

РАЗРАБОТКИ ИНСТИТУТА

Изобретение «Вибрационный источник сейсмических колебаний»

Вибрационный источник сейсмических колебаний содержит излучающую платформу, инерционную массу и пьезокерамический преобразователь электрических сигналов в механические колебания. От известных конструкций отличается тем, что пьезокерамический преобразователь электрических сигналов в механические колебания имеет заданное количество электрически независимых секций, состоящих из известного числа пьезокерамических шайб, которые попарно чередуются по длине пьезокерамического преобразователя, при этом нечетные пары пьезокерамических шайб электрически соединены параллельно в одной секции, а все четные пары – в другой.

Данное изобретение предназначено для прецизионного изучения сейсмической структуры верхней части разреза и мониторинга изменения ее свойств.

Изобретение «Способ моноимпульсной гидролокации»

Изобретение относится к области моноимпульсных гидролокационных систем, а именно к способам обнаружения и определения местоположения навигационных препятствий, определения места судна по искусственным и естественным подводным ориентирам как в надводном, так и в подводном положении судна. Техническим результатом заявляемого изобретения является создание способа моноимпульсной гидролокации, обеспечивающего расширение сектора обзора гидролокационной системы и увеличение числа одновременно разрешаемых объектов без увеличения размеров антенной системы. Поставленная задача достигается тем, что приемопередающая антенна, состоящая из отдельных электроакустических преобразователей, образует суммарный, разностный и фазоопорный приемные каналы, формируя шесть линейно независимых приемных каналов (в вертикальной и горизонтальной плоскостях), сигналы суммарного и разностного приемных каналов по отдельности подаются на фазовые детекторы умножающего типа, на вторые входы которых подан сигнал соответствующего фазоопорного канала, сигналы каждого разностного приемного канала перед подачей на фазовые детекторы пропускают через фазовращатель, затем выходные сигналы фазовых детекторов умножающего типа суммарного и разностных приемных каналов делят на выходной сигнал фазового детектора соответствующего фазоопорного приемного канала, после чего полученные сигналы образуют двухпараметрическую пеленгационную характеристику (отдельно в горизонтальной и вертикальной плоскостях).

Способ может использоваться для обнаружения и определения местоположения навигационных препятствий, определения места судна по искусственным и естественным подводным ориентирам как в надводном, так и в подводном положении судна, при обследовании акватории прибрежной зоны и мелководных водоёмов, проведении поисково-спасательных работ в зоне стихийных бедствий.

Изобретение «Способ измерения напряженности электрического поля»

Данное изобретение относится к измерительной технике и может использоваться для исследования электрических полей земной атмосферы и космического пространства. Способ измерения напряженности электрического поля основан на том, что в датчике напряженности электрического поля, содержащем управляемый диэлектрик (с изменяемой под действием электрического поля диэлектрической проницаемостью), регистрация напряженности электрического поля производится посредством измерения сдвига фазы сигнала в полосковой линии передачи, на основе которой выполнен датчик. С целью уменьшения размеров датчика он может быть выполнен на основе резонансного отрезка линии передачи, т.е. полоскового резонатора. Для расширения динамического диапазона возможна реализация датчика на основе системы взаимодействующих полосковых резонаторов, которая, по сути, представляет собой полосо-пропускающий фильтр, у которого под действием внешнего электрического поля перестраивается центральная частота и смещается фазочастотная характеристика. Благодаря этому на частотах полосы пропускания происходит сдвиг фазы сигнала, по величине которого определяется напряженность электрического поля. Техническим результатом, реализуемым при

использовании заявляемого способа, является повышение чувствительности и уменьшение размеров.

Способ может использоваться для исследования электрических полей земной атмосферы и космического пространства, проведении геофизических исследований строения Земли, поиске полезных ископаемых.

Программный комплекс для управления, сбора и обработки данных мобильного хромато-масс-спектрометра МХМС «Навал»

Программа предназначена для настройки при изготовлении, а также для управления, сбора и обработки данных изделия «Мобильный хромато-масс-спектрометр МХМС «Навал» в процессе эксплуатации. Под управлением программы выполняются: заводская настройка параметров сбора данных для многоканальной системы регистрации; настройка режима сбора данных; циклический сбор, первичная обработка, сохранение и визуализация хромато-масс-спектрометрических данных; конвертация данных в формат .cdf для последующей обработки и деконволюции, а также идентификации веществ с помощью масс-спектрометрических баз данных; выполнение базовых функций обработки хромато-масс-спектрометрических данных; оперативная проверка правильности настройки шкалы масс и ее подстройка; полная калибровка шкалы масс ремонтным персоналом после регламентных и ремонтных работ.

Программа для ЭВМ «Модуль численного трехмерного моделирования данных метода электротомографии на графических процессорах»

Программа предназначена для моделирования сигналов метода электротомографии на графических ускорителях с использованием инструментария nVidia CUDA. Программа отличается существенно более высокой производительностью в сравнении с аналогами, выполняющими расчеты на центральном процессоре. В качестве входных данных программа принимает геоэлектрическую модель (геометрические параметры моделируемой среды, значения удельного электрического сопротивления), а также параметры моделируемой электроразведочной установки. В качестве выходных данных пользователь получает вычисленные сигналы для заданной электроразведочной установки в виде значений кажущегося удельного электрического сопротивления.

Программа для ЭВМ «EFMETtet»

Программа для математического моделирования электрического поля в образцах с эффективным тензорным коэффициентом среды на базе векторного метода конечных элементов на симплицальных сетках. Область применения: исследование поведения электрического поля в образцах с эффективным тензорным коэффициентом среды. Программа предназначена для моделирования трехмерного векторного электрического поля в образцах с внешним типом возбуждения поля (например, с помощью плоских электродов) в частотной области.

Программа для ЭВМ «MEF3D»

Программный комплекс MEF3D предназначен для моделирования трехмерного электромагнитного поля (импульсный и гармонический режим) в геометрически разномасштабных и контрастных по физическим свойствам средах, характерных для скважинной геоэлектрики с различными типами систем источник-приемник. MEF3D реализует параллельную версию векторного метода конечных элементов на неструктурированных тетраэдральных сетках, базирующегося на модифицированном многоуровневом методе решения разреженных большой размерности систем линейных алгебраических уравнений.

В 2017 была закончена работа по проектам Комплексной программы СО РАН II.2П «Интеграция и развитие».

Проект II.2П/IX.131-3. Природа и теоретическая модель формирования пород-коллекторов нефти в баженовской свите

В результате выполнения проекта удалось существенно уточнить теоретико-методические основы модели формирования пустотного пространства в породах баженовской свиты.

На основе разработанных методических подходов, комплексного обобщения всей доступной геологической информации были построены карты толщин баженовской свиты, современного содержания органического вещества, плотностей пород баженовской свиты. Разработана базовая модель пустотного пространства пород баженовской свиты.

Изучено влияние катагенеза на формирования пустотности, первичную миграцию нефти и нефтенасыщенность пород баженовской свиты. Построены карты катагенетической преобразованности органического вещества баженовской свиты и ее аналогов, карта масштабов новообразования углеводородных и гетероциклических соединений органическим веществом баженовской свиты с начала катагенеза, схем распределения пустотности и насыщенности в породах баженовской свиты в центральных и южных районах Западно-Сибирского бассейна.

Проект II.2П/IX.131-2. Перспективы освоения черносланцевых толщ кембрия Восточной Сибири как потенциальных источников «синтетической» нефти

Выполненные в 2016-2017 годах литологические и геохимические исследования позволили уточнить информацию, связанную с оценкой параметров кондиций черных сланцев куонамского комплекса.

Органическое вещество в синской свите нижнего кембрия и иниканской свите нижнего и среднего кембрия распределено неравномерно. В разрезах бассейна р. Лена редко встречаются уровни с аномально высоким содержанием органического углерода (более 10-15 %) в породах, наблюдается частое чередование их с обедненными ОВ карбонатными и кремневыми породами. Высокоуглеродистые породы на северном склоне Алданской антеклизы образуют маломощные пласты, распространенные локально.

Результаты пиролитического и битуминологического изучения свидетельствуют, что углеродистые породы синской свиты на обнажениях р.Синей и иниканской свиты в малоглубинных скважинах Лено-Амгинского междуречья в основном сохранили высокий генерационный потенциал. Катагенез ОВ изменяется от ПК-МК11 до МК1 (по шкале [Конторович, 1976]). Согласно опубликованным материалам катагенез ОВ пород иниканской свиты из обнажений рр. Мая, Юдома и керна скв. Усть-Майская-366 на юго-востоке Сибирской платформы соответствует МК1-МК2.

Черные сланцы куонамского комплекса на востоке Сибирской платформы являются малосернистыми, высокозольными.

В породах иниканской свиты выявлены следы вторичного обогащения битумоидами силицитов и карбонатных пород. Это позволяет рекомендовать рассматривать черные сланцы куонамского комплекса не только как нефтепроизводящие, но и как нефтеносные породы, содержащие «сланцевую» нефть, на востоке Сибирской платформы.

