперимент и численные модели.

Рук. к.г.-м.н. В.В. Оленченко

- Разнос установки и длительность импульсов тока в генераторной петле влияет на начальное значение и скорость убывания сигнала ЭДСМВ от магнитовязких горных пород. При уменьшении длительности импульсов тока в генераторной петле скорость убывания ЭДСМВ увеличивается. При выполнении полевых работ этот факт удобно использовать как индикатор, позволяющий отличить эффекты магнитной вязкости от других «геологических» помех. На основе использования многоразносных установок и разной силы тока в генераторной петле разработан алгоритм подавления влияния МВ на результаты полевых исследований и получить интерпретируемые геоэлектрические разрезы.
- Для условий акваторий сигнал ВП, связанный с гальваническим и вихревым током, двояко проявляется в трансформанте сигнала переходного процесса в зависимости от высоты установки над морским дном. Значение высоты установки над морским дном необходимо использовать для прогноза вида проявления сигнала ВП при планировании геологоразведочных работ на шельфе.
- Построена обобщённая геоэлектрическая модель каменного глетчера, описывающая основные элементы и их удельное электрическое сопротивление. Особенности модели являются уменьшение мощности покровного чехла снизу-вверх по склону каменного глетчера, увеличение сплошности и УЭС каменно-ледяных ядер или блоков метаморфического льда с возрастанием высоты местности над уровнем моря. Геофизические исследования в пределах участка разлива нефтепродуктов в криолитозоне показали, что загрязнённые воды и нефтепродукты скапливаются в надмерзлотных таликах и формируют интенсивные аномалии низкого УЭС и высокой поляризуемости. Результаты работ использованы для реализации мероприятий по извлечению нефтепродуктов из грунтов.
- По данным магнитотеллурических зондирований в земной коре Салаирского складчато-покровного сооружения выделяется субгоризонтально залегающая проводящая неоднородность, характерная для внутриконтинентальных орогенов. Зона интерпретируется как глубинный разделительный срыв (деколемент). Характер распределения глубинной электропроводности подтверждает наличие надвига Салаирского орогена на Кузнецкий прогиб. Из анализа геоэлектрических разрезов следует, что в зоне сочленения Салаирского кряжа и Кузнецкой впадины граница высокоомного блока погружается в юго-западном направлении под Салаирское складчато-покровное сооружение. Это хорошо согласуется с геологическими и геоморфологическими данными о северо-восточной вергентности палеозойской и неотектонической надвиговых структур.

FUUM-2019-0008 Разработка иерархии вычислительных моделей и численных методов для описания геофизических процессов в разномасштабных средах с флюидонасыщенной микроструктурой и областями концентрации напряжений. Создание научно-исследовательских версий соответствующего программного обеспечения, ориентированного на использование современных высокопроизводительных вычислительных систем.

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

- Представлено численное исследование влияния шероховатости границ раздела в слоистой среде на эффективные упругие свойства тонкослоистой среды.

- Предложен алгоритм построения статистически эквивалентных моделей слоистых сред двух различных типов. Первый тип включает в себя модели с постоянными упругими параметрами, но с шероховатой границей раздела. Второй тип состоит из моделей с плоскими границами раздела, но с параметрами, задаваемыми случайными величинами. При этом распределение упругих параметров в моделях второго типа (средние значения и ковариационная матрица) однозначно определяется шероховатостью границ раздела (длина корреляции и стандартное отклонение) в моделях первого типа.
- Представлен алгоритм построения персистентных диаграмм для оценки изменения топологии матрицы породы при взаимодействии с химически активным флюидом. В пространстве персистентных диаграмм вводится метрика, которая позволяет выполнять их кластеризацию для количественной оценки “схожести” изменений топологии порового пространства в процессе растворения матрицы породы. На основе такой кластеризации показано, что одним из доминирующих параметров в процессе химического взаимодействия флюида с породой в пластовых условиях являются скорость реакции и коэффициент диффузии, в то время как скорость потока оказывает существенно меньшее влияние.
- Предложен численный метод оценки потерь энергии сейсмической волны, вызванных отражением, прохождением, а также рассеянием волны на системе трещин. В ходе работы проведен ряд численных экспериментов по распространению сейсмической волны в пористой флюидонасыщенной среде, содержащей трещиноватый участок. Результирующие волновые поля использованы для численной оценки затухания волны в трещиноватой среде. Для оценки потерь при прохождении границы раздела используется частотно-зависимый коэффициент отражения.

FUUM-2019-0009 Динамический анализ сейсмических данных для построения реалистичных моделей геологической среды на основе математического и физического моделирования.

Рук. к.ф.-м.н. А.А. Дучков

- Во-первых, проведена апробация метода стоячих волн для картирования подземных пустот и диагностики устойчивости зданий и сооружений. Метод состоит в накоплении амплитудных спектров записей микросейсмического шума, что позволяет выделить частотные пики, которые соответствуют модам резонансных колебаний. По результатам натурных измерений было проведено картирование Барсуковской пещеры (Новосибирская область), для которой максимальная глубина кровли достигает нескольких десятков метров. Контур пещеры и оценки глубины кровли хорошо согласуются с результатами спелеологической съемки. Также натурные эксперименты показали, что в условиях континентального климата сезонность может приводить к заметным изменениям резонансных свойств грунта. В определенные периоды они могут совпасть с собственными частотами стоящих на них сооружений и привести к снижению их сейсмобезопасности.
- Во-вторых, был разработан новый подход к обработке сейсмических данных методом многоканального анализа поверхностных волн (MASW). Для обработки на первом шаге к каждой трассе применяется новый метод одноканальной фильтрации для усиления поверхностных волн на основе выделения пиков S-преобразования. Далее для обработки сейсмограмм применяется предложенный

ранее метод двумерной фильтрации для помехоустойчивого выделения дисперсионных кривых волн Релея. Для построения скоростного разреза поперечных волн разработан метод инверсии дисперсионных кривых на основе использования искусственных нейронных сетей. Предложенный подход был протестирован на синтетических данных и показана его эффективность по сравнению с стандартными подходами – он дает устойчивые результаты и заметно сокращает время вычислений для больших наборов данных. Также проведена апробация метода на реальных данных 2D сейсморазведки.

Первый набор результатов создает базу для решения широкого спектра инженерных задач методом пассивного сейсмического мониторинга, включая детальное картирование подземных пустот, прогноз сейсмобезопасности зданий и сооружений и т.д.

Второй набор результатов формирует базу для построения слоистых моделей скоростей поперечных волн по данным инженерной сейсмологии и сейсморазведки. Также предложенные методы позволяют изучать структуру сложно-построенные геологические среды.

FUUM-2019-0010 Сейсмотомографическое моделирование для изучения геодинамических процессов.

Чл.-корр. РАН д.г.-м.н. И.Ю. Кулаков.

- Изучено сейсмическое строение верхней коры под вулканом Камбальный (южная Камчатка) на базе двух методик сейсмической томографии на основе данных по объемным и поверхностным волнам.
- Построена детальная сейсмическая модель под островом Акутан (Алеутская дуга), что дало возможность определить геометрию магматических и геотермальных систем, ответственных за современную вулканическую активность.
- С использованием метода шумовой томографии построена модель верхней коры в районе Ключевской группы вулканов, позволяющая проследить положение древних вулканических построек, с которых началось формирование группы.
- Построена модель сейсмических скоростей в коре и верхах мантии под бассейном Красного моря и его окрестностями, что позволило уточнить детали процесса перехода континентального рифтогенеза в океанический спрединг.
- С использованием спутниковых данных гравитационного поля выявлены структуры, связанные с питанием вулканов в Срединном хребте Камчатки.
- Исследованы особенности деформирования погружающейся Тихоокеанской литосферной плиты по данным механизмов очагов землетрясений.
- Построена уточненная модель скоростной структуры земной коры под восточной Анатолией, которая показала наличие литосферного окна под этой коллизионной зоной. • Исследовано затухание сейсмических волн в районе Загрос (юго-запад Ирана) с использованием полноволновых сейсмических записей 2006-2019 гг.
- Новое томографическое исследование вулканической группы Татун на плотных данных позволило выявить форму и положение магматического резервуара, а также наличие спорадических магматических вторжений/андерплейт в нижнюю часть коры хребта Хусехшань и северного Тайваня.

FUUM-2019-0011 Реология земной коры юга Сибири и ее окружения (космическая геодезия, гравиметрия и сейсмические методы).

Рук. д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев

- Гравиметрические модели, полученные спутниковыми методами и наземные измерения, определение мощности земной коры Горного Алтая Результаты

наземных измерений в районах Горного Алтая, полученные методами абсолютной гравиметрии и космической геодезии, проанализированы совместно с моделью геопотенциала EIGEN-6C4 (модель рельефа ETOPO1), построенной по спутниковым данным (Рисунок 28). Рассматривались гравиметрические результаты, полученные в 60-е. Получено отличия, связанные с изменением Потсдамской системы и системы высот. Анализируя результаты построений в редукциях Буге и Фая по модели EIGEN-6C4, следует сделать вывод, что в целом территория Горного Алтая изостатически скомпенсирована. Являются некомпенсированными отдельные межгорные впадины, например, Курайская, Тувинская котловина, долин озер в Монголии. Построен график мощности земной коры, по линии в 840 км: Новосибирск (юг Западной Сибири) - плато Укок (Горный Алтай). Мощность коры увеличивает с северо-запада до юго-востока территории от 40 до 50 км.

- Мониторинг процесса откачки из месторождения методами гравиметрии и спутниковой навигации Для Заполярного и Ямбургского нефтегазовых месторождений, расположенных в Заполярной части Западной Сибири, определены характеристики техногенных деформаций, используя данные космической геодезии, абсолютной гравиметрии и результаты моделирования процесса откачки газа и флюида. Опускания центральной части месторождения (до 20 мм в год) соответствуют повышению значения силы тяжести на 7-8 микрогал в год (Рисунок 29). Горизонтальные смещения на краях месторождений в несколько раз меньше вертикальных, что соответствует модельным построениям.
- Изменение нагрузки водохранилища СШГЭС и вариации слабой сейсмичности Западных Саян Проанализирована связь сейсмичности и техногенных нагрузок Саяно-Шушенской ГЭС. Рассматривался банк данных землетрясений для Западно-Саянской области (1978- 2013). Результаты анализа показали связь количества слабых землетрясений, главным образом энергетических классов 6–8 (магнитуда от 0.5 до 2.0), и режима заполнения водохранилища (Рисунок 30). В период май-июнь зарегистрирована высокая скорость накопления напряжений в зоне водохранилища (0.01 МПа/сутки или до 1 КПа/час). Быстрое сезонное наполнение водохранилища (на 40 метров) может служить триггером для увеличения количества слабых землетрясений (минимум в три раза) в зоне водохранилища.
- Эффекты микропластичности при распространении сейсмических волн Для сейсмических и акустических волн зарегистрированы проявления микропластической деформации на микро/нано уровне, которые оказывают влияние на поведение скорости волны и ее гистерезиса в зависимости от амплитуды (Рисунок 31). Эффект зарегистрирован с помощью трех различных методик в сухой породе: полевые измерения на низких частотах, лабораторные - на образцах песчаника на килогерцовых частотах и отраженных волнах (1 МГц) при деформации (10–8–10–6). Амплитудно- зависимое изменение скорости волны на сейсмических, килогерцовых частотах и отраженных волнах (1 МГц) составляет 2% (с точностью 0,02%). Полевой эксперимент показал, что эффект микропластичности влияние амплитуды практически отсутствует при измерении в полно-водо-насыщенных суглинках. Область применения – физика горных пород.

FUUM-2019-0012 Закономерности и особенности литосферных процессов Сибири на основе мониторинга магнитного и теплового полей, данных сейсмологии и лабораторных экспериментов.

