

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПРОГРАММЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приоритетное направление IX.124 Геодинамические закономерности
вещественноструктурной эволюции твердых оболочек Земли

0331-2019-0001 Тектоническое строение и палеогеодинамические реконструкции аккреционно-коллизийных структур и осадочных бассейнов Восточной Сибири и Российской Арктики. Рук. академик РАН В.А. Верниковский

- В результате детального пересмотра и уточнения стратиграфического положения средне-поздне-криогенских (ранневендских в Российской стратиграфической шкале) ледниковых отложений в разрезе оселковой серии Присяянья получен важнейший результат: выделены три стадии в истории мировой предэдиакарской гляциоэпохи среднего-позднего криогения. Стадии оледенения названы по стратотипам пачек или стратотипам (лимитотипам) границ: Карапчетуйская, Уляхская и Красовская. Отсутствие отложений неледникового генезиса между стадиями подтверждает вывод о том, что все три принадлежат одной ледниковой эпохе. Выделение стадий криогенской эпохи оледенения на Сибирском кратоне будет наиболее важным основанием корреляции этого оледенения и пограничных отложений криогения и эдиакария на других кратонах и микроконтинентах.
- На основе результатов полевых исследований базальных отложений сухопитской серии рифея (мезо-неопротерозоя) на Енисейском кряже и петрографического сравнения кластического материала в отложениях кординской свиты и возможных гранитных источниках установлено, что кординская свита, и сухопитская серия в целом, образуют чехол на Центрально-Ангарском террейне, и что областью сноса кластического материала для них являлся этот террейн, а источниками – раннепротерозойские гранитоиды Тейского комплекса. С учетом U-Pb возраста наиболее молодых гранитоидов Тейского комплекса ~ 865 млн. лет, очевидно, что кординская свита и сухопитская серия в целом, не могут быть древнее этой даты.
- На основе анализа новых и опубликованных ранее U/Pb геохронологических данных, вместе с геолого-структурными и палеомагнитными данными, обосновано существование эдиакаран-раннекембрийской трансформной активной континентальной окраины для ЮЗ фрагмента Сибирского палеоконтинента, отражением эволюции которой является интрузивный магматизм трех ассоциаций: а) пикродолерит – оливинный долерит – кварцевый диорит – лейкогранит, 626-623 млн. лет; б) адакит – габбро - анортозит, 576-546 млн. лет; в) сиенит – субщелочной гранит – шошонит, 511 млн. лет.
- В результате обработки обширной коллекции образцов осадочных пород из терригенно-карбонатных разрезов Северного острова архипелага Новая Земля дана сравнительная палеомагнитная и петромагнитная характеристика неопротерозойско-палеозойских комплексов Северо-Новоземельского осадочного бассейна. Обоснована степень сохранности палеомагнитного сигнала и подтверждено наличие регионального тектонотермального события в интервале 220 – 200 млн лет назад, которое связывается с деформациями Пайхой-Новоземельской континентальной окраины. С учетом полученных ранее палеомагнитных данных, включая разрезы Южного острова архипелага Новая Земля, удалось подтвердить высказанное нами ранее предположение о преобладающем сдвиговом механизме этих деформаций.
- Проведенные палеосейсмологические и археосейсмологические исследования позволили расширить каталог сильных ($M > 6.5$) палеоземлетрясений Горного Алтая и Северного Тянь-Шаня. В пределах Горного Алтая выделено три зоны концентрации древних и исторических землетрясений, связанные с Курайской, Катунской и Южно-Теректинской зонами разломов, определено положение очаговых зон и параметры 7 палеоземлетрясений, произошедших за последние 16 тыс. лет. Установлено, что в Южном Присыккулье произошло четыре голоценовых землетрясения во временные интервалы: 1771–1785 гг. н.э., 1440–1515 гг. н.э., 2310–745 гг. до н.э. и 6400–5300 гг. до н.э. Судя по параметрам разрывов/сейсмоуступов, их магнитуда была $M \geq 7$, а сейсмическая интенсивность $I_0 \geq IX$ баллов.
- На основе комплекса палеомагнитных, гранулометрических и геологических данных построена модель формирования осадочного заполнения Иволгинской впадины в Южной части

Байкальской рифтовой зоны в течение последнего миллиона лет. Показано, что формирование отложений происходило в три этапа. На раннем этапе (от 1 млн до ~ 660 тыс. лет) происходило субэаральное осадконакопление в условиях умеренно теплого климата. На рубеже около 660 тыс. лет субэаральное накопление с формированием почвенных горизонтов продолжалось, но уже в условиях преимущественно холодного климата. На рубеже ~45 тыс. лет тип осадконакопления резко изменился, и до голоцена происходил размыв ранне-среднеплейстоценовых отложений и заполнение впадины осадками катастрофических паводков.

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

0331-2019-0002 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

Важнейшим результатом за 2019 год является комплексное стратиграфическое, изотопно-геохимическое и геохронологическое изучение отдельных разрезов рифея и венда Сибирской платформы и складчатого обрамления, позволяющее модернизировать официально принятые схемы расчленения и корреляции: увеличен объём нижнего рифея Байкитского фациального района, сокращен объём верхнего рифея Енисейского кряжа, увеличен объём венда Енисейского кряжа, сокращен объём венда Туруханского поднятия.

Полученные результаты позволяют уточнить время появления и существования отдельных представителей вымерших эукариот. Так, новый модельный Rb–Sr возраст глауконита 1340–1400 млн лет из долгоктинской свиты камовской серии также определяет верхний возрастной предел существования так называемой «таппаниевой ископаемой биоты», содержащей древнейших представителей кроны эукариот. Ранее её минимальный возраст оценивался в 1.2 млрд лет по корреляции с разрезом камовской серии Катангской седловины. Здесь отложения камовской серии выше джелиндуконской толщи имеют тонкотеригенно-карбонатный состав и цикличное строение, близкое к строению разреза Байкитского района. Ранее полученные K–Ar возраста из джелиндуконской толщи лежат в диапазоне 1105–1265 млн лет, а Rb–Sr возраста – в возрастном диапазоне 1275–1526 млн лет. В 2019 году было проведено минералого-геохимическое изучение и определён новый Rb–Sr-возраст силикатов глауконит-иллитового ряда. Минералогические и кристаллохимические характеристики указывают на эпигенетическое нарушение структуры глауконита, поэтому его Rb–Sr-изохронный возраст (1300 ± 7 млн лет) «омоложен» и отражает этап частичной перекристаллизации. Отношение $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ в доломитах долгоктинской и куюмбинской свит составило 0.70602–0.72230, что подтверждает изменённость пород. Модельный Rb–Sr-возраст глауконита, рассчитанный с учётом обогащения 87Sr , находится в пределах 1340–1400 млн лет. Таким образом, время существования «таппаниевой ископаемой биоты» на территории Сибирской платформы оказалось схожим с возрастом аналогичной биоты, установленной в группе Roper Австралии (1500–1400 млн лет) и надгруппе Belt Северной Америки (возраст >1450 млн лет).

Первый прямой Pb–Pb возраст 1020 ± 20 млн лет дадыктинской свиты тунгусикской серии Енисейского кряжа позволяет нам оценить возраст окремненной ископаемой микробиоты свиты Серого Ключа, подстилающей дадыктинскую свиту. В составе микробиоты ранее были установлены эукариотические организмы, среди которых особый интерес представляют остатки рода *Palaeastrum*, относимые к зелёным водорослям (группа *Archaeoplasmata*). Представители рода имеют четкий диагностический признак – наличие соединений между клетками, образованных утолщениями оболочки. Такие структуры указывают на высокий уровень интеграции, схожий с ценобиями современных родов *Pediastrum* и *Coelastrum* хлорококковых зеленых водорослей. До недавнего времени древнейшие *Paleoastrum* были известны из формации Svanbergfjellet тонийского возраста (~750 млн лет) Шпицбергена. Эти остатки имеют крупные размеры ценобия, сопоставимые с современными *Hydrodictyon*, которые могут насчитывать тысячи клеток. Нами время появления группы *Archaeoplastida* оценивалось по находкам микрофоссилий *Paleoastrum* sp. в составе лахандинской ископаемой микробиоты из лахандинской серии Учуро-Майского региона Сибири (возраст 1.030 млн лет). Уточнение возраста ископаемой микробиоты свиты Серого Ключа подтверждает высказанные ранее предположения о более раннем (1.04– 1.03 млрд лет) времени появления группы *Archeoplastida*.

Кроме того, в составе микробиоты свиты Серого Ключа установлены микрофоссилии рода *Osculosphaera* (домики протист), сфероморфные крупные оболочки *Chuaria globosa* и акантоморфные акритархи двух родов, *Trachyhustrichosphaera* и *Cymatiosphaeroides*. Принимая во внимание новые оценки возраста, акантоморфные акритархи *Trachyhustrichosphaera aimica* и *Cymatiosphaeroides filiformis* из свиты Серого Ключа являются одними из наиболее древних представителей этих родов.