Анализ и обобщение новых и опубликованных геолого-геохимических материалов позволяет считать, что залежи так называемых «незрелых» или «слабо зрелых» нефтей и битумов, возможно, биодegradированных, будут обнаружены в кембрийских рифогенных и склоновых фациях кембрия. Они могут быть выявлены в среднекембрийских отложениях на территории Баппагайского выступа, где рифогенные отложения перекрыты глинисто-сульфатно-карбонатными породами верхнеоленинской свиты, рассматриваемой в качестве региональной экранирующей толщи, и подстилаются породами иниканской свиты [Геология нефти..., 1981; Соболев, 1985]. На склонах Якутско-Алданского поднятия и Вилюйской синеклизы можно ожидать открытие месторождений нефти и газа в неантиклинальных ловушках в кембрийских отложениях как куонамского типа, так и перекрывающих первично обедненных органическим веществом карбонатных породах рифогенно-склоновых фаций.

Новые оценки характеристик черных сланцев дополняют сведения по определению промышленной ценности куонамского комплекса кембрия Сибирской платформы в качестве источника альтернативного углеводородного и минерального сырья.

Проект II.2П/IX.131-1. Геология и перспективы освоения месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти в нижней – средней юре Западно_Сибирской нефтегазоносной провинции

1. Выполнен анализ основных этапов формирования поиска и открытия залежей углеводородов в батском резервуаре (горизонты Ю2-Ю4) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, систематизированы данные по современному состоянию ресурсной базы, приведена характеристика пространственного распространения залежей углеводородов в пластах Ю2-4, выделены зоны с наиболее крупной концентрацией запасов углеводородов.

2. На базе комплексной интерпретации сейсморазведочных материалов и данных глубокого бурения построена модель геологического строения, осуществлен прогноз качества коллекторов, выделены антиклинальные и сложнопостроенные нефтегазоперспективные объекты и выполнена оценка локализованных ресурсов УВ в отложениях геттанг-нижнетюарского и тюар-ааленского комплексов Усь-Тымской мегавпадины и прилегающих территорий Александровского, Среднеvasюганского и Парабельского НГР.

3. С использованием сейсмофациального, динамического анализа и математического моделирования волновых полей разработаны сейсмогеологические критерии выделения и детального катрирования сложнопостроенных неантиклинальных нефтегазоперспективных объектов в нижнеюрских песчаных горизонтах урманской свиты. Осуществлен прогноз зон распространения и толщин базального песчаного горизонта Ю17, залегающего в основании осадочного чехла, и построены модели геологического строения Приколтогорского вреза и Толпаровской литологической ловушки, расположенных, соответственно, в Колтогорском и Усть-Тымском нефтегазоносных районах. Показано, что разработанные методические приемы и подходы при условии их адаптации к конкретным разрезам могут быть эффективно использованы при выявлении и картировании нижнеюрских нефтегазоперспективных объектов и в других регионах Западной Сибири.

Проект II.2П/IX.128-5. Развитие систем сбора и анализа геомагнитной, космофизической и геотермической информации, получаемой на обсерваториях и геодинамических полигонах юга Сибири

В результате выполнения задания 2017 г. получило дальнейшее развитие информационное, методическое и аппаратное обеспечение выполняемых геомагнитных и геотермических наблюдений на обсерваториях и геодинамических полигонах в южных районах Сибири. Сформированы базы данных «Температурное поле горных пород Южной Сибири (Алтае-Саянская и Байкальская складчатые области)» и база данных «Тектономагнитные наблюдения на Култукском участке Байкальского геодинамического полигона».

Проект II.2П/IX.128-4. Построение и анализ моделей земной коры сейсмоактивной зоны Горного Алтая по данным разномасштабных электромагнитных зондирований

В 2017 году в Чуйско-Курайской сейсмоактивной зоне по результатам интерпретации данных комплекса разноглубинных методов геоэлектрики с контролируемым источником получены новые сведения о разломно-блоковом геоэлектрическом строении западной части Курайской впадины. Впервые наглядно показано строение южного прогиба, который протягивается вдоль основания Северо-Чуйского хребта и Сукорского массива. Его существенно блоковое строение по данным ЗС подтверждает сложные тектонические движения в южной части впадины и на границах с предгорными уступами окружающих её хребтов. Построенная объёмная модель поверхности фундамента дает возможность в комплексе с геологическими данными обосновать историю и кинематику формирования Курайской впадины.

Результаты исследований, проведенных по профилю п. Акташ – п. Улаган – пер. Катунь-Ярык – оз. Телецкое свидетельствуют о достаточно дробной новейшей блоковой делимости земной коры изученной территории. Неотектонических нарушения, прослеженные до глубин более 20 км, на геоэлектрическом разрезе маркируются областями с аномально низкими значениями удельного электрического сопротивления (менее 5 Ом.м). Установлено, что для сбросов и сдвигов характерно вертикальное падение плоскостей сместителей, а для взбросов и надвигов – наклонные, что в целом подтверждает кинематические характеристики разломов, определенных по морфотектоническим и геологическим данным. Выполненные исследования представляют интерес

для понимания глубинных тектонических процессов, контролирующих сейсмическую активность региона.

Проект II.2П/IX.128-3. Позднепалеозойские аккреционно-коллизийные системы складчатых областей Южной Сибири.

На основе использования базы гравитационных данных впервые охарактеризованы среднепозднепалеозойские геодинамические комплексы и структура Горного Алтая, в пределах которой выделяются Горно-Алтайский и Алтае-Монгольский террейны, разделенные Чарышско-Теректинско-Улаганской сутурно-сдвиговой зоной. Среднепозднепалеозойские надвиги и сдвиги сутурно-сдвиговой зоны окружают автохтонную структуру Горно-Алтайского террейна, аллохтоном для которого является Алтае-Монгольский террейн. Горно-Алтайским террейн выполнен различными по геодинамической природе позднедокембрийско-палеозойскими образованиями окраины Сибирского континента, в том числе девонскими вулканоплутоническими комплексами активной окраины. Алтае-Монгольский террейн сложен раннепалеозойскими турбидитами составного Казахстанско-Байкальского континента. В пограничной зоне Алтае-Монгольского террейна широко представлены раннеколлизийные среднепалеозойские гранат-кианитовые метаморфические породы и позднеколлизийные позднепалеозойские зональные андалузит-кордиеритовые породы в ассоциации с гранитными массивами. В гравитационном поле наиболее отчетливо выражены девонские вулканоплутонические комплексы Горно-Алтайского террейна и среднепозднепалеозойские метаморфические серии Алтае-Монгольского террейна. В целом гравитационные аномалии в Горно-Алтайском терреине имеют северо-западное простирание, тогда как в Алтае-Монгольском терреине — субширотное, что подчеркивает структурную неоднородность Горного Алтая. Новые результаты по датированию магматических детритовых цирконов из палеозойских осадочных пород Ануйско-Чуйской зоны Горно-Алтайского террейна указывают, что источником сноса для них являлись породы докембрийского фундамента Сибирской платформы и венд-раннеордовикской Кузнецко-Алтайской островной дуги. Характерно отсутствие детритовых цирконов раннепротерозойского возраста (1.00—0.75 млн лет), которые широко развиты в раннепалеозойских турбидитах Алтае-Монгольского террейна. Для Горно-Алтайского террейна показана существенная смена возрастных источников детритовых цирконов начиная с позднего карбона, характеризующаяся появлением девонских и раннепротерозойских популяций. Приведенные данные подтверждают идею, что в среднем—позднем палеозое произошла амальгамация Казахстанско-Байкальского и Сибирского континентов и была создана основная структурная канва Горного Алтая, отражаемая в гравитационном поле и источниках сноса детритовых цирконов.

Проект II.2/IX.128-2. Выявление в сильнонаклонных и горизонтальных нефтегазовых скважинах тонкослоистых интервалов, не подлежащих гидроразрыву

Восстановление параметров макроанизотропии горных пород по данным каротажа в процессе бурения является важной задачей как для обеспечения точной проводки скважины в продуктивном интервале пласта-коллектора, так и для выявления интервалов тонкой слоистости осадочных пород, как потенциально опасных при проведении гидроразрыва пласта. В рамках проекта выполнена модернизация прибора ВИКПБ путем изменения конфигурации зондовой системы и обоснована конфигурация электрического микроимиджера с целью повышения эффективности применения каротажного комплекса для задач геонавигации и точности результатов интерпретации данных, получаемых в процессе бурения.

На основе результатов математического моделирования выполнено научное обоснование модификации ВИКПБ с целью увеличения пространственного разрешения прибора и обеспечения высокой чувствительности измеряемых сигналов к геоэлектрическим параметрам макроанизотропного пласта путем включения в измерительный комплекс дополнительного модуля с взаимно ортогональными соосной и поперечной генераторными катушками для зондов значительно большей длины и низкой операционной частоты. Разработан алгоритм численной инверсии данных модифицированного прибора ВИКПБ в тонкослоистых пластах-коллекторах для решения задач геонавигации наклонно-горизонтальных скважин, с использованием которого

определены макроанизотропные параметры тонкослоистых пластов-коллекторов и глинистых покрывек.