Рук. к.г.-м.н. П.Г. Дядьков

- Разработана 3D-магнитоупругая модель земной коры центральной части впадины оз. Байкал, которая в региональном плане учитывает магнитные свойства горных пород, изменения глубины залегания границы Кюри, разломно-блоковую

структуру, жёсткие структурные элементы, выделяемые как на основе пониженных значений сейсмической активности, так и с использованием карт аномального магнитного поля.

Разработка магнитоупругой модели включала следующие этапы:

- 1 - разработка геомеханической блоковой модели центральной части Байкальской впадины, которая обеспечивает возможность моделирования изменений напряженно-деформированного состояния в этом районе;
 - 2 – определение параметров аномалиеобразующего тела, являющегося источником Зареченской магнитной аномалии на основе решения обратных задач магниторазведки;
 - 3 – определение магнитных свойств горных пород, слагающих этот массив;
 - 4 – определение минерального состава пород;
 - 5 – оценка значений магнитоупругих коэффициентов.
- Разработан и изготовлен опытный образец глубоководного многофункционального зонда для регистрации геотемпературных параметров. Проведено его тестирование *in situ* в сложных ледовых условиях на озере Байкал в марте 2021 года.
 - Впервые для севера Западной Сибири разработан сводный магнитостратиграфический разрез верхнего мела Пур-Тазовского междуречья на основе комплексного изучения керна скважин.
 - Выполнены оценки глубинных температур в земной коре центральной части Байкальской впадины по данным о тепловом потоке и геологической информации.
 - Изучение зоны стабильности гидратов метана в породах Средневилюйского газоконденсатного месторождения (Вилуйская синеклиза).
 - Определение корреляционных связей между теплопроводностью, пористостью и проницаемостью мезозойских песчаников и алевролитов Западно - Сибирской плиты.
 - Определены особенности деформирования сейсмогенной среды в области подготовки землетрясения Чьяпас, Мексика, 8 сентября 2017 г., $M=8.2$, по данным механизмов очагов землетрясений.
 - Разработка методов поиска и изучения археологических памятников на основе прецизионных магнитных съемок.
 - Создание цифровой карты аномального магнитного поля для Южной и Центральной котловин байкальской впадины и их прибрежного окружения.

FUUM-2019-0013 Проявление процессов глубинной геодинамики в геосферах Земли по результатам мониторинга геомагнитного поля, ионосферы и космических лучей.

Рук. к.ф.-м.н. А.Ю. Белинская

- Полученные результаты исследований показывают, что непрерывный мониторинг космических лучей в широком диапазоне энергий позволяет получать информацию о процессах в околоземном пространстве, в магнитосфере и атмосфере Земли, а также осуществлять диагностику термобарического режима атмосферы.
- Проведено исследование температурного эффекта мюонов космических лучей (КЛ) в атмосфере. Используя полученные результаты, найдены временные вариации температуры на различных изобарических уровнях атмосферы по данным непрерывного мониторинга космических лучей на уровне моря. Полученные результаты сопоставлены с данными аэрологического зондирования. Показана возможность диагностики термобарического режима атмосферы по данным мониторинга космических лучей [3, 7, 10, 15, 18].
- Выполнено исследование ионосферного отклика на экстремальные геомагнитные бури 2015 года. Совместный анализ долготно-временных изменений ионосферных и геомагнитных параметров в средних и высоких широтах Северного полушария

выявил сильную зависимость возмущения от характеристик геомагнитного поля. Выявленная продольная структура изменчивости геомагнитного поля в спокойных геомагнитных условиях обусловлена несовпадением географического и магнитного полюсов и пространственными аномалиями разного масштаба в основном магнитном поле Земли. Показано, что изменения параметров ионосферы проявляют выраженную продольную неоднородность при изменении геомагнитных условий. Эта неоднородность связана с продольными особенностями фона и нарушенной структурой геомагнитного поля. Во время фазы восстановления шторма важная роль в динамике ионосферы средних широт может принадлежать волнообразным термосферным возмущениям молекулярного газа, распространяющимся на запад в течение нескольких дней [4, 5, 12, 25, 29].

- Проведен статистический анализ многолетних рядов параметров ионосферы над Новосибирском. Выявлено, что тренды критической частоты слоя F2 существенно зависят от уровня СА. Было установлено, что больший вклад в эти тренды вносят изменения максимальных значений foF2 независимо от порядка солнечного цикла. Для Новосибирска отмечено, что время достижения максимума и минимума суточного хода практически не меняется с СА, тогда как величина foF2 претерпевает значительные изменения. Амплитуды суточного хода находится в зависимости от уровня СА и сезона [1, 2].
- Исследования распределения числа сильных землетрясений и интенсивности КЛ относительно фазы солнечного цикла показали наличие положительной корреляции изменения числа сильных землетрясений и интенсивности КЛ. Причем наибольшие изменения числа землетрясений происходят в периоды, когда скорость изменения интенсивности КЛ в цикле СА максимальна. Увеличение числа сильных землетрясений на планете происходит на фазе спада солнечной активности, когда имеет место усиление потоков заряженных частиц из высокоширотных коронарных дыр, а также в минимуме солнечной активности, когда интенсивность галактических космических лучей достигает максимальных значений [20].
- Анализ данных непрерывных длительных (более 50 лет) наблюдений ионосферы и космических лучей позволил выделить полугодовую волну сезонной вариации ионосферы и космических лучей. Рассмотрен возможный механизм, согласно которому наблюдаемая полугодовая вариация параметра foF2 ионосферы может быть обусловлена изменениями нейтрального газа верхней атмосферы, вызванными метеорологическими эффектами нижней атмосферы, которые были спровоцированы изменениями интенсивности космических лучей [19, 21].
- Мониторинг тепловых и медленных нейтронов показал, что представленный детектор тепловых и медленных нейтронов обеспечивает достаточную статистическую точность и стабильность регистрации в течение длительного времени. По данным непрерывных наблюдений найден барометрический коэффициент для потока тепловых и медленных нейтронов у земной поверхности, который оказался значительно меньше барометрического коэффициента нейтронного монитора. Показано, что обнаруженный сезонный ход анизотропии потока тепловых и медленных нейтронов обусловлен накоплением осадков в виде снега [22, 24].
- Исследованы вариации ионосферных параметров до, во время и после землетрясений недалеко от ионосферной станции Новосибирск. Особое внимание было уделено событию 18.06.2013 г., которое может считаться самым крупным природно-техногенным сейсмическим событием в истории планеты. Ионосферные возмущения в период Бачатского землетрясения происходили во всей зоне его подготовки, определяемой радиусом Добровольского. За 2-е суток до события в нижней ионосфере наблюдались значительное повышение значений плотности ионизации в спорадических слоях и их сильная изменчивость от часа к часу, а

также превышение фоновых значений критической частоты слоя F2 в локальные предвосходные часы (до 20%). Эти изменения в ионосфере могут свидетельствовать о природном характере Бачатского землетрясения, которое было спровоцировано техногенным воздействием [16, 17, 27].

- Анализ вариаций геомагнитного поля по данным магнитной обсерватории Мемамбецу (Япония) в период подготовки Великого землетрясения Восточной Японии показал наличие выброса в юго-западном направлении среднесуточного положения расчетного северного магнитного полюса и постепенное понижение скользящих суточных значений величины локальной магнитной постоянной в течение примерно 30 часов до основного толчка. Это свидетельствует о необходимости продолжения усилий по анализу параметров магнитосферы с использованием таких интегральных характеристик магнитного поля, как скользящие 24-часовые значения «локальной магнитной постоянной», а также скоростей движения магнитного полюса эквивалентного диполя и изменения его магнитного момента [23].
- Выполнено исследование распределения числа сильных землетрясений (с магнитудой $M \geq 6$) относительно вариаций интенсивности галактических космических лучей (Форбуш-понижений ГКЛ) и вспышками солнечных космических лучей (СКЛ). Показано, что число сильных землетрясений увеличивается после Форбуш-понижений ГКЛ с запаздыванием во времени от ~ 1 до ~ 6 суток (в зависимости от амплитуды Форбуш-понижения), а после вспышек СКЛ число сильных землетрясений увеличивается на ~ 8 -ой день. В количестве сильных землетрясений наблюдается полугодовая вариация, которая как бы следует за полугодовой вариацией в космических лучах с задержкой ~ 1 -2 месяца. Высказано предположение, что связь солнечной активности с сейсмичностью Земли представляется опосредованной через модуляцию галактических космических лучей и атмосферные процессы, которые провоцируют появление землетрясений в регионах, где ситуация уже была подготовлена тектонической деятельностью [26].
- Рассмотрены крупные землетрясения с магнитудой $M \geq 7$ в период с 1970 - 2011 гг. Отбирались те события, для которых есть данные вертикального зондирования ионосферы на станциях, удаленных не более, чем на 300 км. Для работы были привлечены ряды наблюдений за 5 дней до и 5 дней после основного толчка. Проанализированы вариации критических частот слоя F2 ионосферы ($foF2$). Выявлено понижение дневных значений $foF2$ в день землетрясения. Для отдельных событий рассмотрено поведение спорадического слоя Es [31].
- Проведено экспериментальное исследование влияния осадков в виде снега на результаты измерений интенсивности потока нейтронов у земной поверхности. Найдена зависимость плотности от глубины снежного покрова, сделана оценка пробега поглощения нейтронов в снегу. Показано, что изменения снежного покрова на 10–12 см при его глубине 80 см вызывают вариации темпа счета монитора амплитудой 0.9 %. При глубине снежного покрова 80 см происходит уменьшение темпа счета нейтронного монитора на ~ 8 %. Коэффициент поглощения нейтронов в снегу был также найден по корреляции между темпом счета нейтронного монитора и количеством снега над детектором. Предложена коррекция данных нейтронного монитора на осадки в виде снега в реальном времени. Для этого был реализован непрерывный мониторинг глубины снежного покрова. Мониторинг обеспечивается снегомером, выполненным с использованием модуля лазерного дальномера [28].
- Проведено сопоставление направлений и скоростей движения магнитных полюсов по наблюдениям арктических и антарктических обсерваторий. Отмечено значительное изменение скорости движения северного магнитного полюса в

последние десятилетия Исследованы сезонные изменения в скорости движения магнитных полюсов. [6, 8, 9, 11, 13, 14].

- Проведен анализ характеристик изменений магнитного момента и движений магнитного полюса, полученных по данным магнитных обсерваторий INTERMAGNET. С применением скользящего 24-часового осреднения получены изменения геомагнитного поля, не связанные с суточным вращением Земли. Для выяснения истинных причин наблюдаемых пространственно-временных особенностей интегральных силовых и угловых характеристик магнитного поля необходимо их сопоставление со свободными от влияния суточных вариаций характеристиками геофизических параметров, в том числе гравитационных и сейсмических [32, 33].
- Выполнено мультиинструментальное исследование вариаций ионосферных и геомагнитных параметров в северном полушарии в период сильной магнитной бури в октябре 2016 г. на основе анализа данных евразийской среднеширотной цепи ионозондов, средне- и высокоширотных цепей приёмников GPS/ГЛОНАСС и магнитометров сети INTERMAGNET. Подтверждены проявления долготной неоднородности ионосферных эффектов, связанной с нерегулярной структурой долготной изменчивости компонент геомагнитного поля. Проведено сравнение сценариев развития ионосферных возмущений в условиях равноденствия в период сильной бури в октябре 2016 г. и экстремальной бури в марте 2015 г. На главной фазе магнитной бури в октябре 2016 г., также, как и бури в марте 2015 г., наблюдался переход от положительного к отрицательному эффекту ионосферной бури. На фазе восстановления бури в октябре 2016 г. наибольшее падение ионизации отмечалось в зоне сильных вариаций компонент геомагнитного поля на долготах ~130° в. д. (по данным ионозонда Якутск) и ~40–60° в. д. (по данным ионозондов Москва, Екатеринбург). Над регионом Евразии на долготах ~80–110° в. д. (по данным ионозондов Новосибирск, Иркутск) ионосфера раньше других долготных зон начала восстанавливаться после геомагнитного возмущения ввиду низкого уровня вариаций компонент геомагнитного поля на этих долготах [34].