0331-2019-0003 Палеонтологическое и экостратиграфическое обоснование зональных стратиграфических схем палеозоя Сибири, палеогеографическое и биофациальное районирование осадочных бассейнов. Рук. д.г.-м.н. Н.В. Сенников

Первый важнейший результат - «Серия новых региональных стратиграфических схем верхнего протерозоя и нижнего палеозоя Алтае-Саянской складчатой области нового поколения».

На основе экосистемного подхода создан комплект новых «Стратиграфических схем» палеозоя Сибири, являющихся регламентированной прецизионной основой для Серийных легенд при Государственном геологическом картировании.

Для верхнепротерозойских отложений Алтае-Саянской складчатой области построена новая региональная стратиграфическая схема, которая отражает современное состояние изученности, основанное на результатах многолетних исследований.

Составлена региональная стратиграфическая схема нижнекембрийских отложений восточной части Алтае-Саянской складчатой области, базирующаяся на многочисленных новых материалах. В схеме расширена палеонтологическая характеристика ранее принятых горизонтов. В корреляционную часть схемы дополнительно включены восемь разрезов Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна и Тывы. В большинстве колонок отдельных районов дополнены литологическая и палеонтологическая характеристики свит и уточнена их мощность. На этой основе проведена новая корреляция отдельных свит. Уточнены границы и объемы устькундатского, натальевского, камешковского и санаштыкгольского горизонтов в их стратотипических местностях. Нижняя граница кембрия проведена по комплексу палеонтологических данных, главным образом по смене комплексов водорослей с *Korilophyton* комплексом с *Eriphyton*. Верхняя граница нижнего кембрия определена с учетом корреляции обручевского горизонта Алтае-Саянской складчатой области с еланским горизонтом нижнего кембрия Сибирской платформы

Разработана новая версия региональной стратиграфической схемы силура западной части Алтае-Саянской складчатой области, составленная в соответствии с требованиями «Стратиграфического кодекса России». За время, прошедшее после проведения предыдущего совещания (Новосибирск, 1979 г.), кардинально изменился ярусный стандарт силурийской шкалы – ранее используемые в ранге ярусов лландоверийский, венлокский, лудловский и пржидольский подразделения получили ранг отделов, а в составе первых трех из них были выделены новые: руданский, аэронский, теличский, шейнвудский, гомерский, горстийский и лудфордский ярусы. В характеризуемой схеме использован новый ярусный стандарт силура Общей стратиграфической шкалы. Детализировано стратиграфическое расчленение – в схеме взамен четырех горизонтов выделено семь.

Подготовлена новая региональная стратиграфическая схема силура Тывы. В ней содержатся изменения, дополнения и уточнения предыдущей (третьей) версии схемы, принятой на Межведомственном стратиграфическом совещании в 1979 г. в Новосибирске и затем утвержденной Межведомственным стратиграфическим комитетом СССР в качестве официальной стратиграфической основы для всех видов региональных геологических работ. В схеме использован новый ярусный стандарт силура Общей стратиграфической шкалы. Представляемая схема рассмотрена на Всероссийском стратиграфическом совещании 2012 г. в Новосибирске и утверждена в качестве унифицированной на расширенном заседании Бюро Межведомственного стратиграфического комитета России в 2014 г.

Вторым важнейшим результатом за 2019 г. является изучение алтайских ордовикских отложений зональным, событийным и бассейновым методами стратиграфиями. Полученные данные позволяют констатировать, что алтайский ордовикский бассейн на современном уровне его изученности можно отнести к эталонному объекту с разработанными зональным, событийным и бассейновым методами стратиграфии на территории России. Биостратиграфические сведения по ордовику Горного Алтая являются ключевыми для разрешения дискуссионных вопросов, связанных с определением хроностратиграфического положения границ региональных и местных стратонов, не

только для всех сибирских регионов, но и для Восточно-Европейской платформы, Урала и Арктических территорий России.

0331-2019-0004 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

- Результат исследований по обоснованию детализации аммоидных шкал верхнего триаса

Проведена ревизия аммоидей рода *Yakutosirenites* (Sirenitidae) из карнийских отложений Северо-Востока Азии. На основании изучения морфогенеза важнейших структур раковины род *Yakutosirenites* разделен на два подрода: *Yakutosirenites* Tozer, 1994 с типовым видом *Sirenites pentastichus* Vozin, 1964 и *Vozinites* Konstantinov, 2019 с типовым видом *Sirenites armiger* Vozin, 1965. Уточнена бореально-тетическая корреляция зоны *Yakutosirenites pentastichus*: впервые, с учетом данных ревизии рода *Yakutosirenites*, обосновано сопоставление верхней части этой зоны только со слоями с *Arctosirenites canadensis* Арктической Канады и нижней подзоной зоны *Tropites welleri* Британской Колумбии, эквивалентными нижней части зоны *Tropites subbullatus* Альпийского стандарта.

На основе уточнения систематического состава и стратиграфического распространения аммоидей в разрезах верхнекарнийских отложений Северного Приохотья, бассейна р. Адыча и правобережья нижнего течения р. Лена детализирована зональная шкала верхнего карнийского подъяруса Северо-Востока России. Впервые выделена новая аммоидная зона *Orientosirenites bytschkovi*, которая подстилается зоной *Orientosirenites yakutensis* и перекрывается вышележащей зоной *Kedonosirenites kedonensis*. Зоны *yakutensis* и *bytschkovi* Северо-Востока России на основании общего рода аммоидей *Orientosirenites* сопоставляются со слоями с *Jovites borealis* Арктической Канады и Юкона и их эквивалентами – верхней подзоной зоны *Tropites welleri* Британской Колумбии и верхней частью зоны *Tropites subbullatus* Альп.

- Результаты исследований нижнебайосских белемнитов Аляски, позволившие определиться с предполагаемым предком цилиндротетид и предполагаемым положением террейна «Peninsular»

Впервые изучены нижнебайосские белемниты южной Аляски, среди которых определены преимущественно *Megateuthididae*, в том числе новый род и новые виды. Новый род *Pseudosimobelus* представляет собой переходную форму между *Megateuthididae* и *Cylindroteuthididae* и возможно являлся предком последнего. Единственный в коллекции ростр *Belemnopseidae* (*Hibolithes?* sp. juv.) – самый древний представитель этого семейства на Аляске. В биогеографическо-структурном плане комплекс белемнитов представлен элементами пантетических, типично западно-тетических, а также эндемичных северо-восточно-пацифических сообществ. Палеонтологические данные предполагают смещенное к югу положение террейна «Peninsular» в раннем байосе от его современной позиции. Появление *Brevibelus*, *Eocylindroteuthis* и предположительно *Hibolithes* около западных берегов Северной Америки в конце раннего байоса объяснимо их миграцией из Тетис через Испанский коридор.

- Палинологическое обоснование наиболее древнего возраста местонахождения оперенных динозавров в Забайкалье

Завершено исследование флористических комплексов из нижней подсвиты укурейской свиты в местонахождении Кулинда (Забайкалье). Здесь были найдены остатки «оперенных» (с перистыми структурами) динозавров (*Kulindadromeus*), однако возраст отложений до последнего времени детально не изучался и считался позднеюрским-нижнемеловым. Самые древние «оперенные» динозавры ранее были известны из верхней юры Китая. Совместный анализ палинологической последовательности и макрофлоры позволил определить батский возраст костеносных слоев в местонахождении Кулинда, где ранее были обнаружены остатки «оперенных» динозавров. Установлены также фациальные особенности их формирования. Широкое развитие на окружающих территориях хвойных лесов, которые произрастали в условиях достаточно влажного теплоумеренного климата, подтверждается палинологическими данными.