Для вовлечения микроимиджера в комплекс для каротажа в процессе бурения наклонно-горизонтальных скважин с возможностью высокого разрешения изображения УЭС пород разработан алгоритм и реализована программа трехмерного моделирования электрических сигналов на основе векторного метода конечных элементов. С ее использованием выполнено масштабное моделирование сигналов в реалистичных геоэлектрических моделях: с наклонной границей пластов различного УЭС и горизонтальной трещиной, заполненной проводящим буровым раствором. По результатам моделирования обоснована оптимальная конфигурация LWD-микроимиджера и создан лабораторный макет

Научные результаты, выполненных фундаментальных исследований в области вычислительной электродинамики геологических сред, имеют важное прикладное значение и определяют инновационную составляющую представленного проекта.

Проект II.2/IX.128-1. Активизация сейсмического процесса в областях добычи, производства и транспорта энергоресурсов в Сибири: тенденции развития на основе регулярных инструментальных наблюдений

Анализ сейсмического режима в южных и центральных районах Байкальской впадины позволил выявить с помощью метода SEQ региональные сейсмические затишья площадью ~ 5 – 20 тыс. км, которые имели максимальный размер за 2 – 5 лет до сильного землетрясения. При этом в большинстве случаев за 1 – 3 года до события имела место сейсмическая активизация. Эти аномалии выделения сейсмической энергии могут использоваться в качестве среднесрочных критериев для выделения вероятных мест подготовки будущих сильных землетрясений. При этом ряд эффектов в магнитном поле, выявленных в Байкальском регионе за полувековой интервал и предшествующих землетрясениям с $M \sim 4.5$ и более, могут служить в качестве дополнительных, в том числе, в ряде случаев, краткосрочных критериев прогнозирования сейсмической опасности.

Проект II.2П/IX.126-4. Эволюция сообществ бентоса, ассоциаций нектона, морского фитопланктона и наземных палиноморф в мезозое арктических и бореальных морских и наземных экосистем (систематический состав, этапность развития, критические рубежи)

В результате работ по проекту в 2016-2017 гг. описаны новые местонахождения диноцист в континентальных толщах олигоцена на юге Тюменской области. Определены два вида: *Pseudokomewuia* aff. *laevigata* He и *Pseudokomewuia* aff. *granulata* He. Прослежены изменения в составе комплекса диноцист, вверх по разрезу. Выделены слои, отвечающие максимальному распространению диноцист рода *Pseudokomewuia* (акме). Приведены изображения обнаруженных форм. Полученные данные позволяют считать диноцисты *Pseudokomewuia* показателями неморских обстановок осадконакопления, вероятнее всего они были пресноводными или переносили слабое осолонение (лагунные обстановки), являясь индикаторами изменения температурного режима вод и притока питательных веществ с берега. Комплексный анализ палинологических и геохимических данных разреза палеогена и неогена, вскрытого скв. 8 (п. Русская Поляна, Омская область) показал, что цветение микрофитопланктона (аналог современных «красных приливов») в позднеолигоцене Туртасском озере-море, вероятно, было вызвано усилившимся притоком питательных веществ с континента.

Путем анализа эволюции структуры ассоциаций фораминифер позднего келловя – раннего кимериджа среднерусского палеобассейна (эталонный разрез Макарьев) с учетом вариаций изотопов углерода и Т-Р событий определены интервалы резких перестроек сообществ макробентоса. Кризис сообществ фораминифер отмечается в конце оксфорда - резкое снижение представительства инфауны в структуре сообществ. апробирована методика детальных биофациальных реконструкций. Путем комплексные биостратиграфических и биофациальных исследований эталонного разреза “Городище” (ВЕП) верхнего кимериджа и низов волжского яруса ВЕП детализировано расчленение эталонного разреза по фораминиферам, диноцистам и наземным палиноморфам. Установлено, что осадконакопление в позднем кимеридже происходило в переходной зоне от верхней к средней сублиторали. Хорошая аэрация вод и значительный приток питательных веществ благоприятствовал развитию альгологических

сообществ с многочисленными и разнообразными динофлагеллатами. Обилие пыльцы Classopollis и низкий процент спор гидрофильных растений предполагает теплый аридный или семиаридный климат, возможно, с чередованием влажных и сухих сезонов.

В новый моновидовой род *Argutostrea* выделены специфические практически повсеместно распространенные в средней и поздней юре устрицы-эпибионты, резко отличающиеся от других устриц инвертированной формой раковины, связанной с переходом к жизни на раковинах плавающих аммонитов. Обитание на раковинах плавающих аммонитов давало устрицам определенные преимущества. Проведена ревизия систематики позднеюрских – раннемеловых устриц Северного и Приполярного Урала, и севера Восточной Сибири. Выделена новая триба *Pernostreini trib. nov.* в подсемействе *Gryphaeinae*. 3 вида описаны впервые из Сибири: *Nanogyra? cf. thurmanni*, "*Ostrea*" *moreana* and *Gryphaea (Gryphaea) curva*.

Поставленные в проекте на 2016-2017 гг. задачи выполнены полностью: получены значимые сведения по планируемым ожидаемым результатам и дополнительные результаты. В настоящее время сведения об ассоциациях диноцист палеогена и неогена в континентальных водоемах вызывают оживленный интерес специалистов всего мира. Новые данные, полученные в рамках исследования по проекту позволят скорректировать представления об этапности и специфике эволюции фитопланктона кайнозойских палеобассейнов. Апробация методика детальных биофациальных реконструкций с использованием данных о структуре ассоциаций микробентоса мезозойских палеобассейнов с учетом вариаций изотопов углерода и T-P событий имеет немного аналогов в современной мировой литературе по этим вопросам. Полученные результаты очень весомы для оценки эволюции палеогеографической ситуации в позднеюрском русском палеобассейне.

Проект II.2П-IX.126-3. Периодизация позднепротерозойского этапа в истории земли: комплексный междисциплинарный подход (на примере разрезов Сибири и российского сектора Арктики)

Результаты изучения распределения железа и его минеральных форм в известняках хатыспытской свиты в Сибирском гипостратотипе венда позволяют предполагать, что обстановки обитания мягкотелых организмов были окисными. По всей вероятности, в условиях крайне неоднородной и изменчивой окислительно-восстановительной среды в позднем докембрии, арбореоморфные организмы *Aspidella terranovica* были экологическими «оппортунистами», адаптированными к выживанию в условиях нестабильной окислительно-восстановительной среды благодаря способности к быстрому и широкому расселению во время эпизодического развития аэробных обстановок.

Изучение вариаций изотопного состава углерода (на примере пачки Miaohu Южного Китая) показало, что источником осажденного органического вещества служили не только окисленные фототрофы – макроводоросли, цианобактерии и эукариотический фитопланктон. Метилотрофы, фотоавтотрофы и хемоавтотрофы, приуроченные к оксиклину и бескислородным слоям воды, служили важным поставщиком органического вещества, обедненного тяжелым изотопом углерода. Результат характеризует продолжающиеся исследования, направленные на уточнение корреляции Сибирского гипостратотипа венда и осадочной последовательности эдиакария Южно-Китайской платформы.

Полученные данные о характере изменения литохимических показателей среды осадконакопления и степени зрелости силикокластики в разрезе сыльвицкой серии верхнего венда западного склона Среднего Урала показывают, что отложения, формировавшие на разных этапах котлинского кризиса, статистически не различаются между собой показателями параметров среды и индикаторов характера процессов выветривания на палеоводосборах. Полученные нами результаты указывают на относительную стабильность ряда абиотических показателей на фоне протекающего котлинского кризиса и подтверждают глобальный характер этого события.

Выявлены новые закономерности морфологической и экологической эволюции ископаемых макроводорослей на протяжении эдиакария и раннего палеозоя. Показано, что кембрийская ископаемая флора представлена морфотипами, унаследованными от эдиакария, и что макроводоросли не внесли существенного вклада в радиацию животных на рубеже эдиакария

и кембрия. Основные эволюционные изменения макрофитов приурочены к ордовикскому периоду и связаны с экологической нагрузкой со стороны ползающих микрофагов.

Впервые установлен поздневендский (540–550 млн лет) U–Pb-цирконовый возраст постколлизийных гранитоидов Осиновского массива, размещенного в породах островодужного комплекса Исаковского террейна на северо-западе Саяно-Енисейского аккреционного пояса. Источником расплава гранитоидов служила высокодифференцированная континентальная кора юго-западной окраины Сибирского кратона, тогда как позднерифейские островодужные комплексы были надвинуты на окраину кратона на расстояние, значительно превышающее размеры Осиновского массива.

Впервые показано сложное строение тел кристаллосланцев северо-восточной части Суннагинского блока Алдано-Станового щита, вскрытых в среднем течении р. Алдан и сложенных аналогами меланократовых оливиновых габбро, оливиновых габбро разной железистости, габбро-анортозитов, которые можно объединить в единый комплекс. Общими особенностями пород комплекса являются высокие содержания Al_2O_3 , низкие и пониженные содержания щелочей, высокочargedных и транзитных элементов, широкие вариации сумм и характера распределения редкоземельных элементов. Комплекс не имеет аналогов на Алдано-Становом щите.

Получены новые палеонтологические данные, позволяющие оценить возраст верхней части усть-кирбинской свиты в 750–850 млн. лет, что существенно уточняет возрастной диапазон уйской серии в Сибирском гипостратотипе рифея.

Проект II.2П/IX.126-2. Начальные ступени зарождения и этапы формирования экологической структуры палеозойских биот

1) Монографически изучены древнейшие археоциаты, трилобиты и сопутствующая им мелкораквинная фауна нижнего кембрия Салаира и Алтая.