FUUM-2019-0014 Скважинная геофизика в электропроводящих анизотропных диспергирующих средах на основе высокопроизводительных решений трехмерных задач, высокоточных данных каротажа и лабораторных исследований керна.

Рук. чл.-корр. РАН д.ф.-м.н. В.Н. Глинских

- Программно-алгоритмический комплекс численного моделирования и инверсии данных азимутального электромагнитного каротажа в процессе бурения горизонтальных скважин.
- Математическое моделирование и анализ сигналов высокочастотного индукционного каротажа в процессе бурения (ВИКПБ).
- Анализ электромагнитных сигналов ВИКПБ и функций чувствительности к модельным параметрам.
- Сравнительный анализ прибора ВИКПБ и его модификации по результатам моделирования и численной инверсии.
- Развитие программно-методического комплекса численной инверсии данных скважинной электрометрии в классе двумерных геоэлектрических моделей и результаты его применения для определения электрофизических характеристик меловых и юрских отложений Западной Сибири.
- Алгоритм на основе свёрточных нейронных сетей для решения задачи восстановления сигналов бокового каротажа из данных бокового каротажного зондирования.

- Геоэлектрические модели терригенных и карбонатных коллекторов по результатам численной инверсии реальных данных комплекса методов электрических (БКЗ, БК) и электромагнитных (ЭМК, ИК) каротажных зондирований.

FUUM-2019-0015 Реалистичные теоретические модели и программно-методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред.

Рук. д.т.н. И. Н. Ельцов

- Предложены и реализованы в виде программных комплексов модифицированные вычислительные схемы многомасштабных неконформных конечно-элементных методов для математического моделирования процессов фильтрации жидкости в пористых средах с учётом связности и частичной связности порового пространства. Показана зависимость тепловых свойств гетерогенных сред с фазоизменяющимися физическими свойствами от направления конвективного переноса жидкой фазы вещества в предположении многомасштабности порового пространства. Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение может быть использовано для решения задач мониторинга и прогнозирования тепловых свойств гетерогенных объектов как в геофизических приложениях, связанных с разработкой эксплуатацией углеводородных месторождений, так и создании фазоизменяемых материалов с теплоаккумулирующими свойствами. Предложены вычислительные схемы, позволяющие моделировать процесс бесконтактного (электромагнитного) измерения электрических свойств анизотропной среды. Реализованные методы могут использоваться для компьютерного воспроизведения процесса измерений в прискважинной зоне, в том числе с учетом тонкостенной сильнопроводящей обсадки скважины.
- Разработана и апробирована на практике оригинальная конструкция аппаратуры для малоглубинного электромагнитного профилирования, не имеющая прямых аналогов; Определены необходимые условия для применения разработанной аппаратуры, показана эффективность методики калибровки индукционной аппаратуры сопоставлением с результатами исследований методом электротомографии; Получены новые знания о строении курганных могильников Новосибирской области; показана эффективность, выявлены преимущества и недостатки разработанной аппаратуры в области изучения археологических объектов. 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. Развитие и применение разрабатываемой аппаратуры повысит эффективность поисковых и исследовательских работ в таких областях как инженерная геофизика, инженерно-экологические изыскания, археологические исследования и точное земледелие.
- Обоснованы новые методики измерений методом зондирования становлением поля с использованием трёх установок (индукционных, заземленных, комбинированных) для определения коэффициента анизотропии наиболее чувствительного к изменению сейсмического режима, с возможностью его прогнозирования. Разработаны рекомендации по методикам выполнения регулярных электромагнитных наблюдений комплексом методов с контролируруемыми источниками в зонах проявления опасных геодинамических процессов.
- Из-за сложного геоэлектрического строения геологической среды часто возникает необходимость использования 3D-моделей среды. В МТЗ для расчетов поля в

такой среде можно воспользоваться, в частности, методом Треффца. Взятая модель среды представляется набором параллелепипедов, в которых она однородна. Понятно, что с уменьшением размеров параллелепипедов и увеличением их количества точность расчетов будет возрастать. Однако при этом существенно увеличиваются и необходимые для расчетов вычислительные мощности. В отчете предложен один из вариантов преодоления возникающих трудностей, который связан с применением метода декомпозиции расчетной области. Расчеты поля в подобласти меньших размеров требуют меньших вычислительных ресурсов. С помощью численного моделирования показывается, как применяя метод декомпозиции расчетной области на субдомены (подобласти) - ограниченные по горизонтали участки полигона – можно свести решение прямой задачи МТЗ для полигона больших размеров к расчетам нескольких задач меньшей размерности.

- Создан прототип системы инверсии данных электромагнитного каротажа в классе моделей с непрерывным распределением удельного электрического сопротивления (УЭС). На примере синтетических данных, соответствующих характеристикам юрских отложений Тевлино-Русскинского нефтяного месторождения Западной Сибири, показано, что применение традиционных слоистых моделей для интерпретации данных комплекса электрокаротажа может приводить к неверной оценке характера насыщения, а применение моделей с плавным распределением УЭС повышает разрешение при восстановлении пространственного распределения и позволяет выделять окаймляющую зону в некоторых моделях с нейтральным или понижающим проникновением. Разработано, отлажено и опробовано в лабораторных условиях и на месторождении «Медвежье» программное обеспечение для измерителя УЭС жидкости в обвязке газовой скважины. Эта программно-аппаратная разработка позволяет по электрическому сопротивлению и температуре попутной воды рассчитывать ее минерализацию. На основе программно-алгоритмических наработок лаборатории создано и зарегистрировано специализированное ПО Russian Resistivity Models (RRM), позволяющее проводить петрофизическую интерпретацию данных БКЗ в тесной интеграции с Techlog компании Шлюмберже.
- Коллекция цифровых многофизичных моделей (МФМ) нефтяных коллекторов ATLAS MPhMR (ATLAS of MultiPhysical Models of Reservoirs) предназначена для изучения влияния параметров пластов и режимов бурения на эволюцию прискважинной зоны и показания каротажных приборов, построения МФМ пластов, наиболее соответствующие практическим каротажным диаграммам и априорным данным о изучаемом пласте, моделирования сценариев бурения скважин. Для построения МФМ коллекторов совместно моделируются геомеханические, гидродинамические, геоэлектрические процессы в окрестности скважины и рассчитываются синтетические сигналы приборов ВИКИЗ и БКЗ. Специализированный программный сервис хранения и организации большого объема разнородных данных, связанных с построением и визуализации МФМ использует концепцию информационной модели. Для оценки параметров глинистой корки, образующейся на стенке скважины при бурении, и выбора наиболее обоснованных моделей её роста и разрушения, проведены лабораторные эксперименты по образованию глинистой корки на образцах пород. Разработаны программы моделирования фильтрации для нефтенасыщенного трещиновато-пористого пласта в условиях деформирования прискважинной зоны на этапах бурения скважины и добычи углеводородов.

FUUM-2019-0016 Комплексные геолого-геофизические исследования строения дельты р. Лены (на прилегающих территориях к НИС «Остров Самойловский»).

Рук. к.ф.-м.н. Д.Е. Аюнов

- Исследование структуры многолетнемерзлых пород в южной части дельты р. Лена зондированием становления поля в ближней зоне (ЗСБ).
- Исследование зоны контакта северо-восточной части Сибирской платформы и Западно-Верхоянской складчатой области сетью локального сейсмологического мониторинга.
- Геоботанические исследования на основе наблюдений *in situ* и ГИС анализа данных беспилотной аэрофотосъемки.
- Из анализа полученных геoeлектрических разрезов методом ЗСБ можно сказать, что мощность многолетнемерзлых пород (ММП) в юго-восточной части дельты Лены составляет около 700 метров, что видно из обоих разрезов. Отмечается различие в строении глубинной части на этих двух профилях. На первом профиле при приближении к руслу Быковской протоки видно уменьшение сопротивления на глубине 600-700 метров, что может говорить о трещиноватости пород в разломной зоне. Эта же разломная зона проявляется низким УЭС по данным МТЗ. На втором профиле, который полностью находится на о. Самойловский, такого не наблюдается и параметры ММП стабильны как по мощности, так и по сопротивлению.
- С помощью МТЗ построен глубинный геoeлектрический разрез приустьевой части дельты р. Лены, который характеризует блоковую структуру данного района. Также определена мощность многолетнемерзлых пород вдоль профиля исследований, которая варьируется в пределах от 200 до 1000 метров. Вариации сопротивлений указывают на возможное существование подрусловых таликов непосредственно под многочисленными руслами и протоками. В целом, полученные данные уточняют геологическое строение сложнейшего в тектоническом плане района сибирской Арктики. Полученные данные обеспечивают информацией о глубинном геологическом строении территории, а также методически иллюстрируют возможности применения МТЗ в ходе исследований глубинного строения в районах со сплошным и прерывистым распространением ММП.
- Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) имеет высокий потенциал для исследования мерзлотных условий дельтовых комплексов Крайнего Севера, а в комплексе с другими методами позволит заметно расширить область исследований. Использование метода МТЗ позволило проследить блоковую тектоническую структуру района исследований, геологическое строение самих блоков, а также проследить подошву ММП. Ранее представления о строении дельтовой части основывались только на предположениях, опирающихся на аналогии в образовании с Анабарским массивом. Полученные данные имеют высокую научную ценность, так как обеспечивают понимание глубинного геологического строения территории, информация о котором ранее была недоступна. Также велика методическая ценность выполненного исследования, так как оно иллюстрирует возможность применения МТЗ в ходе изучения глубинного строения в районах со сплошным распространением ММП.
- В ходе сейсмологических исследований по записям за сезон 2019-2020 гг. были определены гипоцентры 250 локальных землетрясений и выделена зона повышенной сейсмической активности, представляющая особый интерес. С марта 2020 здесь произошла серия землетрясений (несколько десятков). Самое крупное с магнитудой 4.3 является сильнейшим землетрясением, произошедшим в районе дельты реки Лена с 2011 года (по информации ФИЦ ЕГС РАН). Это

свидетельствует об активизации сейсмической активности, связанной с разломной структурой на севере Хараулахского хребта, и актуальности детальных сейсмологических исследований в этом районе. По записям 332 локальных землетрясений за трехгодичный период было произведено построение сейсмотомографической модели в районе НИЦ «Остров Самойловский» (дельта р. Лены). Новая модель была использована для уточнения гипоцентров локальных землетрясений, а также уточнения тектонического строения региона. Анализ структур аномалий позволил интерпретировать зону пониженного соотношения V_p/V_s как породы, относящиеся к Сибирской платформе. Также её границу была сопоставлена с известным геологическим разломом, проходящим вдоль Оленёкской протоки [Имаева и др., 2019]. В силу ограниченности набора входных данных (времен прихода Р- и S-волн), у нас нет возможности проверить устойчивость решения обратной задачи общепринятыми тестами по типу «четные и нечетные источники» [Koulakov, Sobolev, 2006]. Поэтому полученные результаты мы рассматриваем как предварительные, которые будут проверяться и уточняться по мере поступления новых данных.