- Актуализация предложений по изменениям в бореальном зональном стандарте средней юры

Суммированы предложения по изменению бореального (сибирского) стандарта средней юры. Анализ современного состояния исследований в области бореально-тетической корреляции

морских среднеюрских отложений показал, что дальнейшие перспективы по уточнению корреляционных схем связаны с расширением спектра совокупного использования различных палеонтологических объектов и методов при изучении сибирских и других бореальных разрезов, а также разрезов смежных территорий. Это позволит выявить некое множество откалиброванных маркеров (следов биотических и абиотических событий), полезных для межрегиональной и глобальной корреляции. В последующем на этой основе можно будет взвешенно подойти к выбору разрезов и интервалов для палеомагнитного опробования в Сибири

- Палинологические доказательства континентального генезиса меловых и палеогеновых отложений Алейской площади (Алтайский край)

Проведен палинологический анализ верхнемеловых–кайнозойских толщ, вскрытых скважинами 23 и 19 Алейской площади (Алтайский край). Полученные данные позволили обосновать возраст отложений, высказать предположения об условиях их формирования, уточнить расчленение разреза на свиты. В меловой части разреза скв. 23 установлены два палинокомплекса: первый характеризует леньковскую свиту и датируется сеноманом–туроном; второй выявлен в верхнесымской подсвите и датируется маастрихтом. На верхнемеловых отложениях залегает палеогеновая островновская свита континентального генезиса. В скв. 19 и 23 эта свита содержит спорово-пыльцевые спектры предположительно позднепалеоценового–раннеэоценового и среднеэоценового возраста соответственно. По палинологическим данным обоснован позднемиоценовый возраст отложений верхней части разреза скв. 23 и их принадлежность к павлодарской свите. Структура палинологических комплексов, особенности мацерата, отсутствие фораминифер указывают на континентальный генезис верхнемеловых–палеогеновых отложений, распространенных в южной части Кулундинской впадины Алтайского края

- Биостратиграфический анализ и реконструкцию условий осадконакопления четвертичных отложений на о. Курунгах в дельте р. Лены

Биостратиграфический анализ и реконструкция условий осадконакопления четвертичных отложений скважины 1, пробуренной на о. Курунгах в дельте р. Лены (Северо-Восток России) показали, возраст изученных отложений: суглинки инт. 10.58—13.54 м формировались в позднем плейстоцене (каргинский интерстадиал); а суглинки инт. 1.58—10.3 м — в раннем-среднем голоцене. Установлено, что в каргинское время на рассматриваемой территории существовал озерный водоем с олиготрофным режимом и невысокими температурами воды; во время формирования отложений (на уровне 11 м) имел место перерыв в осадконакоплении; в раннем и среднем голоцене здесь была распространена растительность кустарничковой тундры

0331-2019-0005 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

В результате проведенных исследований в 2019 г. были получены следующие основные результаты:

- Палеозой

Монографические исследования остракод девона из разрезов Кузбасса позволили установить их наиболее полный таксономический состав. Стратиграфический анализ распределения остракод дал возможность впервые выделить в этом регионе пять биостратонов в ранге слоев с фауной, что позволило уточнить стратиграфическое положение нижней части изылинской свиты.

- Мезозой

Выполнено монографическое изучение фораминифер из нижнего карния побережья моря Лаптевых. Приводится описание трех новых видов спиральных нодозариид. Новые виды являются хорошими индикаторами нижекарнийских отложений.

В результате литолого-фациальных исследований уточнено строение, состав и условия формирования булунканской пачки (рэт) по новым разрезам скважин и естественных выходов в бассейне р.Экит. Установлено, что в формировании булунканской пачки прослеживается регрессивный тренд с выраженным двучленным строением. Обстановки осадконакопления нижней и верхней части пачки отвечают соответственно обстановкам нижней и верхней части предфронтальной зоны пляжа.

Получены новые данные по микропалеонтологической характеристике среднеюрских отложений севера Восточно-Европейской плиты. Выявлен комплекс фораминифер зоны *Trochammina jakovlevae*. Проведенный биостратиграфический анализ позволили обосновать возраст

вещающих отложений нового местонахождения юрских морских рептилий на севере европейской части России.

Выявлен реперный уровень в верхах кимериджа и определены маркеры глобальной корреляции от Тетиса по Арктику по фораминиферам. Микропалеонтологические исследования выборок представителей рода *Pseudolamarckina* из разрезов Европы и Сибири, а также ревизия опубликованных данных по разным видам этого рода, позволили обоснованно отнести их к одному виду (*Pseudolamarckina pseudorjasanensis*). Первое появление этого маркерного вида зафиксировано в разрезах в самых верхах нижнего кимериджа в разных регионах Северного Полушария. На этом же уровне отмечается таксономическая перестройка и обновление комплекса фораминифер. Таким образом, фораминиферная зона *Pseudolamarckina pseudorjasanensis* протягивается от Западной Европы до Арктической Сибири и Канады.

Несмотря на тщательные микропалеонтологические исследования верхнемелового разреза Кулундинской впадины (Алейская площадь), фораминиферы обнаружены не были, что связано с континентальным генезисом отложений. Все это, наряду с литологической характеристикой пород, подтверждает сделанные еще в 1960-х годах выводы предшествующих исследований об озерно-аллювиальном и делювиально-пролювиальном генезисе леньковской свиты, озерном генезисе верхнесымской подсвиты, аллювиальном и озерно-болотном генезисе островновской свиты и полностью опровергает сделанные В.М. Подобиной выводы о морском происхождении меловых и палеогеновых отложений, вскрытых скважинами Алейская 19 и 23.

- Кайнозой

На основе анализа комплекса седиментологических и микропалеонтологических данных получен вывод о времени возникновения современного Аральского моря и ледниково-подпрудных озёр межгорных впадин Горного Алтая и существовавших в них обстановках. Установлено, что современное Аральское море появилось около 17,6 тыс. лет назад. На время начальной фазы развития современного Арала приходится и формирование крупных глубоководных (200 м и более) ледниково-подпрудных озёр межгорных впадин высокогорной юго-восточной части Алтая в конце плейстоцена. Установлено, что значительные изменения уровня и объема воды Аральского моря за последние 2000 лет часто не были связаны с хозяйственной деятельностью.

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

0266-2019-0007 Создание единой математической, алгоритмической и программной структуры, обеспечивающей принятие дискриминирующих технологических решений при проектировании современной измерительной аппаратуры для геофизических, биологических инженерных приложений. Рук. к.ф.-м.н. Е.И. Штанько

- Созданы эффективные вычислительные схемы на базе неконформных многомасштабных конечно-элементных методов для решения трёхмерных задач электромагнетизма, тепло- и массопереноса, упругой деформации твёрдого тела в гетерогенных многомасштабных средах с фазовыми переходами. Реализованы специальные вариационные формулировки и процедуры стабилизации разработанных вычислительных схем с учётом спектральных характеристик операторов прямых задач.
- Проведена валидация эффективных акустических моделей гидрато-содержащих сред, учитывающих морфологию расположения гидрата в поровом пространстве. Разработан новый параллельный алгоритм решения уравнения эйконала для вычисления времен первых вступлений в анизотропных моделях с трансверсально-изотропной симметрией с наклонной осью симметрии (ТТИ).

Полученные результаты могут быть использованы при компьютерном моделировании сопряжённых процессов электромагнетизма, тепло- и массопереноса, упругой деформации твёрдого тела в гетерогенных многомасштабных средах с фазовыми превращениями; при создании современных измерительных приборов на базе бесконтактных акустических и электромагнитных методов.

0331-2019-0006 Структуры и напряженно-деформированное состояние земной коры платформенных и складчатых областей Центральной Азии на основе совместного решения обратных задач сейсмологии и гравиметрии. Руководитель к.г.-м.н. Е.А. Мельник

В сейсмической структуре земной коры Верхоянья выявлены признаки пассивной континентальной окраины Сибирского кратона, подверженной мезозойской складчатости, проявленной в деформированных передовом Приверхоянском и Тыловом прогибах с контрастными латеральными неоднородностями, подтверждающими геодинамические представления Л.М. Парфенова, что является предметом дальнейшего геомеханического моделирования.

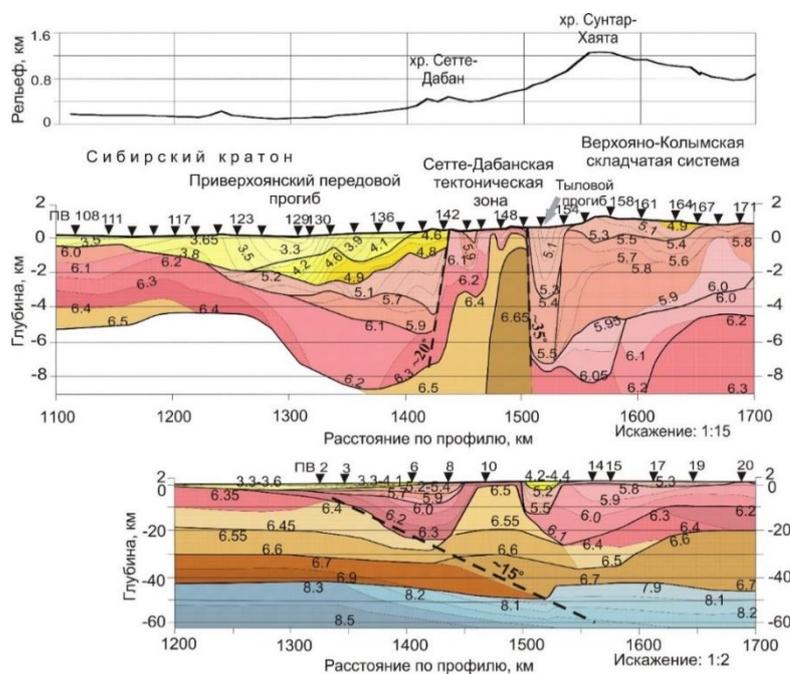


Рисунок – Результат численного моделирования образования зон локализации деформации в условиях надвига

0331-2019-0007 Геоэлектрика в исследованиях геологической среды: технологии, полевой эксперимент и численные модели. Рук. к.г.-м.н. В.В. Оленченко

Главная цель работы заключается в повышении геолого-геофизической информативности электрических и электромагнитных наземных методов геофизических исследований.