2) Монографически изучены представители древнейшего палеозойского планктона - радиолярий.

3) Изучены тувинские нижнекембрийские вестментифероподобные организмы.

По первому результату показана зависимость таксономического разнообразия от фациальной приуроченности комплексов трилобитов, археоциат и мелкораквинной фауны, а также от положения в акваториях палеобассейнов с определенными глубинами.

По второму результату обнаружено, что уже на начальной стадии зарождения палеозойских планктонных организмов – радиолярий, наблюдается появление и становление двух морфотипов их скелетов.

По третьему результату – в нижнем кембрии Тувы найдены вестментифероподобные организмы.

Рекомендации по конкретному использованию результатов НИР: результаты пополнят палеонтолого-стратиграфическую базу данных по палеозою Сибири.

Проект II.2П/IX.126-1. Детализация региональных стратиграфических схем докембрия и фанерозоя арктических территорий России в качестве современной хронологической основы геологических исследований Арктики

В результате работ по проекту в 2016–2017 году на новом материале показано значение микрофоссилий для совершенствования и детализации стратиграфической основы верхнего рифея. В качестве видов-индексов выбраны таксоны эукариотического происхождения, при этом анализируется ассоциация всех сопровождающих морфологически сложных (преимущественно эукариотических) остатков. Основным критерий выделения ассоциаций – глобальная распространенность, а их возрастной диапазон оценивается по комплексу геохронологических и стратиграфических данных. В мезо-неопротерозойских отложениях выделены четыре устойчивые (повторяющиеся) ассоциации. Показаны возможности использования изотопно-геохимических характеристик отложений (стабильных изотопов углерода и стронция) для достоверной внутри- и межрегиональной корреляции венда и нижнего кембрия Сибири. Комплексные исследования пограничного интервала венда и кембрия Оленекского поднятия убедительно демонстрируют масштабность эволюционных изменений, происходящих в морских экосистемах вблизи основания томмотского яруса Общей стратиграфической шкалы России. Имеющиеся данные по вариациям

изотопов углерода ($\delta^{13}C$), появлению стратиграфически важных мелких скелетных остатков (показаны синим цветом) и U-Pb абсолютным возрастам дают возможность с достаточной достоверностью установить положение основания кембрия ОСШ в средней части маттайской свиты. Установлено возможное смещение подошвы третьей ихнозоны кембрия *Cruziana tenella* вниз, в район основания томмотского яруса (Cambrian Stage 2 в МСШ). Альтернативным решением может стать выделение и обоснование самостоятельной ихнозоны с основанием, коррелируемым с подошвой зоны *Nocheroicyathus sunnaginicus* (основанием томмотского яруса кембрия/основанием Cambrian Stage 2).

В результате исследований сводного разреза среднего кембрия на реке Хорбосуонка (северо-восток Сибирской платформы) на разных стратиграфических уровнях по трилобитам установлены интервалы, коррелируемые с региональными зонами амгинского и майского ярусов среднего кембрия. Впервые установлены богатые комплексы конодонтов из типовых выходов верхней части бастахской и низов атырдахской свит нижнего карбона Северного Хараулаха, низовье реки Лены. Определен новый род *Lenathodus* и космополитные виды мелководных фаций родов *Neopolygnathus*, *Bispathodus*, *Pseudopolygnathus*, *Mestognathus*, *Neoprioniodus* и *Spathognathodus*. Изученный комплекс конодонтов характеризует интервал конодонтовых зон верхнего турне *Gnathodus typicus* – *Siphonodella isosticha* and *Gnathodus pseudosemiglaber* – *Scaliognathus anchoralis*. Полученные новые данные по конодонтам Северного Хараулаха расширили представления об области распространения этой группы микрофоссилий в раннем карбоне на окраине Сибирской платформы.

На основании биостратиграфических данных и изотопных определений углерода сделан вывод об отсутствии сколько-нибудь длительного перерыва между накоплением имтачанской и некучанской свит в разрезе бассейна р. Сеторым, являющемся, по новым данным, одним из наиболее представительных разрезов пограничного интервала перми и триаса Северной Евразии. Достаточно резкий литологический контакт между свитами отражает не региональный перерыв в седиментации, а смену обстановок осадконакопления — от верхних частей дельты к глубокому шельфу в условиях развивавшейся быстрой трансгрессии моря. Впервые обоснована полнота пермского разреза этого региона, и в частности присутствие в нем терминальных частей пермской системы, отвечающих чансинскому ярусу.

На основе палинологических исследований естественных выходов и скважин нижней и средней юры, расположенных на территории Восточной Сибири, дано комплексное (диноцисты, споры и пыльца) обоснование усовершенствования палиностратиграфических шкал нижней юры Сибири как основы для корреляции разнофациальных толщ на арктических территориях. Выявлено три основных этапа развития диноцист в раннеюрскую эпоху в сибирском палеобассейне, характеризующихся появлением, расцветом и исчезновением отдельных порядков диноцист в определенные временные интервалы.

В связи с понижением границы четвертичной системы до уровня 2,588 ($\approx 2,6$) млн. лет, предложены изменения, которые необходимо внести в новый вариант региональной стратиграфической схемы четвертичных отложений Западной Сибири. На основе анализа вариантов сопоставления климатических стратиграфических подразделений квартера (горизонтов) с Общей и Международной стратиграфическими шкалами и комбинации палеонтологической и палеомагнитной характеристик кочковского горизонта Западной Сибири показано, что название «кочковский» сохранить в качестве надгоризонта в новое поколение стратиграфической схемы четвертичных отложений Западной Сибири.

В связи с интенсивно развивающимися в мире комплексными исследованиями по межрегиональной корреляции фанерозойских толщ для прослеживания интервалов, в которых Международной комиссией по стратиграфии утверждены GSSP границ ярусов и систем результаты работ по проекту привлекут внимание специалистов из разных стран. Они важны не только в области фундаментальных исследований палеонтологии, стратиграфии докембрия и фанерозоя, но и являются весомым вкладом в разработку и совершенствование региональных стратиграфических схем Сибири (включая арктические территории) и в целом бореальных бассейнов. Новое усовершенствованное поколение региональных стратиграфических схем докембрия и фанерозоя арктических районов России является необходимым атрибутом всех современных геологических исследований и геолого-поисковых работ на северных и арктических территориях.

Проект II.2П/IX.124-4. Эволюция формирования континентальной коры в структурах складчатого обрамления Сибирской платформы: строение, механизмы, геодинамика

Результат I. Выделены шесть важнейших корреляционных уровней, которые соединяют разрезы венда в прогибах и на поднятиях от Енисейского кряжа до юго-западного Прибайкалья. Эти уровни представлены маркирующими отложениями и границами, представляющими собой трансгрессивные прибрежные отложения, мощные гляциальные отложения, терригенные, включая конгломераты, ледниковые комплексы и постгляциальные отложения.

Стратиграфически выделенные уровни могут быть описаны сверху вниз следующим образом (рис. 1):

1. Раннекембрийская трансгрессия (в классификации ICS) и появление прибрежных терригенных, карбонатных и смешанных отложений с ихнофоссилиями *Treptichnus pedum*, (бугорчатая и двойная линии).

2. Поздневендский (позднеэдиакарский) коллапс орогенов и появление внешней сети рек с грубокластическими отложениями (конгломератами), местами нарушенными сейсмическими событиями (красный пунктир).

3. Первое появление в позднем венде внешнего источника обильного песчаного материала и крупных рек, переносивших этот материал на платформу (зеленый пунктир).

4. Эпоха оледенения Гаскье? – маркирующие ее гляциофлювиальные грубозернистые отложения, переносившие материал с кратона в окраинный морской бассейн (жирные черные точки).

5. Постгляциальные (постмаринонские) разнообразные кластические и карбонатные отложения с маркирующей пачкой кэп-доломитов (черный пунктир).

6. Ледниковые отложения – тиллиты, ледниковые формы рельефа, гляциофлювиальные отложения – эпохи оледенения Марино (черная волнистая линия). Полученные данные, корреляционные схемы и модели существенно развивают наши представления о тектонических обстановках в юго-западном и южном обрамлении Сибирского палеоконтинента на рубеже неопротерозоя и палеозоя. Более того, результаты исследований осадочных бассейнов и магматических комплексов успешно коррелируются с имеющимися опубликованными данными по дальнейшей эволюции складчатого обрамления Сибирской платформы в палеозое. В комплексе с палеомагнитными данными, полученные результаты могут быть использованы для построения палеогеодинамических реконструкций на этот дискуссионный этап развития литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Результат II. В результате исследования ассоциации габбро-анортозитов, кварцевых диоритов, тоналитов и плагиогранитов (адакитов), образовавшейся на границе позднего неопротерозоя и палеозоя, в интервале 576–546 млн лет назад (U/Pb геохронологические данные по цирконам), впервые на Енисейском кряже была реконструирована трансформная континентальная окраина и разработана соответствующая геодинамическая модель (рис. 2).