- Данные полученные с использованием беспилотной аэрофотосъемки являются уникальной основой для мультидисциплинарных исследований в дельте р. Лена. Они важны при интерпретации данных магнитной съемки, малоглубинной электроразведки, при построении геоботанических карт высокой точности, а также геоморфологических исследованиях. Результаты детального геоморфологического картографирования криогенных форм рельефа с использованием ГИС-анализа данных с БПЛА, открывают перспективы для выяснения динамики термоденудационных процессов. Более того, в силу детальности пространственного разрешения данных, полученные оценки обладают высокой точностью и отражают локальные изменения рельефа под воздействием глобальных процессов изменения климата, влияние которых испытывает на себе север среднесибирской Арктики. Актуальность подобных исследований обусловлена возможными дальнейшими изменениями климата при выбросе газов, в настоящий момент заключенных в многолетнемерзлых грунтах. В связи с этим, оценка динамики процессов деградации мерзлоты приобретает особую значимость. В ходе исследования ключевого участка (острова Самойловский) определен ряд закономерностей геологического, геоморфологического и геокриологического строения, которые позволили выявить ряд геолого-геоморфологических критериев оценки состояния полигонального рельефа. Изучение отложений первой террасы на разных островах южной части дельты реки Лены позволило определить 4 основных литотипа, которые их слагают. Литологический субстрат играет важную роль при формировании повторножильного льда (ПЖЛ). Выяснено, что сингенетические ПЖЛ первой террасы в принципе распространены в отложениях, представленных двумя литотипами, которые формировались в субэральных условиях относительно долгое время. Например, в случае с островом Самойловским, около 8 тысяч лет. Выраженный полигональный рельеф на поверхностях островов первой террасы, указывает на то, что их разрез представлен двумя литотипами. В свою очередь, поверхности без полигонального рельефа или со следами морозобойного растрескивания указывают на наличие 3 литотипа в приповерхностной части разреза. Это связано с процессами размыва типичных для первой террасы пачек переслаивания алевро-песчаного материала с органогенным материалом, их эрозионного среза и накопления третьего литотипа, представленного отложениями с флювиальными седиментационными текстурами и без растительного детрита в значительном количестве. Подобные процессы развивались из-за постоянной миграции русел протоков в дельте. Общие геоморфологические критерии для картографирования полигональных микроформ рельефа были определены на

основании обзора современных представлений о зависимости морфологии полигонов от деградации ПЖЛ. ГИС- анализ позволил нам проследить известные ранее закономерности непосредственно на данных дистанционного зондирования с БПЛА и создать единую легенду картографирования. Описание этапности методики картографирования обеспечивает воспроизводимость результатов. Таким образом, выявлены геологические и геоморфологические критерии оценки состояния полигонального рельефа на основе данных с БПЛА и создана методика детального полуавтоматического ГИС-картографирования. Методика применима для различных тематических исследований в областях распространения полигонального рельефа, который составляет значительную часть низменностей Арктики. Результаты исследования уже сейчас используют наши отечественные и зарубежные коллеги в междисциплинарных международных проектах. Практическое значение методики заключается в возможности её применения при инженерно-геологических изысканиях. Теоретическое значение заключается в возможности использования методики для оценки состояния полигонально-жильных структур как индикатора реакции природной среды Арктики на глобальные климатические изменения. Ввиду современных изменений природно-климатических условий на территории Арктики, степень актуальности работы высока.

- Посредством комплекса ГИС - анализа детальных данных с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и полевых геоботанических исследований выявлены геоморфологические и геоботанические особенности термокарстовой котловины (аласа) в южной части острова Курунгнах (южная часть дельты р. Лены). В частности, ГИС-анализ аэрофотоснимков и цифровой модели рельефа и натурные наблюдения позволили выявить на дне исследуемого аласа поверхность, представленную байджараховым микрорельефом и описать ее морфометрические параметры. Согласно ботаническим изысканиям, растительный покров котловины представлен комплексом высокопродуктивных сообществ с доминированием злаков и граминоидов. Также мы определили относительный возраст изучаемой котловины. Она сформировалась на месте неглубокого термокарстового озера, спущенного не более 40 лет назад. Формирование котловины, ее рельефа и растительности связано со специфическим сочетанием термокарстовых и термоэрозийных процессов, обусловивших непродолжительную фазу озерного развития котловины и относительно неглубокую деградацию пород ЛК. Термокарстовые процессы в многолетнемерзлых грунтах являются не только следствием изменения климата, но постоянно протекают локально вследствие местных причин различного рода и представляют неотъемлемую часть динамики многолетнемерзлых грунтов на протяжении всего времени их формирования. В течение четвертичного периода проявления этих процессов имели большое значение для формирования рельефа, поддержания разнообразия местообитаний и связанного с ними биоразнообразия растительного и животного мира ландшафта. Высокопродуктивные злаковники, формирующиеся на поверхности байджарахов, могли служить важной кормовой базой для представителей плейстоценовой мегафауны в прошлом. Геотермические исследования позволили получить количественные характеристики температурного режима активного слоя подветренных участков арктической тундры (склоны аласов, оврагов, берегов), создающие условия для формирования характерных растительных сообществ в дельте.
- Комплексное применение методов дистанционного зондирования, геоморфологического и геохимических анализов позволило картировать малые озера о. Самойловский и о. Курунгнах, разделив их на группы в зависимости от расположения: 1) на ледовом комплексе 3-ей террасы, 2) в термокарстовых

котловинах (разной степени деградации) на 3-ей террасе, 3) на поверхности 1-ой речной террасы. Вода в исследованных озерах пресная с низкими концентрациями химических элементов, спецификация химсостава существенно варьирует в зависимости от степени деградации многолетнемерзлых пород. Установлено, что в ходе взаимодействия вода-порода и выщелачивания происходит вынос из мерзлоты соединений редкоземельных элементов и Li, Be, As, Zn, Ag, Ba, Pb, Ва. Полученные результаты трёхлетних исследований (2019-2021 гг.) служат 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.

- Палеонтологические исследования среднеюрских отложений дельты р. Лены позволили описать среднеюрскую морскую биоту Арктики, особенности ее экологической и биогеографической структуры. Полученные данные позволяют восстановить условия существования и пути миграции различных групп организмов. Впервые в отложениях позднего кайнозоя (неоген) на о. Сардах-Сисе, расположенном в дельте р. Лены, обнаружены отпечатки листовой флоры хорошей сохранности, принадлежащие таксонам *Platanus* sp., *Alnus* sp., *Fagus* sp., *Salix* sp., *Magnolia* sp. Находки приурочены к слою ожелезненных песчаников в основании разреза, содержащих также остатки хвойных растений. Состав флоры позволяет сделать вывод о произрастании на исследуемой территории смешанных лесов, состоящих из хвойных, мелко- и широколиственных теплоумеренных и субтропических листопадных видов деревьев и кустарников. Эти отложения могли формироваться в раннем-среднем миоцене, а не в плиоцене, как считалось до настоящего времени. Местонахождение листовой флоры неогенового возраста на о. Сардах-Сисе является самым северным на Евразийском континенте.

Приоритетное направление IX.131. Геология месторождений углеводородного сырья, фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа, научные основы формирования сырьевой базы традиционных и нетрадиционных источников углеводородного сырья

FWZZ-2019-0006 Разработка методик оценки ресурсов, разведки и подсчета запасов залежей трудноизвлекаемой нефти в углеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых, карбонатных и засоленных песчаных коллекторах.

Рук. к.г.-м.н. М.А. Фомин

- На основе комплексного анализа результатов аналитических исследований кернa и данных электрического и радиоактивного каротажа установлены статистически значимые взаимосвязи концентраций основных породообразующих компонентов баженовской свиты для юго-восточных районов Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Выработан методический подход для расчета содержания глинистых, карбонатных минералов, кремнистого материала, органического вещества и пирита. Построена объемная модель их расчетного содержания в разрезе скважины Арчинская-47. Анализ молекулярных показателей, основанных на распределении ароматических соединений, показал их высокую чувствительность к вариациям зрелости аквагенного органического вещества в пределах одной стадии катагенеза. В совокупности с результатами углепетрографических и пиролитических исследований кернa это повышает достоверность оценки степени катагенетической преобразованности органического вещества баженовской свиты. Замечена отчетливая тенденция к снижению и выравниванию значений этих показателей в битумоидах закрытых пор по сравнению с битумоидами из открытого порового пространства. На основании разреза скважины Чириндинская-271 проведена реконструкция истории

погружения осадочного чехла Курейской синеклизы, восстановлена история катагенеза куонамской нефтегазопроизводящей толщи до начала траппового магматизма, установлено время вхождения куонамского комплекса в главную зону нефтеобразования, рассчитаны масштабы генерации углеводородов на момент до начала траппового магматизма. Изучено 48 проб нефтей и конденсатов месторождений Восточной и Западной Сибири, в том числе пробы нефтей баженовской свиты. Экспериментально установлена зависимость диэлектрической проницаемости и времени поперечной релаксации от содержания разных групп углеводородных соединений, которая показала высокую чувствительность применяемых в работе методов к содержанию смолисто-асфальтеновых соединений. Увеличение их доли в составе пробы нефти приводит к существенному уменьшению времен поперечной релаксации и значительному увеличению значений диэлектрической проницаемости. По ЯМР-данным был определен групповой состав проб нефти, который с точностью до 5% при температуре 25°C согласуется с результатами лабораторного геохимического анализа.

FUUM-2019-0017 Модели геологического строения, условия формирования и прогноз нефтегазоносности юрско-меловых отложений арктических регионов Сибири.

Рук. к.г.-м.н. С.В. Ершов

- Количественная оценка перспектив нефтегазоносности геттанг- синемюрского, плинсбахского, тоарского, аален-байосского, батского и оксфордского региональных резервуаров юрских отложений Енисей- Хатангской и восточной части Гыданской нефтегазоносных областей Сибирского сектора Арктики

Выполнена количественная оценка перспектив нефтегазоносности геттанг- синемюрского, плинсбахского, тоарского, аален-байосского, батского и оксфордского региональных резервуаров, нижнеюрского, среднеюрского, верхнеюрского нефтегазоносных комплексов и юрских отложений в целом Енисей-Хатангской и восточной части Гыданской нефтегазоносных областей Сибирского сектора Арктики. Построены карты перспектив нефтегазоносности по каждому из отмеченных нефтегазостратиграфических подразделений. Количественная оценка выполнена с использованием наиболее достоверного метода – геологического способа по удельным плотностям запасов углеводородов на единицу площади на базе разработанных авторами отчета структурных, фильтрационно-емкостных и экранирующих моделей строения резервуаров и их составных частей (проницаемых комплексов и флюидоупоров), а также выполненных палеогеографических реконструкций.

- Строение региональных резервуаров ачимовского нефтегазоносного комплекса Гыданского полуострова

Построена априорная модель ачимовского нефтегазоносного комплекса Гыданского полуострова. Рассмотрены особенности его строения и условия формирования. В разрезе ачимовской толщи выделены шесть региональных резервуаров, по каждому из которых построены прогнозные карты толщин песчаников. Проведенные исследования позволили выделить ряд перспективных зон нефтегазонакопления с повышенными толщинами песчано-алевритовых отложений, с которыми связываются зоны улучшенных коллекторов.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при планировании геолого-разведочных работ на нефть и газ, лицензировании участков недр, а также при

определении основных направлений освоения арктических регионов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

FUUM-2019-0018 Построение моделей геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности фанерозойских и неопротерозойских осадочных комплексов Лено-Тунгусской НГП для формирования программы геологоразведочных работ и лицензирования недр.

Рук. к.г.-м.н. С.А. Моисеев, к.г.-м.н. И.А. Губин.

- В рамках научно-исследовательской работы за 2021 год выполнена работа по обобщению и научному анализу материалов по региональной геологии и нефтегазоносности восточной части Северо-Алданской НГО. Согласно современному нефтегазогеологическому районированию ныне эта территория относится к Алдано- Майской НГО. На основе изучения опубликованных и фондовых материалов изложена история геологического изучения и поисков нефти и газа на территории Алдано-Майской НГО. Построены типовые литолого-акустические модели разреза глубоких скважин. Выполнена переинтерпретация архивных и современных сейсмических профилей МОГТ 2D протяженностью свыше 10 тыс. км. Построен набор сейсмогеологических разрезов по региональным композитным профилям, структурных карт и карт толщин основных сейсмогеологических комплексов. Построена геологическая карта рифея со снятыми венд- фанерозойскими отложениями, отвечающая современной стадии геолого-геофизической изученности. Дана характеристика основных нефтегазоносных комплексов осадочного чехла в пределах исследуемой территории. Определены потенциальные нефтегазоперспективные объекты в рифейских, вендских и кембрийских резервуарах. Выделены перспективные участки, даны рекомендации для лицензирования нераспределенных участков недр.