В результате исследований установлено, что эффект индукционно-вызванной поляризации сильнее всего проявляется, когда проводящий и поляризуемый слой залегает на слабо проводящем основании; разработано математическое обеспечение для расчёта устанавливаемой ЭДС для расчетов полей от установок, расположенных в море или в скважинах; зафиксирована остаточная тепловая аномалия от промерзающего подозёрного талика, выраженная пониженным электрическим сопротивлением пород; установлен характер надвиговой структуры в разрезе на контакте Западно-Сибирской плиты и Салаира и выявлены рудоперспективные разломные зоны.

В качестве рекомендаций по конкретному использованию результатов НИР предлагается: апробация индукционных установок для определения параметров индукционно-вызванной поляризации горных пород в натуральных условиях; применение метода электротомографии для поисков подземных источников питьевого водоснабжения в условиях криолитозоны севера Якутии; детализация строения выделенных рудоперспективных зон в Алтайском крае и Салаирском кряже.

0331-2019-0008 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

Основные результаты

1. Разработана и внедрена в ООО РН «КрасноярскНИПИнефть» технология выявления и описания мелкомасштабных объектов (трещины, каверны, разломы) по сейсмическим данным.

Компоненты технологии:

- Анализ и интерпретация стандартного сейсмического разреза;
- Расчёт полного куба поля энергии рассеянных волн и азимутальных;
- Расчёт инновационных атрибутов дифракции: полная энергия, азимутальная энергия, энергия структурной дифракции, азимут структурной дифракции, энергия точечной дифракции;
- Анализ и интерпретация значимых атрибутов и атрибутов стандартного разреза.

На разработанное программное обеспечение получено свидетельство о государственной регистрации № 2019613485 «Построение трёхмерных изображений рассеянных волн во временной области на основе Гауссовых пучков».

Технология прошла апробацию на синтетических и полевых данных и подтвердила существенное повышение информативности и разрешающей способности метода сейсморазведки применительно к изучению резервуаров в карбонатном окружении.

2. Разработан и реализован в виде научно-исследовательской версии программного обеспечения прямой решатель для системы линейных уравнений, аппроксимирующих трёхмерное уравнение Гельмгольца в неоднородной среде.

Основные характеристики решателя:

- Использование Perfectly Matched Layers для имитации условий излучения на бесконечности
- Разностная аппроксимация краевой задачи для уравнения Гельмгольца
- 27-точечный оптимизированный шаблон обеспечивает минимальную численную дисперсию в нужном диапазоне значений параметра ‘число точек на длину волны’
- Современные алгоритмы треугольной факторизации матрицы коэффициентов
- Сжатие промежуточных данных позволяет в 5-7 раз сократить потребление оперативной памяти компьютера и одновременно уменьшить число арифметических операций (время исполнения кода)
- Гибридная (OMP+MPI) параллелизация кода.

0331-2019-0009 Динамический анализ сейсмических данных для построения реалистичных моделей геологической среды на основе математического и физического моделирования. Рук. к.ф.-м.н. А.А. Дучков

1. Разработан метод обработки многокомпонентных данных поверхностных волн для построения модели верхней части разреза для скоростей S-волн. Метод основан на использовании высокоразрешающих алгоритмов спектрального анализа и сглаживающую регуляризацию, что позволяет устойчиво решать обратную задачу в автоматическом режиме. Проведено тестирование нового метода на серии синтетических данных и апробация на реальных данных для геологических объектов Горного Алтая.

2. Разработан автоматический алгоритм снятия времен первых вступлений на основе сверточных нейронных сетей. Для обучения достаточно 5000 размеченных трасс. Обученная нейронная сеть была применена для автоматического снятия времен первых вступлений на двух наборах реальных данных сейсморазведочной 3D съемки. Тестирование метода показало, что качество выделения времен вступлений новым методом позволяет получать более устойчивые результаты – их использование позволяет строить модель верхней части разреза для скоростей P-волн.

Эти два результата позволят проводить оценку априорных статических поправок для P- и S-волн, т.е. формирует алгоритмическую базу для корректной обработки данных многоволновой сейсморазведки.

3. Проведено физическое моделирование упругих волн, отраженных от границы воды и сложнопостроенных сред: тонкослоистая модель (изготовлена на 3D-принтере) и штрихованной границы. Результаты для тонкослоистой модели показали, что при относительно малых (примерно до 25°) углах падения азимутальная зависимость коэффициентов отражения не наблюдалась. При больших углах коэффициент отражения растет (от угла падения) по азимутам 0 и 90°, уменьшаются (от угла падения) по азимутам 45 и 135°. Шероховатость границ ведет к уменьшению эффективных коэффициентов отражения на докритических и к их возрастанию на закритических углах падения. Изменение азимута плоскости падения по отношению к направлению шероховатости заметно влияет на коэффициенты отражения только на закритических углах падения.

0331-2019-0010 Сейсмотомографическое моделирование для изучения геодинамических процессов. Чл.-корр. РАН И.Ю. Кулаков. Номер госрегистрации АААА-А19-119102290028-3

Методом локальной сейсмотомографии изучено скоростное строение верхней коры под Авачинским и Корякским вулканами на Камчатке. Высококонтрастные аномалии соотношения V_p/V_s под вулканами маркируют питающие их магматические очаги, существенно отличающиеся по глубине.

На базе данных постоянных сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС было изучено строение верхней коры под Авачинской группой вулканов на Камчатке. Получена модель трехмерных распределений скоростей Р- и S-волн, в которой отчетливо выделяются зоны с аномальными свойствами под активными вулканами. Под Авачинским вулканом ниже глубины 2 км от поверхности наблюдается аномалия с очень высоким значением V_p/V_s , превышающем 2.4, которая ассоциируется с магматическим очагом, непосредственно питающего извержения этого вулкана. Этот очаг связан с конусом вулкана проводящей зоной, которая выражается в повышенных значениях V_p/V_s и активной сейсмичностью. Под Корякским вулканом также наблюдается аномалия с высоким отношением V_p/V_s , которая интерпретируется, как магматический очаг, однако она расположена существенно глубже – 8-10 км под поверхностью. С вулканом эта аномалия связывается вертикально-направленным кластером землетрясений, однако, в отличие от Авачинского вулкана, подводящий канал в сейсмических скоростях почти не выражается. Это, видимо, связано с тем, что Корякский вулкан в настоящее время, в основном, проявляет фумарольную активность, и области, насыщенные газом, как правило, проявляются в виде пониженных значений V_p/V_s . Важно то, что аномалии под Авачинским и Корякским вулканами выглядят четко отделенными друг от друга. Если у них и есть общие магматические источники, то они расположены на гораздо больших глубинах (нижняя кора, мантийный клин).

0331-2019-0011 Реология земной коры юга Сибири и ее окружения (космическая геодезия, гравиметрия и сейсмические методы). Рук. д.ф.-м.н. В.Ю. Тимофеев

Используя современное оборудование и методики измерений (Curtin University, Kensington, Australia) получены результаты, подтверждающие экспериментальные работы, выполнение ранее в нашем Институте. Установлена не учитываемая ранее амплитудная зависимость скоростей продольных и поперечных волн и модуля Юнга в диапазоне нано-метровых смещений частиц среды. С увеличением амплитуды (энергии возбуждения) модуль Юнга уменьшается. Это подтверждается данными, полученными на установках в Университете (Curtin University) в Австралии. При этом открывается возможность изучения деформационных процессов в горных породах на микро-нано уровне. Амплитудная зависимость сейсмических параметров подразумевает участие необратимого процесса деформирования. Дальнейшее продвижение: участие флюидонасыщения пород, затухания волн, совершенствование модели – переход к трехкомпонентной модели, включающей упругость-вязкоупругость-микро-нано пластичность (необратимая деформация).

0331-2019-0012 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

Предложены способы повышения достоверности определения температуры в земной коре сейсмоактивных районов на основе определения геометрических параметров глубоко залегающих тел с использованием данных о пространственном распределении сейсмичности, интерпретации данных об аномальном магнитном поле и лабораторных определений температуры Кюри.

Определена оптимальная конструкция и создан прототип геотермического зонда для измерения *in situ* температуры и теплопроводности рыхлых осадков глубоких водоёмов как в автономном режиме, так и с применением кабель-троса.

Область применения результатов. Полученные результаты позволяют существенно повышают достоверность определения температур в земной коре и в глубоких водоемах, позволяют определять глубину залегания поверхности Кюри и дают возможность получать достоверные решения обратной задачи магнитоупругого эффекта горных пород по тектономагнитным данным.