Образованию трансформной континентальной окраины на границе позднего неопротерозоя и раннего кембрия, способствовали:

1. Формирование утолщенной континентальной коры на юго-западной окраине Сибирского кратона за счет аккреции и обдукции островодужных и офиолитовых комплексов Приенисейского пояса, и, как следствие “остановки” субдукции с открытием “slab window”;

2. Присутствие в Татарско-Ишимбинской тектонической зоне еще не остывших обогащенных Nb магматических пород основного состава татарского комплекса активной континентальной окраины;

3. Проявление адакитового магматизма в зоне скольжения литосферных плит активной континентальной окраины.

Последнее хорошо согласуется с развитием магматизма в пределах Алтае-Саянской складчатой области [Руднев, 2013], а также с имеющимися палеомагнитными данными для структур и магматических систем этого возраста [Метелкин, 2013] и последующей кембрий-раннеордовикской магматической историей Южно-Енисейского кряжа [Верниковская и др., 2004].

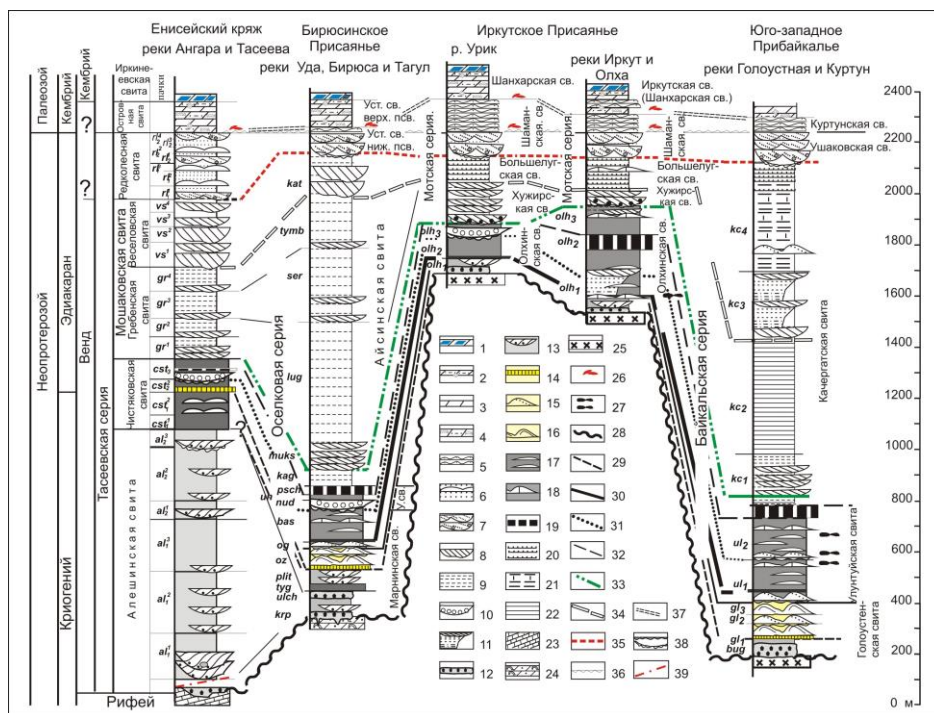


Рис. 1. Схема корреляции позднепротерозойских осадочных комплексов в юго-западном и южном обрамлении Сибирской платформы

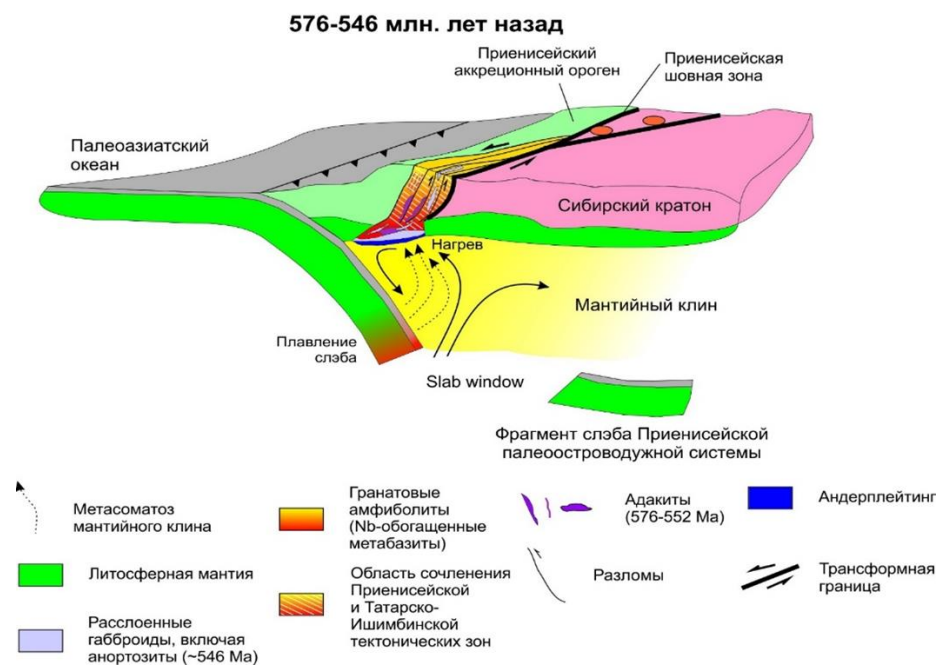


Рис. 2. Геодинамическая модель окраины Сибирского кратона на интервал 576-546 млн. лет назад

Полученные данные, корреляционные схемы и модели существенно развивают наши представления о тектонических обстановках в юго-западном и южном обрамлении Сибирского палеоконтинента на рубеже неопротерозоя и палеозоя. Более того, результаты исследований осадочных бассейнов и магматических комплексов успешно коррелируются с имеющимися опубликованными данными по дальнейшей эволюции складчатого обрамления Сибирской платформы в палеозое. В комплексе с палеомагнитными данными, полученные результаты могут быть использованы для построения палеогеодинамических реконструкций на этот дискуссионный этап развития литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Программа Президиума РАН №43. Проект №7. Разработка математических моделей и вычислительных схем дискриминационного моделирования многомасштабных, многофизических процессов при термохимических воздействиях на нефтяные залежи

Задача моделирования термохимических воздействий на нефтяные залежи является многофизической – необходимо одновременно моделировать процессы термоупругой деформации, движения флюида в трещине (поре) и процесс теплообмена в двухфазной среде. Применение современного математического аппарата – семейства неконформных многомасштабных конечноэлементных методов, позволило разработать единообразную вычислительную платформу для реализации процедуры математического моделирования процессов термоупругой деформации в флюидонасыщенной трещиноватой среде.

- Разработан, реализован и верифицирован программный комплекс для решения задач математического моделирования процессов термоупругой деформации в пористой, трещиноватой флюидонасыщенной среде на базе неконформных конечноэлементных методов.
- Разработаны, реализованы и верифицированы на классе модельных задач и задач, приближенных к реальным, специальные схемы решения задач термоупругости в трехмерной постановке на базе XFEM.
- Разработаны, реализованы и верифицированы на классе модельных задач и задач приближенных к реальным, специальные вычислительные схемы для решения задач гидродинамики, построенные на базе DGFEM и на базе стабилизированного векторного метода конечных элементов.
- Проведен сравнительный анализ предложенных вычислительных схем решения уравнений Навье-Стокса на классе модельных задач.

Программа президиума РАН №44. Проект №47. Разработка новых геолого-геофизических и геодинамических моделей строения и эволюция литосферы Центральной и Восточной Арктики

Результат 1. На основе новых палеомагнитных данных подтверждено тектоническое родство Баренции и Балтики в палеозое и реконструирован сдвиговый механизм раннемезозойских деформации их Пайхой-Новоземельской окраины. В результате левосторонних сдвиговых перемещений вдоль Байдарацкого разлома Североновоземельский сегмент деформировался в режиме надвига северо-западной вергентности, а внутренняя структура Южноновоземельского сегмента испытала ортогональные к плоскости сдвига чешуйчато-надвиговые дислокации юго-западной вергентности.

Расчитанные в итоге палеомагнитные полюсы имеют согласованное расположение с соответствующими полюсами Балтики (рис. 1). Это позволяет не только подтвердить предполагаемое тектоническое родство Балтики и Баренции, по крайней мере с девонского времени, но и высказать ряд заключений о механизме раннемезозойских деформаций в регионе. Современная изогнутая форма Пайхой-Новоземельской складчатой области несомненно вторичная. На раннем – палеозойском этапе этот фрагмент представлял линейную структуру достраивающую Западно-Уральскую шельфовую зону Уральского палеоокеана. Наиболее вероятными причинами деформаций, приведших к преобразованию этой линейной структуры в подковообразно изогнутую, может являться либо наличие жесткого блока характерной формы в основании современной Южно-Карской котловины, который оказался “вдавленным” в структуру области в момент коллизионного или пост-коллизионного события в триасе, либо сочетание режимов сжатия и растяжения, возникающих на фоне сдвига во внутриплитных тектонических условиях. Представленные данные подтверждают последний вариант объяснения.

Результат 2. Выполненные палеомагнитные исследования позволили разработать траекторию кажущегося движения полюса для раннепалеозойского интервала геологической истории террейна архипелага Де-Лонга. Проведённые нами палеомагнитные исследования позволили разработать траекторию кажущегося движения полюса (ТКДП, рис. 2), которая вполне определенно указывает на то, что осадочные бассейны Анжу, Де-Лонга представляют фациально различные части единого окраинно-континентального бассейна.