FUUM-2019-0019 Геология, условия формирования и закономерности размещения залежей углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами в Западно-Сибирском мегабассейне.

Рук. к.г.-м.н. В.А. Казаненков

- Впервые выполнены палеогеографические реконструкции времени накопления отдельных песчаных горизонтов Ю4, Ю3 и Ю2. На основе выполненных построений в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции установлены региональные закономерности распространения коллекторов в аллювиальных, озерно-аллювиальных, дельтовых, прибрежно-морских и морских отложениях поздний байос – батского возраста. Обоснован палеогеографический контроль формирования пород-коллекторов в батском региональном резервуаре.
- Детальное изучение вахского и нюрольского типов разрезов баженовской свиты, распространенных в южных и юго-восточных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна, позволили уточнить модели осадконакопления в этапы ранневолжско – раннерязанского времени. На основе комплексного литолого-геохимического исследования керн с учетом геофизических и палеонтологических данных установлено, что в юго-восточных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна формирование обогащенных органическим веществом осадков баженовской свиты завершилось в начале рязанского века, т.е. в конце этапа накопления биогенных кремнистых илов. С середины рязанского века происходило формирование обедненных органикой глин куломзинской свиты. С учетом результатов испытания горизонта Ю0 выявлены интервалы наиболее благоприятные для формирования коллекторов.

- На основе комплексного исследования геолого-геофизических материалов по более чем 700 скважинам пробуренных в пределах Тазо-Хетского структурно-фациального района (СФР) и прилегающих к нему Пурпейско-Васюганского, Фролово-Тамбейского и Гыданского фациальных районов, включающих в себя комплексы ГИС, литолого-петрографические и палеонтологические данные, а также результаты сейсморазведочных работ (2D), проведена детальная корреляция верхнеюрских отложений Тазо-Хетского СФР и прилегающих к нему территорий. По результатам корреляции в составе сиговской свиты выделены отдельные песчаные горизонты группы СГ, проиндексированные в соответствии с утверждённой номенклатурой продуктивных пластов. Установлено взаимоотношение сиговской свиты с перекрывающей её толщей яновстанской свиты и подстилающими породами точинской свиты. Сама сиговская свита расчленена на две подсвиты (верхнюю и нижнюю) распространение которых прослежено на всей территории СФР. По литологическим особенностям строения в сиговской свите выделено четыре типа разреза (один из которых развит в Усть-Енисейском подрайоне на севере СФР, и три – в Турухан-Елогуйском, на юге), каждый из которых подразделяется на отдельные подтипы, что отражено на карте районирования Тазо-Хетского СФР. Для каждого из типов разреза автором предложены собственные стратотипические разрезы песчаных пластов СГ.

FUUM-2019-0020 Сейсмостратиграфия, тектоника и нефтегазоносность арктических регионов Сибирской платформы (Енисей-Хатангская, Анабаро-Хатангская и Лено-Анабарская НГО) и шельфа моря Лаптевых, разработка сейсмогеологических критериев выявления и детального картирования нефтегазоперспективных объектов и залежей углеводородов.

Рук. чл.-корр. РАН В.А. Конторович

- **Арктические регионы Западной Сибири, южная часть Карского моря.**

В Западной Сибири в составе мезозойско-кайнозойского осадочного чехла выделены триасовый, юрский, неокомский (берриас-нижнеаптский), апт-альб-сеноманский и турон-кайнозойский осадочные сейсмогеологические мегакомплексы. Этот регион является одной из крупнейших в мире газоносных провинций, в которой основные запасы газа сконцентрированы в апт-альб-сеноманском комплексе пород. Уникальные по запасам массивные газовые залежи Надым-Тазовского междуречья (Уренгойское, Медвежье, Ямсовейское, Русское, Харампурское, Южно-Русское и др. месторождения) локализованы в сеноманском песчаном горизонте ПК1, залегающем под кузнецовским региональным флюидоупором. На крайнем севере Западной Сибири (п-ва Ямал и Гыданский) в Ямальской и Гыданской НГО наиболее перспективным является верхнеаптский комплекс, в котором крупные многопластовые газовые скопления (Геофизическое, Гыданское, Штормовое, Соленинское, Пеляткинское и др. м-я) сконцентрированы, главным образом, в пластах группы ТП и сверху экранированы танопчинским (ханты-мансийским) флюидоупором. Все крупные газовые залежи контролируются высокоамплитудными антиклинальными структурами, сформированными, благодаря молодым кайнозойским тектоническим движениям. Северные районы Западной Сибири также богаты нефтью, залежи которой сконцентрированы, главным образом, в верхней юре и неокоме.

Анализ геолого-геофизических материалов показал, что южная часть Карского моря является северным окончанием Западно-Сибирского бассейна и эта часть акватории выделена в составе Южно-Карской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирской

нефтегазоносной провинции (НГП). В Южно-Карской НГО по аналогии с северными районами Западной Сибири основные перспективы газоносности связаны с апт-альб-сеноманскими отложениями, наиболее перспективными в отношении жидких углеводородов являются юрский и неокомский комплексы.

По результатам проведенных исследований в северных частях полуостровов Ямал и Гыданский и в южной части Карского моря в структурных планах юрско-меловых горизонтов выделено 113 антиклинальных ловушек, в том числе 68 на континенте и 45 в акватории и построена модель геологического строения наиболее перспективного в отношении нефтеносности неокомского комплекса.

Наиболее перспективными являются неокомский и апт-альб-сеноманский комплексы.

• Шельф Карского моря

На шельфе Карского моря развиты два осадочных бассейна, которые разделены островами архипелага Новая Земля и Северо-Сибирским порогом, который представляет собой крупный, контрастный эрозионно-тектонический выступ фундамента.

Расположенные в акватории Южно-Карский и Северо-Карский осадочные бассейны обладают высокими перспективами нефтегазоносности.

Южная часть акватории в тектоническом плане охватывает Южно-Карскую региональную депрессию, которая является северным окончанием Западно-Сибирской геосинеклизы. В нефтегазоносном отношении южная часть Карского моря выделена в составе Южно-Карской НГО Западно-Сибирской НГП, в пределах которой наибольший интерес в отношении газоносности представляет апт-альб-сеноманский комплекс пород. В отношении жидких углеводородов – неокомские и юрские отложения. Нефтегазоносность Южно-Карской НГО доказана открытием месторождений Ленинградского, Русановского, Победа, Маршала Жукова и Маршала Рокосовского.

Северная часть Карского моря представляет собой самостоятельную Северо-Карскую нефтегазоносную провинцию, перспективы которой связаны с палеозойскими осадочными комплексами кембрия-перми.

В этом бассейне:

- получил развитие мощный, до 14000 м осадочный чехол;
- в структурных планах различных стратиграфических уровней выделяются крупные депрессии и поднятия – зоны нефтегазообразования и нефтегазонакопления;
- в различных осадочных комплексах выделяются антиклинальные, структурно-тектонические, структурно-стратиграфические, структурно-литологические и тектонически-экранированные ловушки; в волновых сейсмических полях фиксируются сейсмofации, характерные для рифогенных построек и солянокупольных структур.

• Енисей-Хатангский региональный прогиб

Енисей-Хатангский региональный прогиб расположен на севере Красноярского края в Таймырском автономном округе.

1. ЕХП в тектоническом плане относится к древней Сибирской платформе с архейско-протерозойским фундаментом, перекрытым мощными до 10 км толщами верхнепротерозойско-палеозойских и мезозойских платформенных отложений.

2. После эдиакарской аккреции Центрально-Таймырского террейна и его вхождения в состав Сибирского кратона в поздне-неопротерозойско-палеозойское время в депрессионной части Енисей-Хатангского регионального прогиба, как и на всей северо-западной пассивной континентальной окраине Сибирского кратона, существовал осадочный бассейн, который впоследствии был частично трансформирован коллизионными процессами, вероятно, связанными с движениями Карского массива

(микроконтинента) и последующим орогенезом (в частности в позднем карбоне и перми) с формированием обширной предгорной впадины.

3. На рубеже перми и триаса значительные территории Сибирской платформы, Западно-Сибирской плиты, Таймыра и Южно-Карского бассейна оказались под воздействием Сибирского суперплюма с повсеместным (площадным) формированием продуктов траппового магматизма. В последующее мезозойское время территория Горного Таймыра испытала новый этап тектонической активизации с образованием складчатости и надвиговых структур, а осадочный бассейн на севере Сибирской платформы локализовался в Енисей-Хатангском прогибе, продолжая унаследовано прогибаться относительно структур обрамления, а образования палеозоя перекрылись мезозойскими осадочными толщами.

4. Выраженный платформенный облик неопротерозойско-палеозойских отложений, синхронное залегание древних и мезозойских осадочных комплексов в осевой наиболее погруженной части линейной депрессии, широкое территориальное распространение траппового магматизма, не локализованного в линейной структуре прогиба и поэтому никак с ней не связанного, характер распределения потенциальных полей, отражающих положение глубинных разломов и выступов фундамента, позволяют сделать вывод о том, что формирование Енисей-Хатангского регионального прогиба не было связано с позднепермско-раннетриасовым рифтогенезом, как предполагают многие специалисты

5. Наибольший интерес в отношении нефтегазоносности представляют берриас-аптские отложения, в первую очередь, неокомский клиноформный комплекс, с которым связано уникальное по запасам Пайяхское нефтяное месторождение. В берриас-барреме Енисей-Хатангский бассейн, по аналогии с Западно-Сибирским, имел ярко-выраженное ассиметричное строение. Сибирская платформа, которая на этом этапе развития выполняла роль основного источника сноса, существенно возвышалась над Таймырской складчатой областью, что предопределило северо-западную направленность клиноформ, которые доходят практически до Таймырского блока. В притаймырской зоне на временных разрезах фиксируются неярко выраженные встречные клиноформы южного погружения.

6. Зона, перспективная для формирования неокомских нефтяных залежей, протягивается на восток до Рассохинского мегавала, расположенного в центральной части Енисей-Хатангского регионального прогиба; открытия крупных нефтяных залежей можно ожидать к северу от Озерной, Джангодской, Среднепясинской, Верхнекубинской и Рассохинской площадей, где строение неокома аналогично Пайяхской зоне нефтенакпления.

- **Континентальная окраина Сибирской платформы (Анабаро-Хатангская, Лено-Анабарская НГО Лено-Тунгусской НГП)**

На крайнем севере Сибирской платформы, в Анабаро-Хатангской и Лено-Анабарской НГО развит неопротерозойско-мезозойский осадочный бассейн, мощность которого достигает 14-16 км.

Геологический разрез Хатангско-Ленского региона представлен образованиями архейско-протерозойского фундамента и верхнепротерозойско-фанерозойского осадочного чехла, который сложен отложениями рифея, венда, кембрия, ордовика-силура, девона-карбона, перми, триаса, юры и мела.

Арктические регионы Сибирской платформы, безусловно, являются перспективными в отношении нефтегазоносности. В этом регионе в 2017 г. в Хатангском заливе компанией ПАО «Роснефть» открыто Центально-Ольгинское нефтяное месторождение.