0331-2019-0013 Проявление процессов глубинной геодинамики в геосферах Земли по результатам мониторинга геомагнитного поля, ионосферы и космических лучей. Рук. д.ф.-м.н. В.Л. Янчуковский

В рамках исследований связи потока мюонов и термобарического режима атмосферы впервые найдены временные вариации температуры атмосферы в зависимости от высоты по данным непрерывного мониторинга космических лучей на уровне моря, изображенные на рисунке. Показана возможность диагностики термобарического режима атмосферы с помощью космических лучей в реальном времени.

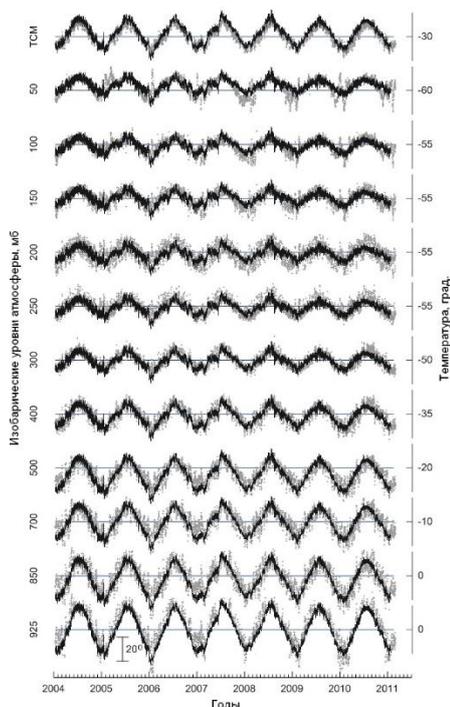


Рисунок – Вариации температуры атмосферы на различных изобарических уровнях: сплошная линия – результат, полученный с помощью космических лучей, точки – данные аэрологического зондирования

0331-2019-0014 Скважинная геофизика в электропроводящих анизотропных диспергирующих средах на основе высокопроизводительных решений трехмерных задач, высокоточных данных каротажа и лабораторных исследований кернa. Чл.-корр. РАН В.Н. Глинских

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение численного моделирования и инверсии данных электромагнитного каротажа в процессе бурения наклонно-горизонтальных скважин. Создан алгоритм и реализована программа трехмерного численного моделирования сигналов азимутального микробокового каротажа в процессе бурения, с использованием которого выполнено научное обоснование конфигурации нового прибора. Для отечественной телеметрической системы разработано высокопроизводительное кроссплатформенное программное обеспечение на основе web-технологий для геонавигации нефтегазовых скважин. С использованием уникальных программных комплексов и разработанных методических приемов выполнена комплексная интерпретация данных ГИС и петрофизических измерений с построением реалистичных геоэлектрических моделей меловых коллекторов Западной Сибири.

0331-2019-0015 Реалистичные теоретические модели и программно-методическое обеспечение геоэлектрики гетерогенных геологических сред. Рук. д.т.н. И. Н. Ельцов

Выполненный комплекс разномасштабных исследований обеспечил получение новых знаний и данных в области электромагнитных полей в сложно-построенных гетерогенных средах.

- Разработаны и реализованы в виде программных комплексов вычислительные схемы модифицированных конформных и неконформных методов конечных элементов для решения трёхмерных задач тепло- и массопереноса в гетерогенных средах с фазовыми превращениями, термоупругой деформации твёрдого тела и электромагнетизма в широком диапазоне частот. На классе задач, приближенных к реальным, показана эффективность разработанных вычислительных

схем и продемонстрирована физическая релевантность полученных результатов. Разработаны и реализованы вычислительные схемы на базе векторного метода конечных элементов, позволяющие аппроксимировать источник электромагнитного поля с учетом его геометрической структуры (намотки).

- В результате выполненных исследований созданы алгоритмы автоматического выделения пластов по показаниям зондов ВИКИЗ и БКЗ, а также по комплексу этих методов. Показана работоспособность предлагаемого подхода.
- Разработано программное средство для прозрачного удаленного доступа к технологическим параметрам бурения и данным скважинной телеметрической системы в условиях нестабильной связи.
- Разработан алгоритм предобработки для улучшения качественной оценки результатов импульсного нейтронного гамма-каротажа.
- Создана система для распределенных расчетов разнородных взаимосвязанных геофизических задач.
- Создана коллекция цифровых моделей нефтегазонасыщенных коллекторов (цифровых пластов) АТЛАС МФМ, которая позволяет создавать сценарии разработки скважин, анализировать влияние информационно значимых параметров на эволюцию прискважинной зоны и показания каротажных приборов, а также выбирать пласты, наиболее соответствующие имеющимся практическим каротажным диаграммам и априорным данным.

0331-2019-0016 Комплексные геолого-геофизические исследования строения дельты р. Лены (на прилегающих территориях к НИС «Остров Самойловский»). Чл.-корр. РАН В.А. Каширцев

- Беспилотная аэрофотосъемка позволила оценить изменения растительного покрова за 3 года и явилась основой для высокоточных геоботанических карт, а также аналитического материала по биоразнообразию и роли растительности в эмиссии парниковых газов.
- Температурный мониторинг в скважинах, вскрывающих разрезы многолетнемерзлых пород, деградирующих в различных геоморфологических условиях, явился основой для получения количественных характеристик температурного режима подветренных участков арктической тундры (склоны аласов, оврагов, берегов), создающих условия для формирования характерных растительных сообществ в дельте р. Лена.
- Детальное геоморфологическое картографирование позволило дифференцировать поверхность первого надпойменного террасовидного геоморфологического уровня на ряд участков, относящихся к различным стадиям деградации криогенного рельефа.
- Метод магнитолеллурического зондирования (МТЗ) открыл новые возможности для восстановления глубинной структуры региона и маркирования подошвы многолетней мерзлоты.
- Палеонтологические исследования в отложениях позднего кайнозоя (неоген) на о. Сардах-Сисе, расположенном в дельте реки Лены, позволили впервые обнаружить отпечатки листовой флоры хорошей сохранности. Впервые установлены ниже-среднефранские конодонты в опорных разрезах ортохаинской свиты верхнего девона Северного Хараулаха в дельте р. Лена.

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

0266-2019-0006 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

- Проанализировано геологическое строение и температурная история баженовской свиты и оценены перспективы ее нефтеносности в юго-восточной части Западно-Сибирской нефтегазонасыщенной провинции. Установлено, что наибольшие запасы нефти в свите сконцентрированы в юго-западных районах Томской области, где уже стоят на государственном балансе несколько залежей. По результатам исследований выделены наиболее перспективные зоны для обнаружения промышленных скоплений нефти в этом уникальном природном объекте.

Рекомендовано провести испытания свиты на приток на Межовской площади, а также провести новые испытания на Ракитинской площади на севере Новосибирской области с целью поиска новых залежей нефти.

- Изучение образцов бурового шлама показало, что метод ЯМР (ядерно-магнитная релаксометрия) чувствителен к изменению их насыщенности, будь то дистиллированная вода или фильтрат бурового раствора. При этом ЯМР-пористость согласуется со значениями влажности, определенной термостатно-весовым методом. Величина комплексной диэлектрической проницаемости чувствительна к изменению насыщенности образцов, как дистиллированной водой, так и нефтью. Изменение значений диэлектрической проницаемости показывает распределение в образце насыщающего раствора. Данные ЯМР-релаксометрии и диэлектрической спектроскопии согласуются между собой и позволяют определить тип флюида в горной породе.

- По результатам бассейнового моделирования на территории Северо-Тунгусской НГО в ходе катагенеза куонамской нефтегазопроизводящей толщи в период с конца ордовика по начало перми сформировалось два очага нефтегазообразования – Туринский и Ламско-Хантайский. В Туринском очаге генерационный потенциал куонамской толщи к началу перми был полностью реализован. Таким образом внедрение траппов в перми и триасе в тело куонамской свиты уже не могло оказать влияние на реализацию ее генерационного потенциала. В Ламско-Хантайском очаге к началу перми достигнут максимум генерации углеводородов (УВ), что повышает вероятность влияния траппов на углеводородный потенциал куонамской свиты на этой территории.

0331-2019-0017 Модели геологического строения, условия формирования и прогноз нефтегазоносности юрско-меловых отложений арктических регионов Сибири. Рук. к.г.-м.н. С.В. Ершов

- Разработаны вещественные, фильтрационно-емкостные, экранирующие модели строения региональных резервуаров юрских отложений Енисей-Хатангской и Гыданской нефтегазоносных областей Арктического сектора России, выявлены условия их формирования, составлен набор карт вещественного состава проницаемых комплексов и осуществлен прогноз толщин коллекторов региональных резервуаров юрских отложений. Уточнены литолого-палеогеографические реконструкции проницаемых комплексов и флюидоупоров региональных резервуаров нефти и газа юрских отложений северных и арктических районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, составлен набор литолого-палеогеографических карт, серия литолого-палеогеографических профилей, выявлены закономерности изменения фильтрационно-емкостных свойств региональных резервуаров нефти и газа юрских отложений в зависимости от глубины их залегания. Построена серия региональных и локальных корреляционных профилей, уточняющих строение верхнеюрского флюидоупора Ямальской НГО, выявлены основные причины вызывающие значительное изменение его толщин.