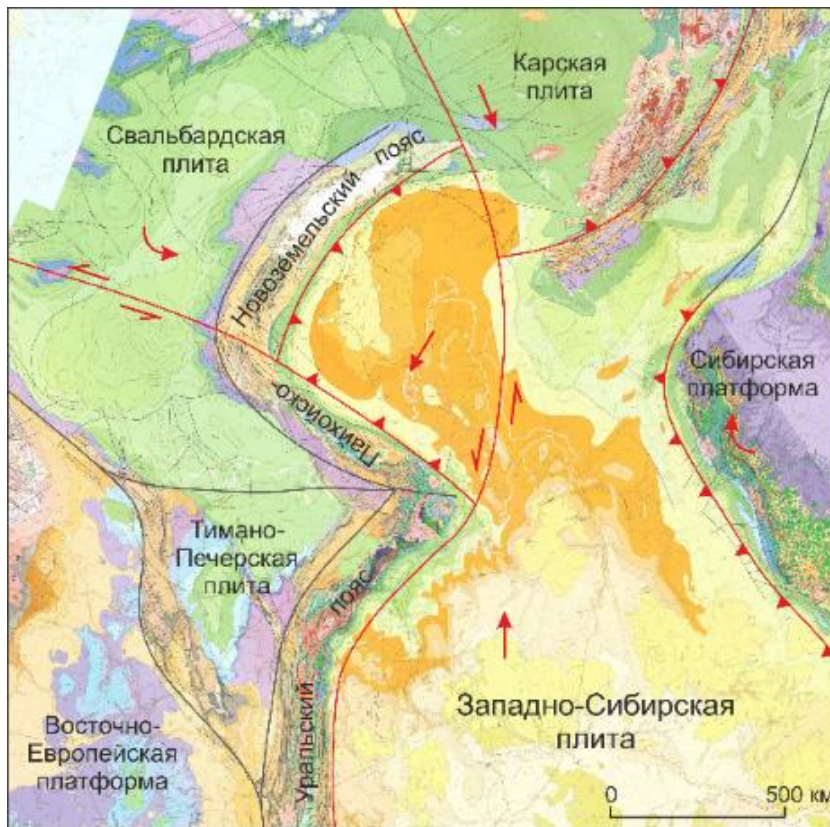
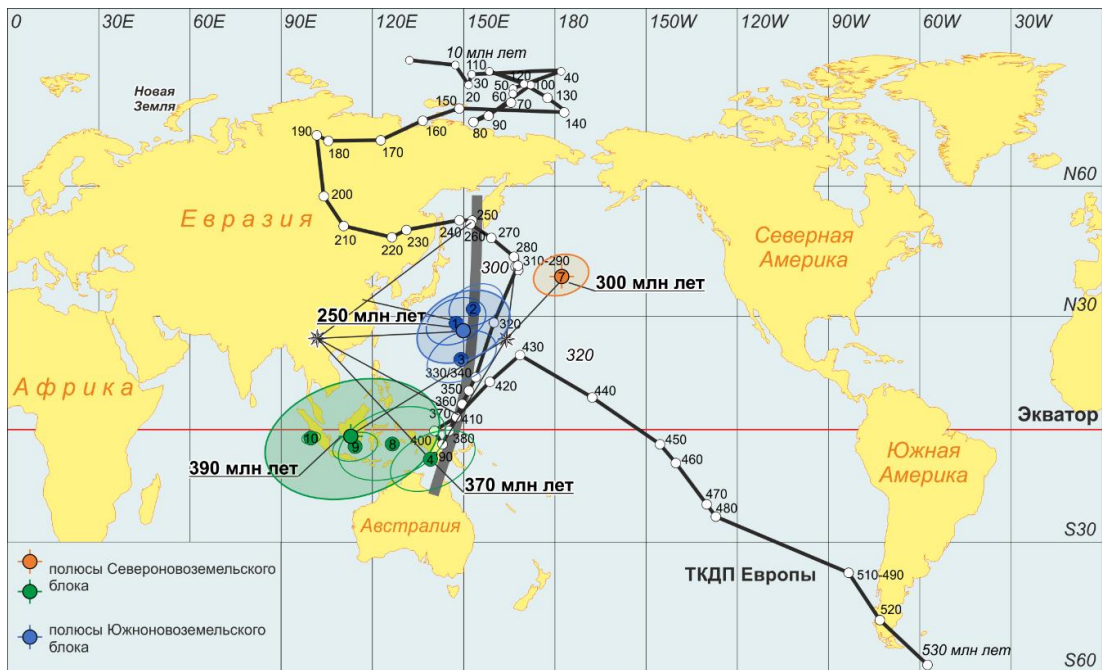


Рис.1. Сравнение палеомагнитных полюсов архипелага Новая Земля с ТКДП Балтики (а) и принципиальная тектоническая схема реализации раннемезозойских деформаций и образования структуры Пайхойско-Новоземельского пояса, согласно полученным палеомагнитным данным (б)

Соответственно характерный тип разрезов о. Жаннетты, о. Генриетты на крайнем северо-востоке, скорее всего, соответствует окраинному морю, расположенному на континентальном основании в тылу активной окраины. Отсюда следует, что структуры Чукотско-Аляскинского континентального массива в позднем докембрии – раннем палеозое не могли быть ориентированы

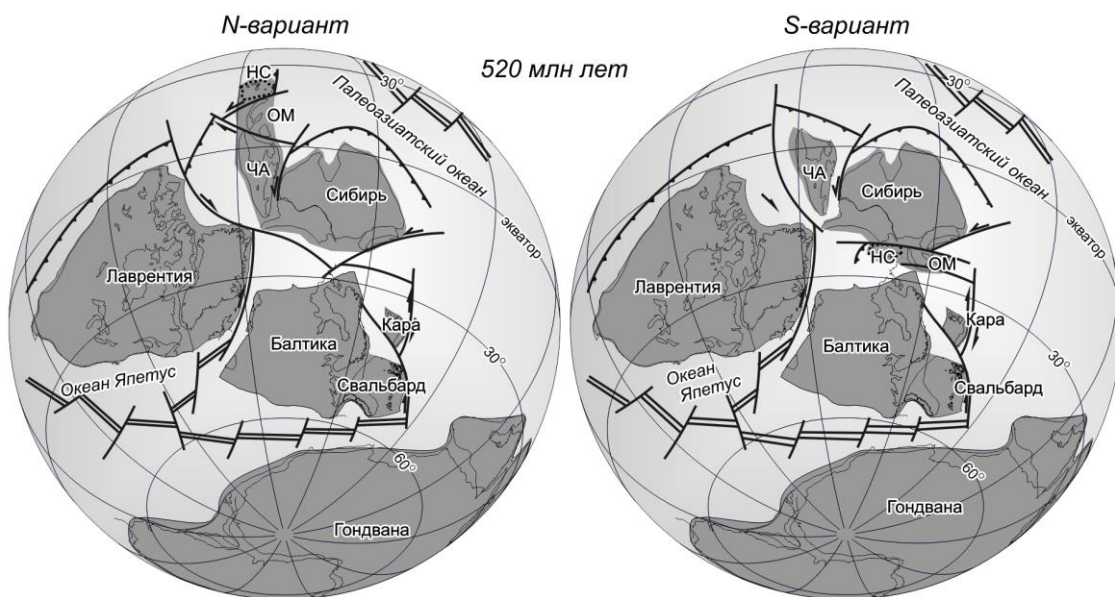
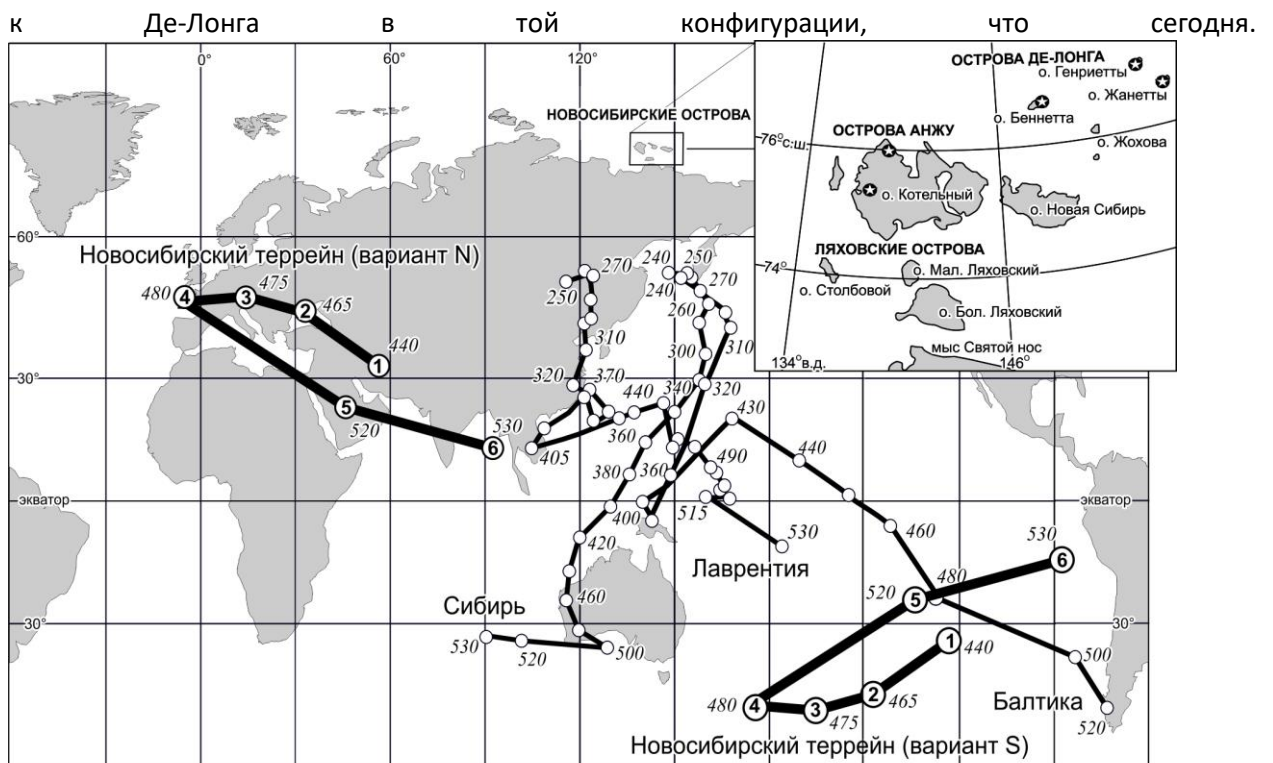