Здесь отмечены многочисленные битумо-, нефте- и газопроявления; развиты неопротерозойские, девонские и пермские нефтепроизводящие формации; в разрезах всех осадочных комплексов выделяются высокеемкие пласты-коллекторы; существуют предпосылки для формирования как антиклинальных, так и сложнопостроенных нефтегазоперспективных объектов в отложениях рифея, венда, кембрия, девона-карбона, перми и триаса.

В Анабаро-Хатангском регионе наибольший интерес в отношении нефтегазоносности представляют связанные с девонскими соляными куполами антиклинальные структуры. Вблизи развития открытых диапиров, «протыкающих» всю толщу верхнего девона, карбона и перми, могут формироваться структурно-тектонические ловушки, связанные с выклиниванием терригенных и карбонатных коллекторов на соляные штоки. Над погребенными соляными куполами в пермских и мезозойских отложениях могут формироваться классические антиклинальные ловушки. Анализ сейсмических материалов позволяет выделить в карбонатах кембрия и девона-карбона волновые поля, характерные для органогенных построек.

В Лено-Анабарской НГО интерес в отношении нефтегазоносности представляют отложения перми, кембрия, венда и рифея. Нефтегазоперспективные объекты в пермских отложениях могут быть связаны литологическими ловушками и антиклинальными структурами, расположенными на побережье моря Лаптевых.

Кембрий и венд перспективны, главным образом, в южной части Лено-Анабарской НГО, где в зонах выклинивая, срезания и литологического замещения коллекторов залежи углеводородов могут контролироваться структурно-стратиграфическими, структурно-литологическими и структурно-тектоническими ловушками. Интерес в отношении нефтегазоносности представляют расположенные в южной части Лено-Анабарской НГО эрозионно-тектонические выступы рифея, залегающие на глубинах 1400-1500 м и перекрытые пермью.

• Шельф моря Лаптевых (Лаптевоморский ПНГП).

Лаптевоморский осадочный бассейн выделен в составе Лаптевоморской перспективной нефтегазоносной провинции (ПНГП). Несмотря на то, что в этой акватории не пробурено ни одной глубокой скважины, большинство специалистов высоко оценивают перспективы ее нефтегазоносности. Лаптевоморский бассейн бурением не изучен, анализ сейсмических материалов свидетельствует о том, что в западной части моря Лаптевых получила развитие мощная, до 15-16 км толща осадочных платформенных отложений.

Акватория моря Лаптевых не изучена глубоким бурением и вопросы, касающиеся стратификации отражающих горизонтов, возрастных датировок фундамента и платформенных осадочных комплексов, являются дискуссионными. В 70-80-х гг. прошлого столетия доминировали работы, в которых предполагалось, что западная часть шельфа моря Лаптевых является продолжением древней Сибирской платформы и на этой территории развиты как древние, так и молодые осадочные комплексы от рифея до кайнозоя, залегающие на архейско-протерозойском фундаменте. Со второй половины 90-х гг. XX века и по настоящее время в большинстве публикаций делается вывод о том, что в акватории фундамент имеет позднекиммерийский возраст, а весь осадочный чехол сложен верхнемеловыми и кайнозойскими отложениями.

Проведенный анализ геолого-геофизических материалов по континентальной окраине Сибирской платформы, шельфу моря Лаптевых и сопредельным складчатым сооружениям, позволил сделать вывод о том, что Лаптевоморский бассейн в геологическом плане представляет собой северное продолжение Сибирской платформы и здесь перспективы нефтегазоносности будут связаны с верхнепротерозойско-палеозойскими осадочными комплексами.

FUUM-2019-0021 Основные седиментационные и постседиментационные процессы и закономерности их эволюции в протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнах Сибири.

Рук. к.г.-м.н. П.А. Ян

- Седиментационные и постседиментационные процессы формирования терригенных и карбонатных коллекторов, в том числе с трудно извлекаемыми запасами в кембрийских бассейнах Сибири.
- Структура, обстановки седиментации и постседиментационные изменения мезозойских отложений осадочных бассейнов Сибири.

В результате разносторонних литологических исследований арктических территорий Сибирской платформы установлен спектр мелководно-морских и прибрежных обстановок формирования рифей-вендского разреза с закономерным чередованием терригенной и карбонатной седиментации в центральной части Лено-Анабарской НГО. Выявлены закономерности развития венд-кембрийского осадочного бассейна на юго-востоке Западной Сибири. Рассмотрены кембрийские палеогеографические и геодинамические обстановки восточной части Палеоазиатского океана к западу от Предъенисейского бассейна. Выяснены литологические особенности куонамской свиты нижнего-среднего кембрия, вскрытой скважинами на восточной окраине Анабарской нефтегазоносной области. Проводились работы по выявлению роли седиментационных и постседиментационных факторов развития коллекторов в докембрийских и палеозойских терригенно-карбонатных комплексах Сибирской платформы.

Прослежены петрографические и литогеохимические закономерности в триасно-нижнеюрских и среднеюрско-нижнемеловых толщах нижнего течения р. Анабар. Разработана седиментационно-циклическая модель их формирования. По материалам нижней юры мыса Аиркат выполнена ихнологическая ревизия таксона *Arctichnus* и по комплексу признаков установлено, что его нужно рассматривать как ихновид *Rosselia socialis* Dahmer, 1937.

В Западно-Сибирском бассейне продолжались работы по уточнению и детализации седиментационных моделей средне-верхнеюрских нефтегазоносных отложений. Выявление закономерностей постседиментационного преобразования терригенных пород было выполнено на примере оксфордского резервуара Надым-Тазовского междуречья, в результате которого впервые было отмечено соответствие аутигенно-минералогической и гидрогеохимической латеральной зональности. На материале оксфордского нефтегазоносного горизонта Ю1 Верх-Тарского нефтяного месторождения впервые отдельно для разных генераций карбонатных цементов терригенных коллекторов были выполнены детальные изотопно-геохимические исследования, которые позволили установить термодинамические параметры их формирования и источники углерода.

Комплексные литолого-геохимические и геолого-геофизические исследования баженовской свиты позволили уточнить особенности ее строения и состава в разных районах Западной Сибири. В результате детальных, в том числе, изотопно-геохимических исследований впервые были определены закономерности перераспределения вещества на разных стадиях диа- и катагенеза. Выполнена типизация карбонатных пород, оценены температуры их образования. Рассмотрены механизмы образования пирита. Выявлены уровни геохимических барьеров, характеризующихся изменениями концентраций и форм основных порообразующих компонентов, фиксирующихся методами скважинной геофизики и обладающих значительным корреляционным потенциалом. Анализ результатов комплексных детальных литологических и геохимических исследований позволил структурировать разрез баженовской свиты и обосновать критерии выделения ее границ по данным ГИС.

По результатам седиментологических, палинологических и сиквенс-стратиграфических исследований разработана модель формирования берриас-аптских нефтегазоносных отложений западной части Гыданского полуострова, установлена последовательность трансгрессивно-регрессивных событий и выполнены палеогеографические реконструкции на время формирования нижнемеловых песчаных горизонтов.

FUUM-2019-0022 Органическая геохимия и история геологического развития доминантных нефтегазовых систем верхнего протерозоя и фанерозоя Сибири.

Рук. д.г.-м.н. А.Н. Фомин, к.г.-м.н. Н.С. Ким

- **Сравнительная характеристика геохимии органического вещества баженовской свиты центральных и северных районов Западной Сибири.**

По содержанию органического вещества, его генетической природе и пиролитическим характеристикам оценен генерационный потенциал и показано влияние на него фациальных обстановок формирования баженовской свиты в разных районах Западной Сибири.

Проведен сравнительный анализ разрезов баженовской свиты с различной степенью преобразованности ОВ. Сделаны выводы, что в мезокатагенезе между периодами, отвечающими грациям МК1 2 (140-170 оС) и МК2 (170- 195 оС) при увеличении температуры в толще продолжается генерация УВ, что способствует катагенетической доломитизации пород. При этом из пород кровли происходит миграция H₂S вверх по разрезу во вмещающие отложения, за счет чего происходит дополнительная пиритизация вышележащих низкоуглеродистых толщ.

Исследованы устьевые пробы нефтей Ваньеганского месторождения Среднего Приобья, отобранные с большого диапазона глубин (953-2665 м) из залежей, локализованных в юрских и меловых отложениях. Стандартизованными методами исследованы их физико-химические свойства, методами газожидкостной хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС) изучено распределение насыщенных и ароматических соединений в соответствующих углеводородных фракциях нефтей. Определен элементный и структурно-групповой состав смол и асфальтенов.

- **Геолого-геохимическое исследование пород и органического вещества рифея, венда и кембрия Алдано-Майской впадины на юго-востоке Сибирской платформы.**

Дана характеристика пород и органического вещества протерозоя и кембрия, выполнена оценка пород в качестве возможного источника нефти и газа на территории Алдано-Майской впадины. Оценен тип и катагенез ОВ, его генерационный потенциал, реконструирована палеогеография формирования обогащенных и обедненных ОВ рассматриваемых отложений на юго-востоке Сибирской платформы.

Исследование углеводородов, обогащенных органическим веществом пород куонамского комплекса на востоке Сибирской платформы в отложениях нижнего и среднего кембрия позволило выделить четыре хемобиофации. Установлено, что основными факторами, контролирующими количество ОВ, состав и распределение циклических биомаркеров в породах куонамского комплекса, были биопродуктивность разных микробиосообществ, окислительно-восстановительные условия в водах и осадках. Изменение биомаркерных показателей в изученных породах из Рисунок 14 – Зависимость

соотношений терпанов от аллохтонности битумоида в органическом веществе рифея из обнажений р. Мая (свиты: 1 – малгинская, 2 – малгинская и ципандинская, 3 – ципандинская, 4 – кумахинская, 5 – мельконская, 6 – нельканская, 7 – игниканская, 8 – кандыкская) с трендами для всех образцов (синяя пунктирная линия) и отдельно для малгинской (черная пунктирная линия) и кандыкской (красная пунктирная линия) свит (номера образцов соответствуют таблице 1). 29 обнажений и керн скважин Анабарской и Алданской антеклиз, включая разрезы Алдано- Майской впадины, показало, что по латерали и во времени биопродуктивность и обстановки осадконакопления не были постоянными. Периоды расцвета водорослевого планктона в морском кембрийском бассейне приводили к накоплению аномального содержания ОВ в илах и формированию впоследствии высокоуглеродистых черных сланцев с содержанием органического углерода >10 %. На фоне затухания этого процесса возрастал вклад бактериальных организмов в ОВ, накапливались осадки, в меньшей степени обогащенные ОВ. В нефтях, генерированных породами нижнего и среднего кембрия на востоке Сибирской платформы, выявлены особенности составов и соотношений биомаркеров куонамской, иниканской и синской свит.

- **Геохимические исследования нефтей и рассеянного органического вещества венд-кембрийских отложений западных районов Якутии, установление источника генерации углеводородов.**

Анализ УВ и дибензотиофенов битумоидов черных сланцев хатыспытской свиты, распространенных на северо-востоке Сибирской платформы, показал, что при накоплении органического вещества черносланцевых пород не было стратификации и сероводородного заражения морских вод. Их образование, вероятно, связано с повышением биопродуктивности микробных сообществ (возможно, цианобактерий), ОВ является зрелым, сланцы могли генерировать нефтяи.

Установлено, что породы средней подсвиты хараютэхской свиты неопротерозоя, распространенные на северо-востоке Сибирской платформы, обогащены органическим веществом и являются потенциально нефтегазопроизводившими. Высокие (>50 %) содержания УВ в битумоидах, значения биомаркерных показателей (CPI и Ts/Tm на уровне 1,0) указывают на высокую зрелость ОВ. Групповой состав битумоидов и присутствие деметилированных терпанов в ряде проб свидетельствуют о первичной миграции битумоидов и биологическом окислении УВ в открытых порах в результате гипергенеза. Выявлено, что природные битумы верхнехараютэхской свиты (Чекуровская антиклиналь) генерированы автохтонным ОВ среднехараютэхской подсвиты. В Арктическом секторе Восточной Сибири могут быть обнаружены залежи битумов и/или газов, связанные с реализацией генерационного потенциала ОВ хараютэхской свиты.