- Показана стратиграфическая приуроченность залежей углеводородов в берриас-нижнеаптских отложениях разных районов севера Западной Сибири, выявлены закономерности вертикального и латерального распределения залежей нефти и газа. Показано, что на распределение залежей УВ в берриас-нижнеаптских отложениях северных районов Западной Сибири влияют много факторов, в том числе качество флюидоупоров, емкостные характеристики пластов, фациальная принадлежность вмещающих пород, палеогеоморфология бассейна, приближенность продуктивных пластов к нефтегазоматеринским отложениям баженовского горизонта и их генерационный потенциал, структурный фактор, дизъюнктивная тектоника и ряд других.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при определении основных направлений освоения арктических регионов Западно-Сибирской и Хатангско-Вилуйской нефтегазоносных провинций, при выборе наиболее перспективных лицензионных участков недр, а также при планировании геолого-разведочных работ на нефть и газ.

0331-2019-0018 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

На основе научного анализа материалов по региональной геологии и нефтегазоносности на территории Центрально-Тунгусской НГО можно выделить три потенциально перспективных нефтегазоносных района:

- Сюгджерский ПНГР выделяется на востоке НГО. Основные перспективы здесь связываются с терригенными отложениями венда.
- Накановский ПНГР выделяется в центральной части НГО. Основные перспективы здесь связываются с карбонатными отложениями венда и межсолевыми отложениями нижнего и среднего кембрия.
- Таймуринский ПНГР выделяется на западе НГО. Основные перспективы здесь связываются с карбонатными отложениями рифея

0331-2019-0019 Геология, условия формирования и закономерности размещения залежей углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами в Западно-Сибирском мегабассейне. Рук. к.г.-м.н. В.А. Казаненков

- На основе полученных результатов выделены территории для дальнейших поисковых работ: территория, охватывающая низовья р. Палеодемьянка, между Гусеничным и Радонежским месторождениями; площади, расположенные вдоль р. Палеоиртыш, в том числе к югу от Резвовского месторождения на территории Омской области. К перспективным объектам отнесены устьевые части притоков, где их русла впадают в более крупные реки: р. Палеотобол, р. Палеоиртыш и р. Палеоюган. На территории ХМАО высока вероятность открытия залежей в русловых песчаниках верхнего байосса – бата р. Палеосалым.
- На основе комплексного анализа материалов опорного и нефтепоискового бурения, результатов ревизии палеонтологических материалов и современных исследований литологического состава баженовского горизонта в западной части Западной Сибири уточнены границы палеогеографических зон волжского палеобассейна, в пределах которых дана литологическая характеристика строения разрезов и современное содержание Сорг в породах.
- На основе анализа строения разрезов с учетом современных представлений о биостратиграфии верхней юры и нижнего мела по материалам ГИС в разрезах даниловской, мулымьинской и тутлеймской свит выделен интервал баженовского горизонта. Выделены типовые разрезы стратиграфических аналогов баженовской свиты и уточнены границы зон их распространения.
- Проанализированы региональные критерии нефтеносности баженовской свиты. Для каждого критерия построена карта изменения соответствующих значений, на основе совокупного анализа которых выполнено районирование западных районов Западной Сибири по перспективам нефтеносности баженовской свиты и ее стратиграфических аналогов с построением соответствующей карты.
- В типовых скважинах Нижне-Хетской и Рассохинской площадей в разрезе сиговской свиты выделены границы верхней и нижней подсвит, которые в дальнейшем прослежены во всех скважинах, вскрывших сиговскую свиту на территории западной части ЕХРП.
- В составе подсвит в разрезах типовых скважин впервые выделены и проиндексированы в соответствии с принятой по результатам МРСС-90 и МСС-2003 номенклатурой отдельные продуктивные пласты группы СГ. Для выделенных пластов предложены типовые (стратотипические) разрезы.

Практическая значимость полученных результатов обусловлена решением задач по комплексной характеристике осадочных толщ средней и верхней юры с целью оценки перспектив нефтегазоносности и научного обоснования поисковых и разведочных работ на нефть и газ.

0331-2019-0020 Сеймостратиграфия, 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

Учитывая, что в 2019 г. в качестве основного объекта исследований выступали Анабаро-Хатангская и Лено-Анабарская нефтегазоносные области (НГО), расположенные на территориях республики Саха (Якутия) и Красноярского края, на побережье моря Лаптевых, в качестве важнейшего результата 2019 г был выбран следующий:

- Созданы согласованные сейсмогеологические и структурно-тектонические модели неопротерозойско-фанерозойских отложений Анабаро-Хатангской и Лено-Анабарской НГО,

выполнен анализ геологических и геохимических предпосылок нефтегазоносности этого региона, определены основные типы нефтегазоперспективных объектов.

0331-2019-0021 Основные седиментационные и постседиментационные процессы и закономерности их эволюции в протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнах Сибири. Рук. к.-г.м.н. П.А. Ян

- В рамках литологических исследований неопротерозойских и палеозойских отложений Западной Сибири 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 Предьенисейского бассейна. Установлено близко одновременное (520-495 млн лет) формирование пикритовых порфиритов Чкаловской площади и базальтоидов Вездеходной площади.
- В рамках продолжающихся литологических исследований осадочных бассейнов арктических территорий Средней Сибири были уточнены особенности строения, состава и условий формирования терминального триаса, получены первые результаты петрографических и литогеохимических исследований средней - верхней юры нижнего течения реки Анабар.
- В результате проводимых разноплановых исследований вопросов формирования мезозойских нефтегазоносных осадочных комплексов Западной Сибири была уточнена эволюция батского седиментационного бассейна в районе группы Тайлаковских месторождений, выполнена корреляция малышевского горизонта и построены палеогеографические карты на серию временных срезов, с выделением зон осадконакопления потенциальных гранулярных коллекторов разного генезиса. Выявление закономерностей постседиментационного преобразования терригенных пород было выполнено на примере оксфордского резервуара Надым-Тазовского междуречья, в результате которого впервые было выявлено соответствие аутигенно-минералогической и гидрогеохимической латеральной зональности.
- Комплексные литолого-геохимические и геолого-геофизические исследования баженовской свиты позволили уточнить особенности ее строения и состава в разных районах Западной Сибири. Впервые были определены типы карбонатов баженовской свиты разных генераций и оценены температуры их образования: первичные биогенные, диа- и катагенетические. Установлено, что интенсивная постседиментационная карбонатизация происходила на границах пачек разного состава, сделано предположение о существовании геохимических щелочных и редокс барьеров, на которых проходило осаждение карбонатного вещества из растворов на стадии диа- и катагенеза. Рассмотрены закономерности распределения этих барьеров по разрезам баженовской свиты для разных районов Западной Сибири.

0331-2019-0022 Органическая геохимия и история геологического развития доминантных нефтегазовых систем верхнего протерозоя и фанерозоя Сибири. Рук. д.-г.-м.н. А.Н. Фомин

- Для оценки перспектив нефтегазоносности глубокопогруженных толщ проведено геохимическое изучение рассеянного органического вещества верхнепалеозойских отложений сверхглубокой скв. Средневилюйская-27. Обнаружено две принципиально различные группы образцов и переходную зону между ними. Первая выражена на глубинах 3370-4850 м и относится к толщам, которые не полностью исчерпали нефтегазогенерационный потенциал. Она имеет усредненно равномерный состав по трем компонентам с небольшим увеличением смол к нижней границе. Вторая, переходная, характеризуется значительным преобладанием смол - >60%, а углеводороды и асфальтены в среднем не превышают 20%. Третья относится к глубинам 5150-6460 м, на которых толщ являются истощенными, и имеет существенное смещение в сторону компонент углеводородов и смол, с явным сокращением содержания асфальтенов, вплоть до полного их исчезновения на глубине 5500 м.
- Изучение керогена юрских отложений Западной Сибири показало, что нефтепроизводящими комплексами в разрезе юры севера Западно-Сибирской НПП являются глинистые толщ баженовской, частично васюганской, яновстанской, гольчихинской свит, в меньшей степени китербютского, леонтьевского, малышевского и георгиевского горизонтов.
- В настоящее время являются актуальными вопросы геохимической типизации углеводородных флюидов нефтегазоконденсатных систем полуострова Ямал и их генетических связей с нефтегазоматеринскими породами остаются дискуссионными. В связи с тем, что эти вопросы остаются дискуссионными, авторами исследованы пять проб конденсатов из среднеюрских

отложений Малоямальской площади. Для установления генетических связей в ряду «конденсаты» ↔ «органическое вещество нефтематеринских толщ» использованы данные по углеводородному составу битумоидов рассеянного ОВ палеозойских и мезозойских отложений. Особенность изученных конденсатов – повышенные концентрации ароматических УВ >15 % (как на бензиновую фракцию, так и при пересчете на конденсат). Полученные данные свидетельствуют, что их залежи формировались за счет аккумуляции углеводородных компонентов из единого очага нефтегазообразования, нефтегазоматеринские породы в котором обогащены террагенным ОВ и достигли главной зоны нефтеобразования. Сходство геохимических показателей по составу УВ-биомаркеров, идентифицированных в конденсатах и в битумоидах ОВ средней юры, позволяют предположить, что исходным материалом для образования конденсатов было преимущественно террагенное ОВ мальшевской и леонтьевской свит.