Рис. 2. Траектории кажущегося движения полюса Новосибирского террейна в сравнении с ТКДП Сибири, Лаврентии, Балтики и палеотектонические реконструкции для раннего палеозоя. Числа у полюсов – возраст, млн лет; Врезка: кружки – местоположения изученных объектов

Результат 3. Выполнены экспедиционные работы на архипелаге Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) в составе международной мультидисциплинарной учебно-научной экспедиции «Арктический плавучий университет-2017: ARCTICUM INCOGNITA», организованной Северным (Арктическим) федеральным университетом (САФУ, г. Архангельск) совместно с Русским географическим обществом и Национальным парком «Русская Арктика» (http://narfu.ru/science/expeditions/floating_university/ekspeditsiya-2017/).

Проведены полевые геолого-палеомагнитные исследования осадочно-вулканогенного разреза архипелага ЗФИ на пяти островах: Гукера, Хейса, Ферсмана, на о. Алджер и на Земле Александры (рис. 3).

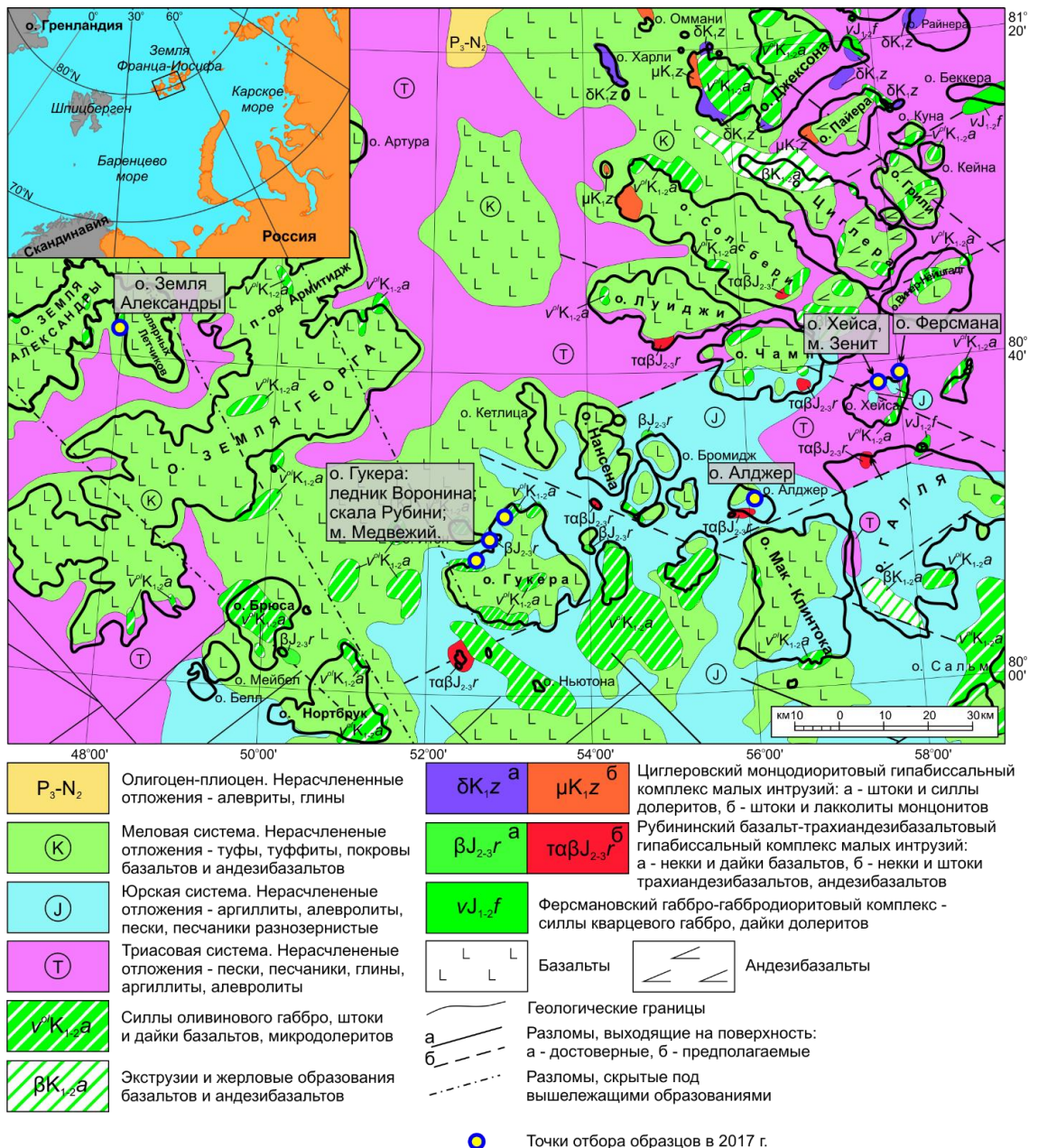


Рис 3. Упрощенная схема геологического строения исследованной территории архипелага Земля Франца-Иосифа, согласно [Государственная геологическая карта..., 2006] с изменениями авторов, и местоположение точек исследования и отбора образцов

Один из основных и наиболее актуальных вопросов в понимании геологического строения ЗФИ связан с возрастом и продолжительностью (или периодичностью) магматизма на архипелаге в юрско-меловое время. В настоящее время существуют две конкурирующие точки зрения. Одна из них, предполагающая единственный период магматической активности в пределах Свальбардской плиты в раннем мелу, опирается на традиционные представления о геологическом строении и стратиграфии ЗФИ и на немногочисленные определения абсолютного возраста магматических пород U–Pb методом. Другая точка зрения основывается на полученных за последние десять лет многочисленных данных об абсолютном Ar–Ar возрасте базальтов, свидетельствующих о весьма продолжительном периоде магматической активности на архипелаге, начиная с ранней юры и вплоть до конца раннего мела.

Для решения указанной проблемы нами в ходе полевых исследований на архипелаге ЗФИ летом 2017 года были взяты пробы из нескольких «ключевых» интервалов вулканогенного разреза на определение абсолютного возраста базальтов двумя изотопно-геохронологическими методами:

U–Pb и Ar–Ar. Это позволит, во-первых, подтвердить либо опровергнуть наличие нескольких этапов магматической активности, а во-вторых, верифицировать полученные ранее Ar–Ar определения возраста с помощью более надежного U–Pb метода. Также одним из важных результатов полевых исследований являются установленные взаимоотношения магматических пород с вмещающими осадочными, которые в предыдущих исследованиях не наблюдались, т.к. были скрыты нетающими ледовым и снежным покровами, но оказались обнажены в последние годы.

В обломках песчаников установлены отпечатки флоры (предположительно папоротников) (рис 4, слева). На верхней поверхности песчаников обнаружены «капли базальта», что свидетельствует о почти одновременном формировании осадочных и вулканогенных пород (Рис 4, справа).

Всего в ходе полевых работ собрана коллекция из 125 ориентированных образцов для палеомагнитных исследований в 13-ти точках наблюдения и взято 9 проб на определение абсолютного возраста магматических пород с помощью U–Pb и Ar–Ar геохронологических методов. В настоящее время коллекция палеомагнитных образцов проходит первичную обработку в Палеомагнитном центре ИНГГ СО РАН и в Лаборатории геодинамики и палеомагнетизма Центральной и Восточной Арктики НГУ.

