

ИНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ НЕФТИ И ГАЗА РАН – 25 ЛЕТ
Сообщение 1

А.Н. Дмитриевский
ИПНГ РАН, e-mail: a.dmitrievsky@ipng.ru

В статьях «История одного эксперимента» и «Шанс, который нельзя упустить»**, опубликованных в 1997 г., подробно рассматривались причины образования в 1987 г. ИПНГ – института двойного подчинения: АН СССР и Минобразования. Впервые в стране на базе вуза был основан академический институт: кафедры и лаборатории Московского института нефти и газа им. И.М. Губкина дали жизнь Институту проблем нефти и газа. Основателями Института являлись: проф. В.Н. Виноградов, в 1987 г. ректор МИНГ им. И.М.Губкина (первый директор Института), Н.К. Байбаков, д.т.н., заместитель председателя Совета Министров СССР, председатель Госплана, академик А.Л. Янин, члены-корреспонденты А.А. Геодекан и А.Н. Дмитриевский, профессор МИНГ К.С. Басниев. Сегодня ИПНГ празднует юбилей – ему исполнилось двадцать пять лет.*

Двадцать пять лет назад мы начали своеобразный эксперимент. Его целью было создание принципиально нового научного учреждения, сочетающего в себе преимущества вузовской и академической науки.

Подвигла нас на этот необычный, особенно для того времени, шаг ситуация, которая складывалась в нефтяной и газовой промышленности. В те годы стало ясно, что традиционные технологии (в основе которых лежат закономерности, открытые еще в позапрошлом и начале прошлого века) исчерпали свой ресурс. Тем более что процесс добычи углеводородного сырья значительно усложнился, основными объектами стали глубокозалегающие месторождения, трудноизвлекаемые ресурсы нефти и газа, характеризующиеся сложными горно-геологическими и природно-климатическими условиями, и все более актуальной становилась проблема освоения нефтегазовых ресурсов. Для того, чтобы важнейшая для страны топливно-энергетическая отрасль, в первую очередь ее нефтегазовый комплекс, не снижали темпы развития, необходимо было в кратчайшие сроки приступить к созданию принципиально новых технологий поиска, разведки и разработки месторождений, транспорта и переработки нефти и газа. При этом вновь создаваемые тех-

* Дмитриевский А.Н. История одного эксперимента // Поиск. 1997. № 48. 22–28 нояб. С. 11.

** Дмитриевский А.Н. Шанс, который нельзя упустить // Поиск. 1997. Ноябрь. Спецвыпуск. С. 1–2.

нологии должны были отвечать жестким требованиям экологической чистоты, энерго- и ресурсосбережения.

В стране существовало достаточное количество прикладных институтов нефтегазового профиля, но было очевидно, что преодолеть технологический кризис без опоры на фундаментальные исследования не удастся. Поэтому создание института, специально ориентированного на развитие таких исследований, оказалось весьма своевременным.

Перед коллективом ИПНГ тогда была поставлена задача разработать фундаментальный базис новых технологий поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа. Необходимо было найти новые возможности для расширения сырьевой базы, повышения эффективности поисково-разведочных работ и освоения нефтегазовых ресурсов.

Новый Институт формировался в основном за счет талантливой молодежи, прошедшей подготовку в научных школах Губкинского института (ныне Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина). Постоянная творческая связь с кафедрами и лабораториями ГАНГ определила быстрое становление и развитие Института. Сегодня в ИПНГ открыты филиалы ряда кафедр вуза. Научные сотрудники Института ведут педагогическую работу в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, а профессора и преподаватели вуза (особенно активно в первые годы становления) работали по совместительству в академическом институте. Студенты, стажеры и аспиранты часть своих исследований выполняют в лабораториях Института проблем нефти и газа.

Тем не менее взаимодействия в таких традиционных для науки и образования формах было недостаточно. Поэтому в первые же годы был создан совместный научно-учебный центр «Пористые среды». В его задачу входит изучение закономерностей физико-химических процессов переноса в насыщенных горных породах, а также решение на этой основе проблемы увеличения нефте- и газоотдачи пластов. В центре работают ведущие специалисты Института в области механики жидкости, физики фазовых переходов и прикладной математики. К исследованиям в рамках учебного процесса привлекаются и студенты, они участвуют почти во всех проводимых там научных экспериментах. Центр оснащен современным экспериментальным оборудованием, активно сотрудничает с университетами Европы и США. Вскоре был организован учебно-научный центр «Физика нефтяного пласта».