Исследование составов пород и битумоидов органического вещества потенциально нефтепроизводившей куонамской свиты нижнего и среднего кембрия показало, что седиментация происходила в условиях нормальной аэрации вод морского бассейна, без сероводородного заражения придонных вод, интенсивность химических и биохимических трансформаций минеральных и органических компонентов в диагенезе контролировалась содержанием органического углерода, сульфат-иона, активностью анаэробного сообщества прокариот, скоростью минерализации осадков. Вероятно, что чередование высокоуглеродистых черных сланцев и углеродистых пород связано с изменением состава биологических сообществ микроорганизмов (источников УВ-

биомаркеров) и интенсивности преобразования ОВ в диагенезе. В диагенезе в неуплотненном морском осадке, обогащенном ОВ, при участии бактерий происходили сульфатредукция и деалкилирование высокомолекулярных стероидов. Интенсивность их зависела от массы исходного ОВ, количества сульфат-иона и, как следствие, pH и Eh среды.

FUUM-2019-0023 Численное моделирование современной структуры и процессов формирования эпиконтинентальных осадочных бассейнов.

Рук. д.г.-м.н. В.В. Лапковский

- Методами бассейнового моделирования с использованием современных индустриальных программных комплексов впервые выполнен историко-геологический анализ процессов формирования скоплений углеводородов и фациальной структуры осадочной толщи на Чкаловском месторождении Западной Сибири и в Вилюйской гемисинеклизе Восточной Сибири. Это позволило получить представления об истории формирования осадочной толщи и параметрах процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов и дать оценку потенциальной нефтегазоносности.
- Показано, что первичное плавление в верхней мантии происходит интенсивно в узком фронте поднимающегося горячего вещества. Далее, вверх от фронта первичного плавления, поднимается деплетированное вещество. Расплав мигрирует от двух источников – глубинного и промежуточного. Выше образуется фронт замерзания расплава, примерно такой же узкий, как и фронт первичного плавления. Под ним формируется довольно толстый (около 40–50 км) слой вещества, насыщенного «базальтовым» компонентом, где происходит переплавка ранее замерзшего вещества. Несмотря на значительные общие объемы выплавляющегося вещества, единовременное содержание расплава в мантии не превышает десятых долей процента. Экстракция базальтовой выплавки, в связи с обеднением мантийного вещества железом, существенно снижает его плотность, что приводит к двукратному увеличению числа Рэлея и интенсивности конвекции.
- Для соленосных отложений севера Прикаспийской впадины выполнено моделирование образования диапиров и детально рассмотрено влияние на этот процесс особенностей строения эвапоритовой формации. Эти результаты представлены в виде трехмерных и двумерных моделей.
- Развивались технологии описания структуры и свойств слоистых толщ на основе сплайн-аппроксимации и решения оптимизационной задачи. В результате разработан эффективный метод численного описания сложных трехмерных солянокупольных структур с опрокинутыми залеганиями слоев.
- Получены новые результаты по изучению связи характеристик современного рельефа земной поверхности с неотектоникой и строением недр, в связи с нефтегазоносностью.

FUUM-2019-0024 Формирование гидрогеохимических и геотермических условий глубоких горизонтов нефтегазоносных районов Западной Сибири в результате эволюции гидрогеологических систем.

Рук. д.т.н. А.Г. Плавник

- 1) **Макрокомпонентный состав пресных подземных вод в естественном и нарушенном состоянии в пределах территории Широтного Приобья**

- Взаимосвязь основных составляющих анионов и катионов с сухим остатком (характеризующим минерализацию воды) подтверждена прямой корреляционной зависимостью, коэффициент корреляции при этом составляет от 0,5 до 0,9.
- По распределению изучаемых показателей в сгруппированные интервалы современный период эксплуатации ППВ по сравнению с первоначальным, характеризуется увеличением процентного содержания проб воды со значением сухого остатка в диапазоне 200-300 мг/дм³ (в основном за счет уменьшения частоты проб в интервале >300 мг/дм³) и однородного гидрокарбонатного с преобладанием кальция и магния состава (за счет уменьшения количества проб смешанного по катионам состава).
- Пространственное изменение анализируемых показателей в современный период эксплуатации ППВ характеризуется появлением широтной зональности распространения величины сухого остатка, в северном направлении со значением <200 мг/дм³, в южном направлении со значением >200 мг/дм³, а также для большинства точек наблюдения изменением состава воды по преобладающим катионам (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺).
- Увеличение в многолетнем разрезе величины количества атмосферных осадков и температуры воздуха, характеризующих интенсивность инфильтрационного питания подземных вод и скорость процессов взаимодействия в системе «вода – порода» подтверждает влияние климатического фактора на формирование и изменение современного геохимического облика подземных вод целевого ВГ.

2) Современное состояние ресурсного потенциала пресных подземных вод ханты-мансийского автономного округа

3) Особенности выполнения опытно-фильтрационных работ на участках недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами.

На малых водных объектах, состоящих из одной – трех скважин с водоотбором меньшим емкостных запасов водоносного горизонта, когда фильтрационный поток можно описать закономерностями движения подземных вод к скважинам в неограниченных изолированных водоносных горизонтах, когда продолжительность применения полевых методов исследования ограничена; когда расстояния между водозаборными скважинами недостаточны, в силу сложившейся схемы водозабора; когда степень фильтрационного возмущения незначительна, получить исходный материал для подсчета запасов пресных подземных вод позволяет экспресс- метод в виде кратковременной одиночной откачки.

4) Прогнозные оценки оседания земной поверхности при разработке Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

- Результаты прогнозной оценки оседания на ЯНГКМ свидетельствуют о возможности возникновения осадок земной поверхности для неокотских отложений до 30 мм при среднем падении давления до 15 МПа. При увеличении падения давления до 25 МПа оседания возрастают до 63 мм. Для сеноманских отложений при среднем падении давления 9 МПа осадка земной поверхности составит 58 мм. При увеличении падения давления до 11,4 МПа оседания земной поверхности возрастают до 73 мм.
- Максимальные оседания земной поверхности, полученные при выполнении прогноза для Ямбургского месторождения, как в случае отработки основного объекта, так и в случае отработки всех продуктивных объектов составит 141 мм.

- Центр прогнозной суммарной максимальной мульды оседания совпадает с зонами максимальных отборов и падений пластового давления.
- Полученные величины расчетных относительных деформаций на порядок ниже предельных деформаций по действующим нормативным документам. Однако, как показывает многолетний опыт деформационного мониторинга, при долговременной и интенсивной разработке месторождений углеводородов могут возникать неравномерные оседания земной поверхности на границах разломно-блоковых структур, которые могут приводить к технологическим авариям на площадных и линейных объектах промысла.
- Прогноз времени и места таких чрезвычайных ситуаций практически невозможен, поскольку носит случайный характер. Они могут быть установлены только инструментальными маркшейдерско-геодезическими наблюдениями.

5) Обобщение и интерпретация материалов полного цикла мониторинга подземного захоронения шламовых отходов

- Результаты проведенного мониторинга отражают воздействие множества процессов, влияющих на гидродинамическую систему эксплуатационного объекта и приводящих к постепенному ухудшению его вмещающих свойств. Резкие изменения эксплуатационных параметров свидетельствуют о периодических существенных изменениях трещинного пространства и фильтрационно-емкостных свойств пласта. Этим определяется необходимость осуществления дополнительного контроля на основе анализа всех данных за длительный период эксплуатации скважины. Для такого контроля нами предложены и апробированы подходы, базирующиеся на стандартных методах интерпретации гидродинамических исследований на неустановившихся режимах и методах, которые используются для анализа процессов гидроразрыва пласта.
- Важным фактом эксплуатации рассмотренного объекта является то, что объём закачки шламовой продукции может значительно превосходить проектное значение. Это говорит о необходимости проведения исследований, направленных на детальный контроль и анализ условий формирования трещинного пространства в процессе подземного захоронения шламовых отходов, и учета полученных результатов при проектировании работ на других объектах.

FUUM-2019-0025 Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири.

Рук. к.г.-м.н. Д.А. Новиков

- Процессы метаморфизма рассолов и изменение температурного режима недр при внедрении интрузий траппов и их последующем остывании привело в процессах взаимодействия «рассолы – породы» к значительному изменению вмещающих горных пород, засолонению коллекторов, росту минерализации и катагенетическим изменениям их состава. Во время перерывов в осадконакоплении в вендские отложения проникали инфильтрогенные воды. В геохимическом плане седиментогенно-инфильтрогенно-метаморфические крепкие рассолы (группа II) имеют преимущественно хлоридный кальциевый и кальциево-магниевый состав с величиной общей минерализации, превышающей 350 г/дм³. Для них характерны

низкие значения rNa/rCl (в среднем 0,3), Cl/Br (до 100), повышенные значения Ca/Cl (в среднем 0,4) коэффициентов. Значения показателя S составляют более 250.

- Впервые установлены изменения в гидрогеохимическом поле (макро-, микрокомпонентный и газовый состав) по мере удаления от контактов, внедрившихся силлов и даек долеритов. Углеводородные и компоненты имеющие органическую природу в свободной и водорастворенной форме (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , iC_4H_{10} , nC_4H_{10} , iC_5H_{12} , nC_5H_{12} , C_6H_{14} , I , B , NH_4) наиболее активно подвергались процессам деструкции. Так, если в зоне влияния интрузии до 100 м в составе водорастворенных газов доминирует углекислый газ с содержанием более 90 об.%, при содержании метана до 5 об.%, то на расстоянии уже в 250 м концентрации CO_2 падают до 30 об.%, а CH_4 растут до 60-70 об.%. Интрузивный трапповый магматизм помимо негативного влияния на сохранность углеводородов в контактовой зоне (до 400 м) способствовал процессу вызревания углеводородов в 36 удаленных от контакта горизонтах. В результате реакционного взаимодействия внедряющихся траппов с рассолами осадочного чехла значительно преобразовался исходный состав последних в направлении их насыщения железом, алюминием и кремнеземом, что может служить подтверждением возможности солевой экстракции металлов в рудоносный флюид из магматических расплавов.

FUUM-2019-0026 Геологическая эволюция системы вода-порода-газ-органическое вещество (на примере отдельных районов Западно-Сибирского и Тунгусского артезианских бассейнов).

Рук. д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова

Согласно общему заявленному плану на 2019–2021 гг. основными объектами по проекту стали: 1) сверхкрепкие рассолы Тунгусского бассейна; 2) железосодержащие воды (болотные, речные, подземные, в том числе и нефтяные) Западной Сибири; 3) природные воды угленосных площадей Кузбасса. Однако в процессе выполнения проекта дополнительно были задействованы: 4) атмосферные, речные, подземные воды (в том числе углекислые) Восточного Забайкалья; 5) термальные воды провинции Цзянси (Китай) и 6) речные воды Китая и Индии, в сравнении с речными водами Томской области.

В результате создана база данных химического (в том числе и микрокомпонентного), газового и изотопного состава изученных нами вод.

Практически по каждому объекту проведены минералого-геохимические исследования водовмещающих пород с выявлением вторичных фаз. С использованием данных по химическому составу вод были детально рассчитаны термодинамические равновесия с большим количеством минералов, а также формы миграции химических элементов, с использованием программного комплекса HydroGeo. По многим объектам проведена оценка подвижности химических элементов в процессе растворения исходных пород водами на основе расчетов коэффициентов миграции по данным ICP-MS. С учетом всех полученных данных: по составу вод, по составу вторичных минералов, особенностям среды, геохимической подвижности элементов, выделены геохимические типы вод.