- Изучены коллекции высокоуглеродистых и углеродистых пород глинисто-кремнистого состава из обнажений р. Молодо, р. Кюленке на северо-востоке Сибирской платформы и углеродистых и низкоуглеродистых карбонатных пород из обнажения р. Синяя на юго-востоке. Полученные методом ИК-спектроскопии параметры подтвердили высокий нефтяной генерационный потенциал органического вещества куонамского комплекса. Прямые признаки нефтегазоносности на восточном и западном склонах Суханского осадочного бассейна, нефтепроявления на южном его замыкании безусловно свидетельствуют о высоких перспективах этого региона главным образом на поиски нефтяных месторождений. Геохимически обоснованная генетическая связь Восточно-Анабарского и Центрально-Оленекского месторождений природных битумов с хатыспытской свитой венда позволяет оценивать область ее распространения далеко на запад от Оленекского поднятия за осевую часть бассейна.

0331-2019-0023 Численное моделирование современной структуры и процессов формирования эпиконтинентальных осадочных бассейнов. Рук. д.г.-м.н. В.В. Лапковский

В соответствии с научным заданием по проекту выполнялись работы по изучению особенностей развития неустойчивости Релея-Тейлора применительно к соляно-купольным структурам. Для этих структур сформулированы научные основы метода подбора истории их формирования и актуального состояния там, где эти объекты плохо выявляются методами сейсморазведки.

На самом современном уровне исследований в нефтегазовой геологии по бассейновому моделированию с использованием передового в мировой практике программного обеспечения PetroMod выполнен расчет истории формирования залежей УВ для двух месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, которое позволило оценить масштабы генерации, миграции, аккумуляции и потерь УВ при их формировании.

0331-2019-0024 Формирование гидрогеохимических и геотермических условий глубоких горизонтов нефтегазоносных районов Западной Сибири в результате эволюции гидрогеологических систем. Рук. чл.-корр. РАН А.Р. Курчиков

- Проведено бурение восьми колонковых скважин глубиной до 30 метров с отбором керна и анализом состава выхода газовых составляющих. В качестве индикатора локализации интервалов глубин с повышенным содержанием и эмиссией метана предложен параметр «эквивалентный диаметр дегазации», на основе которого определяется местоположение источника метана в вечной мерзлоте. Подтверждена гипотеза криогенного механизма накопления метана в верхней части многолетнемерзлых пород. По данным изотопных исследований метана, полученного в двух колонковых скважинах, установлено, что в одной метан имеет глубинное происхождение, во второй результат относится к пограничной зоне между характерными показателями для метана биогенного и глубинного происхождения. По дополнительным геолого-геохимическим материалам установлено, что в этой скважине в большей степени также имеет место глубинное происхождение метана.

- С использованием разработанного метода квазитрехмерного моделирования построена согласованная гидрогеохимическая модель изменения минерализации подземных вод юрско-меловых отложений центральной части Западно-Сибирского мегабассейна в пределах Колтогорско-Толькинской шовной зоны и прилегающих к ней районов. Результаты представлены в виде серии карт, отражающих закономерности изменения минерализации подземных вод отдельных свит и

подсвет, а также разрезом субширотного и субмеридионального направлений. Построенная трехмерная модель минерализации подземных вод рассматриваемой области подтверждает вывод об отсутствии явной связи гидрогеохимических условий с мощными тектоническими процессами, определившими формирование регионально выдержанной Колтогорско-Толькинской шовной зоны.

0331-2019-0025 Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири. Рук. к.г.-м.н. Д.А. Новиков

Численное моделирование физико-химических равновесий и процессов эвазии-инвазии в системе вода – газ позволило установить степень насыщения подземных вод газами (K_g) и характер диффузионного перераспределения газов на границе сред углеводородная залежь – подземные воды на примере нефтегазоносных отложений арктических районов Западной Сибири. По величине K_g установлены горизонты с водами от низко (менее 0,2) до предельно насыщенных (0,8-1,0) газами. Все воды при величине общей газонасыщенности более 1,8 л/л становятся предельно насыщенными газами ($K_g = 1,0$), т.е. возникают теоретические предпосылки для формирования углеводородных залежей. К зоне развития вод с значениями K_g от 0,8 до 1,0 приурочены основные газоконденсатные залежи, а к менее насыщенным водам – нефтяные. По установленному характеру равновесий, можно утверждать, что имеющиеся в юрско-меловых отложениях залежи нефти и газа выступают в качестве консервативного элемента литосферы, представляя собой «реликты» предшествующих этапов ее геолого-геохимической эволюции. Окружающие подземные воды являются более активной составляющей системы и заметно опережают их в своем геохимическом развитии. Это проявляется в различии соотношений фугитивности индивидуальных газов в подземных водах и залежах. Вследствие этого состав последних претерпевает медленное направленное изменение по пути установления равновесия, отвечающего наступившему качественно новому состоянию геохимической системы вода – газ.

0331-2019-0026 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

- Используя водообмен и состояние физико-химических равновесий как базовые параметры эволюции системы вода–порода, удалось установить, что взаимодействие воды с алюмосиликатами различно при разных водообменах и приводит к формированию разных твердых и растворенных вторичных продуктов, ассоциацию которых мы назвали гидрогенно-минеральным комплексом.
- Детально изучены гуминовые вещества и некоторые параметры РОВ в природных (озерных, речных и подземных) водах Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс). Выяснено, что во всех водах в составе гуминовых веществ преобладают фульвокислоты от 69 до 100%, а гумусовые имеют подчиненное значение. Подземные воды зоны активного водообмена отличаются минимальными значениями всех показателей РОВ (Сорг, ПО, ХПК, БПК₅) и относительно неоднородным составом гуминовых веществ. Речные и озерные воды отличаются более однотипным составом гуминовых веществ и узким интервалом значений показателей РОВ, несмотря на различия в химическом составе и pH. Воды зоны затрудненного водообмена в пределах угольных отложений на глубинах 400-1200 м отличаются наибольшими показателями РОВ и относительно однородным составом ФК к ГК. Какие-либо закономерности изменения РОВ от солености вод, химического состава, pH и глубины не были четко выявлены, что связано с наложением нескольких процессов, в том числе сложными процессами преобразования органического вещества. Исследование особенностей распределения растворенных органических веществ на территории позволило определить фоновые содержания органики, в дальнейшем эти данные будут использованы при изучении формирования химического состава вод.
- Оценена степень метаморфизации и выявлены генетические типы крепких рассолов ЮТЗ (Тунгусский бассейн). По рассчитанным значениям генетических коэффициентов выявлены генетические типы крепких рассолов ЮТЗ: все рассолы подсолевой и соленосной гидрогеологических формаций являются седиментационными, а соленые воды надсолевой гидрогеологической формации – инфильтрационными. При оценке степени метаморфизации рассолов установлено, что наиболее метаморфизованными ($S > 300$) оказались чисто седиментационные рассолы, все инфильтрационные рассолы являются слабо- или неметаморфизованными ($S < 100$).

- Таким образом, в регионе исследованы разнообразные подземные воды, включая крепкие рассолы, которые позволили обосновать наличие разнообразной и непрерывной эволюции в системе вода-порода. Суть эволюции заключается в следующем: постоянное неравновесие подземной воды с такими минералами, установленное нами ранее, обеспечивает непрерывное растворение эндогенных минералов Ca, Mg и Fe по механизму гидролиза, который обеспечивает образование принципиально новых по составу и структуре вторичных минералов. Одновременное растворение одних минералов и образование других приводит к глубокой дифференциации химических элементов в водном растворе и обеспечивает последовательное накопление в нем все более подвижных элементов и образование по законам термодинамики новых более растворимых вторичных минералов. Непрерывное изменение состава воды и вторичных минералов – внутренний процесс эволюции системы вода-порода, который не зависит ни от каких внешних факторов, является необратимым, нелинейным и развивается вдали от равновесия, включая накопление свободной энергии, что делает его весьма устойчивым и похожим на биологическую эволюцию.

0331-2019-0027 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

Разработана методика, обоснованы критерии перспектив нефтегазоносности баженовской свиты. Выполнена количественная оценка начальных геологических ресурсов нефти баженовской свиты и ее аналогов. Сформированы предложения к проекту программы исследований, направленных на уточнение методики оценки ресурсов нефти, создание технологий поиска, разведки, подсчета запасов и разработки залежей нефти в баженовской свите Западной Сибири. Усовершенствована и апробирована на зрелых нефтегазоносных комплексах Западно-Сибирской НГП методика количественной оценки ресурсов углеводородов, сосредоточенных в мелких и мельчайших скоплениях.