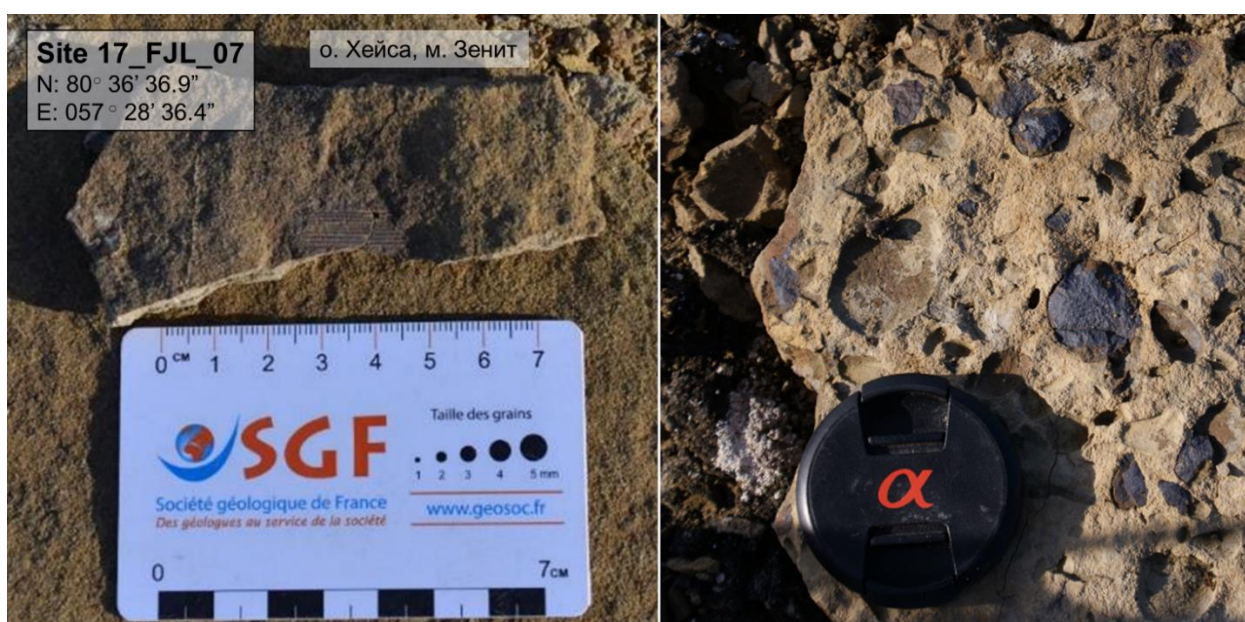


Рис. 4. Фотографии отпечатков флоры (слева) и «капель базальтов» (справа) в песчаниках тетеггофской свиты на о. Хейса в районе м. Зенит

Программа Президиума РАН №44. Проект №48. Глубинные, средне- и малоглубинные исследования строения лито- и криосферы речных дельт восточного сектора Российской Арктики методами электромагнитных зондирований, геомагнитных наблюдений и термометрии

Изучение разрезов докайнозойского основания среднего и верхнего палеозоя в районе дельты р. Лены позволило выделить комплекс отложений карбонатной платформы Северо-Азиатского кратона, модифицированного девонским рифтогенезом (девон-турнейский ярус карбона), а также терригенный комплекс Верхоянской пассивной континентальной окраины, заложение которой началось в визейском веке и завершилось в позднем мезозое коллизионными процессами и орогенезом.

Важным результатом биостратиграфических исследований в районе дельты р. Лены является локализация пород верхних горизонтов франского яруса. Находки конодонтов зоны triangularis позволяют по литологическим критериям выделить проявление глобального событийного уровня, именуемого в мировой литературе как Upper Kelwasser.

Результаты геохимических исследований средне-верхнепалеозойских пород краевой части Сибирского кратона и Верхоянской складчатой области показали, что концентрации ископаемого органического вещества последовательно возрастают от девонских к пермским осадочным

образованиям. Степень катагенетических преобразований органического вещества этих отложений весьма высока и соответствует градациям апокатагенеза, т.е. породы практически полностью исчерпали свой нефтематеринский потенциал. В высоко преобразованном органическом веществе пород докайнозойского основания дельты р.Лены встречен целый комплекс «малозрелых» и ранее неизвестных углеводов-биомаркеров, в том числе стереоизомеры 17-десметил 23-метилмоноароматических стероидов С27. По комплексу признаков эти необычные углеводороды отнесены к соединениям, захваченным (окклюдированным) асфальтенами на ранних стадиях генерации углеводов.

При исследованиях кайнозойского чехла островов дельты р.Лены с использованием малоглубинных геофизических методов (электротомографии, георадара, магнитометрии, и т.п.) впервые на рассматриваемой территории были получены геофизические разрезы высокого разрешения, представляющие новые данные о сочленении кайнозойского осадочного чехла и девонского фундамента, а также о структуре и ореолах деградации криолитозоны в дельте р. Лена, в том числе на территории хозяйствования НИС «о.Самойловский».Посредством частотных индукционных электромагнитных зондирований исследовано техногенное воздействие сооружений станции «Остров Самойловский» на природную среду. Установлены зоны, где конструкции станции провоцируют деградацию многолетней мерзлоты.

Методом электротомографии определена возможность стратификации разреза многолетнемерзлых пород на глубину до 20 метров. В полученных геоэлектрических разрезах выделены аномалии строения ледового комплекса. Показана дифференциация по глубине оттаивания между молодыми и древними аласами, а также признаки вновь зарождающихся ледяных жил в последних.

При помощи наземной детальной магнитной съемки обнаружены невидимые с дневной поверхности ледовые жилы. Магнитная съемка также показала свою информативность в вопросах определения особенностей строения перекрытых кайнозойскими отложениями коренных пород, недоступных для исследования методом электротомографии.

Температурный мониторинг в скважинах, вскрывающих разрезы многолетнемерзлых пород, деградирующих в различных геоморфологических условиях, позволил прогнозировать возможную изменчивость температурного профиля на островах различного генезиса. Для этого в ИНГГ СО РАН разработана и изготовлена Автономная станция температурного мониторинга (АСТМ), которая проходит успешные испытания.

Получены первые успешные результаты по комплексированию геофизических методов и методов беспилотной аэрофотосъемки в Арктическом регионе: электротомография, высокоточная пешеходная магнитная съемка, георадарные исследования и ортофотопланы высокого разрешения с цифровой моделью рельефа. Получены данные аэрофотосъемки высокого разрешения (3-5 см/пиксель) для о. Самойловский и части о. Курунгах.

Программа Президиума РАН №44. Проект №66. Разработка научных основ технологии сбора и обработки сейсмических данных в условиях развитого ледового покрова в транзитной зоне и на шельфе Северного Ледовитого океана

1. В области изучения влияния верхней части разреза на результат обращения полного волнового поля были выполнены следующие исследования:

а) разработана стохастическая модель верхней части разреза, содержащая случайные вариации скорости распространения волн и добротности среды (заметим, что и исходная модель обладала определённой добротностью), в которую затем помещались три регулярных целевых слоя;

б) для построенной модели рассчитывалось полное волновое поле методом конечных разностей;

в) полученное синтетическое волновое поле подавалось на вход процедуры полного обращения, использующее в качестве начального приближения регулярную составляющую модели, то есть модель без наличия случайных отклонений.

В итоге было восстановлено строение среды и проанализированы возмущения, вносимые случайными вариациями в верхней части разреза.

Выводы:

- Метод полного обращения волнового поля обеспечивает корректное восстановление целевых объектов, погруженных в среду со случайными флуктуациями скорости распространения волн.

- После подавления регулярных помех, связанных с наличием возмущения контрастных границ раздела (вода-лёд, вода-дно, зоны растепления) случайные флуктуации скорости распространения волн не препятствуют корректной реконструкции положения и формы целевых геологических объектов.

2. В области развития методов изучения тонкого строения разреза в условиях сложного строения его верхней части было продолжено изучение информативности и разрешающей способности метода рассеянных волн для локализации погребённых русел и анализа изменчивости их свойств вдоль простирания. Для этих целей совместно со специалистами ПАО РН КрасноярскНИПИнефть была построена модель целевого слоя на уровне рифейского горизонта, в который были внедрены три палеоруслы различной глубины/ширины, свойства которых изменялись вдоль простирания. Для этой модели были получены синтетические трёхмерные волновые поля, которые, после добавления в них типичного сейсмического шума, использовались для получения изображений палеорусел путём выделения рассеянных волн.

В результате было установлено следующее:

а) локализация палеорусел производится довольно устойчиво;

б) изменчивость свойств среды вдоль палеоруслы практически не поддаётся реконструкции, ввиду изменчивости его геометрии, которая вызывает гораздо более значимые изменения в отражательной способности.

Научная и практическая значимость проведенных исследований.

Полученные результаты разбиваются на две группы.

1) Результаты в области решения обратной динамической задачи сейсмики.

Несомненно, важным шагом в области развития теории обратных динамических задач сейсмики является и изучение возможности одновременного определения добротности среды и скорости распространения сейсмических волн в ней. В настоящее время такое восстановление производится в несколько шагов, включая поправку амплитуд за поглощение. Однако при этом не учитывается изменение спектрального состава регистрируемого сигнала, что противоречит одному из основных физических принципов о взаимосвязи поглощения и дисперсии сигнала. В наших исследованиях мы рассматриваем полную модель обобщённого линейного твёрдого тела, в которой эти два процесса взаимосвязаны, что обеспечивает физическую корректность проведённого анализа.

2) Реконструкция тонкого строения рифейских горизонтов, особенно реконструкция расположенных в них палеорусел. Полученные нами результаты показали, что использование рассеянных волн позволяет достаточно надёжно восстанавливать их геометрию, но не литологию их заполнения.