По каждому изученному объекту Западной и Восточной Сибири, а также некоторых других регионов, впервые разработаны модели формирования состава подземных вод и расшифрованы ведущие механизмы, контролирующие такое формирование, в рамках

общей теории взаимодействия воды с алюмосиликатными породами. Показано, что в формировании состава вод принимает участие более полная система вода – порода – газ (метан, углекислый газ) – органическое вещество (уголь, болотная органика). Показано, что многообразие состава вод связано с разным временем взаимодействия в системе и с особенностями среды.

FUUM-2019-0027 Разработка методов количественной оценки нетрадиционных ресурсов нефти и газа (баженовская свита, мелкие и мельчайшие месторождения и пр.) и имитационной модели долгосрочного функционирования нефтегазового комплекса Российской Федерации. Оценка традиционных и нетрадиционных ресурсов осадочных бассейнов Сибири.

Рук. д.г.-м.н. Л.М. Бурштейн

- Количественная оценка структуры начальных и прогнозных ресурсов нефти Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Метод основан на законе распределения скоплений углеводородов по массе – усеченном распределении Парето и имитационном моделировании генеральной совокупности залежей нефти. Такой подход позволяет оценить количество и суммарные ресурсы нефти, сосредоточенные в любых интервалах крупности, в частности, в интервалах мелких и мельчайших месторождений, с целью определения экономической эффективности их разработки. Рассмотренные оценки относятся к нетрадиционным ресурсам, таким как сланцевая нефть баженовской свиты.
- На основе анализа балансового и кинетического подходов к моделированию катагенетических преобразований органического вещества и его отдельных компонент (в первую очередь керогена) показано, что изменение элементного состава керогена имасштабы новообразования нафтидов и неуглеводородных продуктов генерации могут быть количественно описаны в рамках упрощенной кинетической модели. Даны предварительные оценки параметров модели для усредненного керогена баженовского типа. Показано, что численное моделирование катагенетических превращений рассеянного органического вещества подтверждает правильность теории выделения главной фазы (зоны) нефтеобразования и главной фазы (зоны) газообразования.

FUUM-2019-0028 Анализ современного состояния и прогноз развития нефтегазового комплекса России на период до 2040 г.

Рук. д.э.н. И.В. Филимонова

- Построены модели для оценки эффекта замещения углеводородных источников энергии на экономический рост. Установлено, что в странах Европы (ОЭСР) потребление ВИЭ оказывает положительное влияние на экономический рост. Обнаружена корреляция между ветряной и геотермальной энергией в период 2008-2017 гг. Европейские страны также положительно зависят от потребления нефти, газа и угля. Влияние потребления солнечной энергии оказалось значимым за период 2008-2017 гг. и не значимым с 1990 по 2008 гг.
- В странах Европы (не ОЭСР), сильны барьеры по развитию возобновляемой энергии, поэтому в основном используются ископаемые виды топлива. Это доказывают полученные результаты моделей, поскольку прирост потребления нефти, газа и угля оказался значимым. Влияние солнечной энергией оказалось

незначимым, а благодаря развитию технологий значительно удешевилась стоимость ветряной энергии.

- Прирост потребления возобновляемой энергетики положительно влиял на прирост ВВП в странах АТР, но более сильная зависимость подтвердилась от прироста традиционных источников энергии (нефти, газа и угля). Для стран АТР в период 1990-2017 гг. переменная потребления ветряной энергии сильно коррелировала с потреблением природного газа и солнечной энергии, которые имеют большее влияние на экономический рост.
- Пространственная организация арктических минерально-сырьевых центров. Развитие Енисейского минерально-сырьевого центра возможно только при создании многоуровневой системы инфраструктурных объектов. Ожидаемая бюджетная эффективность освоения Енисейского МСЦ составит 50 841 млрд руб. Вместе с тем, экономический эффект для компании-оператора проекта будет отрицательным на актуальном горизонте планирования. Авторами предложена мультикритериальная модель оценивания, основанная на синтезе количественных и качественных параметров отбора. Базовым критерием эффективности предложены макроэкономические эффекты, значительно превалирующие над коммерческими по степени влияния на экономику региона и страны в целом. Основными макроэкономическими эффектами станут загрузку Северного морского пути, формирование новых коридоров для транзита Европа-Азия и заселение арктических территорий.

Приоритетное направление IX.138. Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика (инфраструктура пространственных данных и ГИСТехнологии)

FWZZ-2019-0008 Комплексные исследования динамики развития природно-техногенных систем с оценкой ресурсного потенциала и воздействия на окружающую среду.

Рук. к.т.н. Н.В. Юркевич

- **Разработаны рекомендации по повышению точности методов исследования техногенных объектов и комплексированию данных:**
 - 1) Определена зависимость электрической проводимости техногенного вещества с разным водонасыщением от температуры на основании лабораторных резистивиметрических экспериментов с применением кислотопродуцирующего и нейтрального вещества (на примере хвостов из хранилища Талмовские Пески). Полученные результаты в практическом плане дают возможность корректной интерпретации геоэлектрических разрезов для данного хвостохранилища. Применение предложенной лабораторной методики для вещества из других отвалов позволяет в грубом приближении судить об изменениях температуры в теле отвалов контрастных по сопротивлению зонах.
 - 2) Определены температурные аномалии в районе складированных сульфидсодержащих отходов горнорудного производства (на примере Урских отвалов). Повышенная температура техногенной среды в зоне фильтрации связана с экзотермическими процессами взаимодействия кислых дренажных растворов с сульфидными и сульфатными минералами (выщелачивание, окисление, растворение), эта же зона характеризуется повышенными концентрациями серо- и

углеродсодержащих газов, ртути, низкими сопротивлениями и низкими значениями модуля вектора магнитной индукции;- определено развитие растепленных пород в зонах водосбросов в теле дамбы водохранилища методом электротомографии в комплексе с результатами электрометрии. В результате растепления грунты теряют устойчивость, формируются каналы фильтрации, что определяет необходимость проведения мониторинга с целью оценки деградации мерзлоты.

- Площадная газоэманационная съемка на территории г. Северо-Курильск позволила установить повышенные концентрации ртути (вплоть до 10-тикратного превышения предельно-допустимых значений) и ряда серосодержащих газов в приземном слое воздуха вследствие вулканической активности.
- Определено современное состояние поверхностных вод и донных отложений водотоков в семи районах ЯНАО. Обнаружены повышенные значения химического и биологического потребления кислорода (ХПК и БПК), концентраций Fe, Mn и Cu (относительно нормативных значений ПДК) в поверхностных водах и повышенные содержания нефтепродуктов, а также Pb, Cr, Zn, Ni, Fe, Mn и Cu (по сравнению с утвержденными фоновыми значениями) в донных отложениях. Изучение пространственной динамики изменения перечисленных параметров относительно расположения малых населенных пунктов показало отсутствие антропогенного влияния на химический состав воды и донных отложений, и обусловлено региональными особенностями. В районе крупных городов наблюдается существенное пространственное распространение техногенного воздействия.
- Дана экономическая оценка экологического ущерба водным и земельным ресурсам, а также определена стоимость проекта по рекультивации разрушенных земель в пределах территории Комсомольской золотоизвлекательной фабрики. Согласно нашим расчётам, оценка экологического ущерба от деятельности фабрики составила 458 млн.руб., из них: 294 млн.руб. – накопленный экологический ущерб от загрязнения водных ресурсов; 164 млн.руб. – накопленный экологический ущерб от загрязнения почвы близлежащей территории. Стоимостная оценка проекта рекультивации земель составила 716,7 млн.руб. При этом доходы от реализации оборудования и добытого на территории хвостохранилища золота достигают 3 916 млн.руб.

FUUM-2019-0029 Полевые химико-аналитические технологии для геологоразведки, геоэкологии и контроля техногенных объектов.

Рук. д.т.н. В.М. Грузнов

Результаты, рекомендуемые для использования и внедрения в области дальнейших разработок портативной химико-аналитической аппаратуры мирового уровня, включая потребности импорта замещения:

- Технические решения по миниатюризации и улучшению быстродействия и чувствительности масс-спектрометрического детектора с ХИАД рекомендуются для внедрения в составе корабельного газоанализатора АГФ-2 (АО НПО Прибор (г.Санкт-Петербург)) и для использования в научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по созданию специализированного детектора опасных веществ

- Прикладная НИР «Эхо C1-C5» по созданию портативного газового хроматографа для анализа смесей углеводородов C1-C5 в составе газоаналитического комплекса для поиска залежей углеводородов
- Существенно усовершенствована геохимическая технология «ПК+ЭХО» поиска залежей углеводородов с пассивным концентрированием и экспрессным анализом проб в поле

0331-2019-0030 Разработка новых технологий разновысотной съёмки земного магнитного поля с помощью БПЛА и геомагнитная томография.

Рук. академик РАН М.И. Эпов

- Разработан и изготовлен прототип мобильной магнитометрической системы для измерения трех компонент вектора индукции магнитного поля Земли с привязкой к фиксированной системе координат с использованием оригинального модуля инерциальной навигационной системы. Оборудование позволяет исследовать тонкую структуру векторного поля магнитной индукции Земли в верхнем полупространстве с использованием технологии разновысотной аэромагнитной съёмки с борта беспилотных воздушных судов.
- Проведен комплекс лабораторных и натурных испытаний изготовленного прототипа. Испытания проведены с целью проверки системы фиксации измерительных осей магнитометрической системы, предназначенной для измерения полного вектора индукции магнитного поля Земли с жесткой стабилизацией измерительной системы координат векторного магнитометра путем синхронной обработки данных с использованием информации от инерциальной навигационной системы. Обработка первичных данных эксперимента показала, что использование совместной обработки синхронных первичных данных от магнитометра и модуля СНС обеспечивает надежную фиксацию измерительных осей.
- Результаты предварительных испытаний прототипа показали, что использование данных от оригинального модуля инерциальной навигационной системы (ИНС) позволяет выполнять измерения значений компонент вектора индукции магнитного поля в фиксированной системе координат (например, географической), независимо от текущей ориентации магнитометра, что обеспечивает повышение точности измерения углов склонения и наклонения регионального магнитного поля Земли.
- Разработан оригинальный алгоритм и реализована программа сплайн-аппроксимации неравноточных данных аэромагнитной съёмки с применением БВС на пространственно-неоднородных сетях. Применение сплайнов позволило построить регулярный куб аномальных значений индукции магнитного поля, ее пространственных производных, а также модуля градиента и вертикальной производной от магнитной индукции.

0331-2019-0031 Оценка и прогноз развития природно-техногенных систем по данным геохимических и геофизических методов исследования.

Рук. д.г.-м.н. С.Б. Бортникова

- Путём проведения натурных и лабораторных экспериментов по исследованию низкотемпературной миграции химических элементов в паро-газовой фазе установлено, что воздушные потоки над техногенными телами (складированными сульфидными отходами горно-рудной промышленности) содержат многие химические элементы в летучей форме. Наиболее контрастные отличия в составе конденсатов, собранных на отвалах, по сравнению с фоновой точкой, обнаруживают металлы: Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Cr, Cd, и некоторые анионогенные элементы: As, Sb, Sn,

Мо, характерные для минералов рудной ассоциации Основным источником элементов в паро-газовых потоках являются вторичные сульфаты – кристаллогидраты. Главной формой переноса Са и Mg в кислых конденсатах являются аква-ионы. В виде комплексов с оксалатами, формиатами и ацетатами может переноситься <3% Са и 0.74% Mg. Наиболее подвижные щелочные металлы практически полностью находятся в виде Me^+ . Железо и медь почти на 100% связаны с оксалатами. Пары, в отличие от пылевых фракций различной дисперсности, могут проникать в респираторные отделы легких, повреждая эпителий, обеспечивающий газообмен, и поступать в кровь со скоростью, сопоставимой с непосредственным парентеральным введением.