0331-2019-0028 Анализ современного состояния и прогноз развития нефтегазового комплекса России на период до 2040 г. Рук. д.э.н. И.В. Филимонова

- Выполнено комплексное исследование современного состояния нефтегазового комплекса России на региональном и корпоративном уровне, особенностью которого является учёт закономерностей трансформации системы недропользования в стране и мирового энергетического рынка. Установлено, что при сохранении существующих принципов налогообложения нефтегазовой отрасли и тенденции ухудшения структуры и качества сырьевой базы углеводородов будет происходить снижение доходов от ресурсов углеводородов и наблюдаться негативный мультипликативный эффект на «несырьевой» сектор.
- Разработан алгоритм прогнозирования производственно-экономических показателей нефтегазового комплекса России. На основе разработанной авторами модели, выполнена оценка величины недополученных федеральным бюджетом доходов по налогу на добычу полезных ископаемых (НДПИ), которая к 2040 г. возрастёт до 2,3 трлн руб. Рост недополученных доходов будет обусловлен главным образом изменением структуры и качества сырьевой базы, а внешние факторы не окажут существенного влияния, поскольку, рост потребления возобновляемых источников энергии в Европе компенсирует падение собственной добычи углеводородов, а в АТР – способствует замещению угля.

Область применения результатов. Результаты исследования могут быть использованы органами государственной власти, подведомственными организациями и нефтегазовыми компаниями для прогнозирования экономических и производственных эффектов от крупных структурных сдвигов в нефтегазовом комплексе России.

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)

0266-2019-0008 Комплексные исследования динамики развития природно-техногенных систем с оценкой ресурсного потенциала и воздействия на окружающую среду. Рук. к.т.н. Н.В. Юркевич

1. Разработаны рекомендации по оценке загрязненности компонентов окружающей среды в районе законсервированного нефтегазового месторождения металлами и нефтепродуктами с учётом высоких концентраций мышьяка (1 класс опасности), железа, марганца, характерных для арктических территорий на основании:

- данных по составу воды, почв, донных осадков нефтезагрязненных участков законсервированного Ростовцевского месторождения;
- результатов анализа фоновых почв, воды и донных осадков в р-не оз. Париснто (Гыданский полуостров).

2. Разработаны рекомендации по повышению точности методов исследования техногенных объектов и комплексированию данных:

- распределение поляризуемости и удельного электрического сопротивления (УЭС) Беловских клинкеров указывает на то, что проводящие в теле зоны связаны с электроно-проводящими частицами (корольки-отходы пирометаллургии), не поддающиеся нейтрализации. Поэтому сочетание вызванной поляризации (ВП) и электротомографии (ЭТ) можно эффективно применить для контроля рекультивации отходов;

- комплексирование методов электротомографии и малоглубинной сейсмотомографии показало удивительную сходимость результатов. На Урском отвале была опробована методика построения слоистой модели по Р-волнам с шагом 1 м. Впервые на техногенном отвале определены скорости продольных волн, оконтурена разломная зона и техногенное тело, что даёт возможность уточнить объемы складированных отходов;

- физическое моделирование позволило определить изменения геоэлектрического разреза во времени и при и при вариациях температуры, что может быть использовано для повышения точности полевых электро-томографических измерений и уточнения потоков кислотного дренажа из веществ с отвалов в грунтовые воды.

3. Выполнено эколого-экономическое районирование территории России с использованием метода кластерного анализа (параметры: Эвклидово расстояние, мера сходства по методу Уорда), особенностью которого является сочетание факторов, разнонаправленного влияния на окружающую среду:

- факторов, отражающих уровень загрязнения окружающей среды (уровень выбросов от стационарных источников и автомобильного транспорта, доля промышленно производства в валовом региональном продукте (ВРП));

- факторов, направленных на минимизацию экологического ущерба (инвестиции и текущие затраты в охрану окружающей среды, уровень газификации и цен на природный газ).

Показано, что основные нефтедобывающие субъекты РФ (ХМАО, ЯНАО, Красноярский край) составляют кластер регионов с повышенной экологической нагрузкой и минимальным уровнем мер государственной и корпоративной поддержки. Определены направления снижения уровня выбросов и загрязняющих веществ.

0331-2019-0029 Полевые химико-аналитические технологии для геологоразведки, геоэкологии и контроля техногенных объектов. Рук. д.т.н. В.М. Грузнов

Экспрессная газовая хроматография:

- созданы физико-химические основы нового динамического метода приготовления поликапиллярных колонок (ПКК) с неполярными неподвижными фазами (НФ) для портативных ГХ;

- предложена оригинальная схема и создано специальное устройство автоматизированного термического ввода пробы ароматических углеводородов с пассивных концентраторов (для геохимической съёмки) в ПКК.

Хромато-масс-спектрометрический анализ:

- создана оригинальная методика подготовки проб и их анализа на разработанной ранее единственной в России мобильной полевой хромато-масс-спектрометрической аппаратуре МХМС «Навал». Применение методики обеспечило впервые определение биотической природы широкого перечня чрезвычайно вредных для здоровья человека органических соединений над техногенными системами Сибири с критическими большими объёмами промышленных отвалов.

Гамма-спектрометрия

- для геофизических методов поиска залежей углеводородов обоснована схема гамма-спектрометра (ГС) для БПЛА по чувствительности, разрешению, быстродействию и минимизации массы для автоматизированной радиометрической гамма-съемки при поиске залежей углеводородов. Схема рассчитана на пространственное разрешение съемки менее 100 м со скоростью полета БПЛА до 10 м/с на высотах 10-20 м.

0331-2019-0030 Разработка новых технологий разновысотной съемки земного магнитного поля с помощью БПЛА и геомагнитная томография. Рук. академик РАН М.И. Эпов

Проведен комплекс натурных испытаний модифицированного макетного образца аэромагнитной системы, применимой для дальнейшего развития технологии низковысотной аэрогеофизической разведки с помощью БПЛА. Результаты испытаний показали, что низковысотная разноуровневая аэромагнитная съемка с использованием разработанного прототипа позволяет выделять аномалии модуля индукции земного магнитного поля амплитудой в десятые доли нанотесла.

Для повышения точности измерения компонент вектора индукции магнитного поля разработан и прошёл комплекс лабораторных испытаний малогабаритный модуль инерциальной навигационной системы. Использование доработанного комплекса аппаратуры позволит оперативно выполнять измерения значений склонения и наклона регионального масштаба индукции магнитного поля в реальных условиях.

Проведены векторные измерения индукции магнитного поля на одном из месторождений с целью выделения магнитных аномалий, возникающих над водонефтяным контактом или в окрестности газовой шапки для картирования залежей нефти и газа. Полученными результатами проверена гипотеза о возможности использования магнитных аномалий как диагностического признака для выделения залежей нефти и газа с помощью методики многоуровневого магнитометрического профилирования.

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

На примере Белоключевского отвала была определена зональность строения техногенного тела: распределение валовых концентраций элементов по вертикали и содержание их подвижных форм (состав поровых растворов и количество водорастворимых соединений). С помощью метода электротомографии выявлена внутренняя геоэлектрическая зональность и построена трехмерная модель. Показано, что изменение геоэлектрических параметров вещества находится в полном соответствии с геохимическим составом разреза. Экспериментально определена возможность отделения разного типа воды от вторичных сульфатов. Показано, что сорбированная и структурная вода способна захватывать определённое количество элементов и переносить их с паровой фазой. На основе результатов натурных экспериментов и последующего физико-химического моделирования определены закономерности нейтрализации и осаждения металлов и мышьяка из высокотоксичных растворов водоёмов на Бериккульских кеках цианирования.

На основе натурных экспериментов и физико-химического моделирования реакций нейтрализации и осаждения элементов был описан механизм взаимодействия высокотоксичных кислых сульфатных растворов (рН – 2.1, As 1.3 г/л) с реагентами, имитирующими осадительный Ca(OH)₂, восстановительный Na₂S и нейтрализационный NaOH барьеры. По эффективности, с помощью Ca(OH)₂ снижение кислотности шло медленнее, чем с другими барьерами, но образовалось наибольшее количество взвеси (100 г) вследствие осаждения гипса и карбонатов. NaOH и Na₂S эффективно нейтрализовывали кислоту, формирование взвеси As-содержащих минералов началось на первых стадиях, в кислой среде, но в конце эксперимента содержание натрия в растворах существенно превышало ПДК. Во всех экспериментах диапазон значений рН, в котором достигались минимальные концентрации мышьяка и металлов, был довольно узким: в щелочной среде происходила десорбция элементов обратно в раствор. Полученные результаты позволяют рекомендовать комбинированную схему нейтрализации растворов. На первых шагах следует применять NaOH в сочетании с Na₂S, а затем, начиная с соотношения раствор/реагент = 100, заменить их на Ca(OH)₂.