Совместно с МГУ, академическими и отраслевыми институтами ИПНГ создает многопрофильные временные творческие коллективы. Взаимное творческое обогащение

участников таких коллективов, представляющих различные научные школы, значительно повышает результативность исследований.

Тесная связь академического института и университета позволили объединить в деятельности Института академические традиции развития фундаментальных наук и динамизм высшей школы, базирующейся на постоянном притоке молодых творческих сил. И в настоящее время, когда Институт находится только в ведении РАН, в нем работает кафедра моделирования месторождений углеводородов РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

В непростых условиях Институт оказался жизнеспособным, в том числе и благодаря тому, что он участвует в решении конкретных задач промышленности. Сотрудничество с газовой и нефтяной отраслями позволяет придать четкую ориентацию тематике научных исследований и подготовке кадров, способствует развитию новых направлений фундаментальной науки.

Успехи в развитии геологии и геофизики, прогресс в технологии глубокого бурения открыли новые перспективы разработки месторождений жидких и газообразных углеводородов, залегающих на больших глубинах, в сложных горно-геологических условиях.

Работы ИПНГ в этом направлении сосредоточены на решении таких актуальных проблем, как исследование особенностей фильтрации многокомпонентных многофазных углеводородных систем в околокритическом состоянии, в условиях высоких давлений и температур; развитие теории движения взаиморастворимых жидкостей и контроля внутрипластовых потоков с использованием индикаторов; создание научных основ «скважино-трещинных» систем разработки нефтяных месторождений.

С 1997 г. ученые Института уделяют большое внимание экологическим проблемам. Разработаны эффективные методы прогнозирования развития динамически активных зон, что позволяет оптимально размещать объекты нефтяной и газовой промышленности. Даны рекомендации по организации горно-экологического мониторинга этих объектов.

ИПНГ являлся инициатором разработки важнейших федеральных и президентских программ. Среди них программы: «Мобильный комплекс для нефтяной и газовой промышленности», «Освоение нефтегазовых ресурсов арктического шельфа», проект программы «Нефть и газ России», предусматривающие объединение усилий ученых РАН, специалистов оборонных институтов и предприятий для решения проблем развития нефтегазового комплекса.

Для внедрения современных компьютерных технологий в практику проектирования разработки месторождений с целью увеличения степени извлечения углеводородов из недр в Институте было создано специальное структурное подразделение – Центр компьютерных технологий в нефтяной и газовой промышленности. Программно-вычислительные средства Центру предоставлял НГК «ОНИКС». Институт имеет лицензию Госгортехнадзора РФ на осуществление деятельности по проектированию разработки нефтяных, газовых, газоконденсатных месторождений и подземных хранилищ газа. Институтом совместно с НТО нефтяной и газовой промышленности и РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина создан Центр независимой экологической экспертизы объектов нефтяной и газовой промышленности. Центр имеет лицензии на виды деятельности, связанные с оценкой экологической безопасности промышленных производств и объектов нефтегазового комплекса и их воздействия на окружающую среду на территории РФ.

Сотрудники Института являются участниками государственных экспертиз наиболее крупных проектов развития нефтяной и газовой промышленности, представленных в правительство в последние годы, в том числе проектов, предусматривающих разработку нефтяных и газовых месторождений на условиях раздела продукции.

И сегодня миссия ИПНГ РАН остается той же – создание фундаментального базиса новых инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. Одновременно за прошедший период времени появились новые научные направления и проведены инновационные изыскания в рамках исследуемых проблем.

Основными задачами Института в современный период являются комплексные фундаментальные и прикладные исследования по основным проблемам нефтегазовой науки, направленные на создание новых высокоэффективных, экологически чистых, энерго- и ресурсосберегающих технологий нефтяной и газовой промышленности; содействие интеграции академической науки и высшего образования; координация научных исследований институтов РАН по нефтегазовой тематике; участие в экспертизе крупных нефтегазовых проектов и документов исполнительной и законодательной власти России по проблемам нефтегазового комплекса.

С 1987 г. в Институте развиваются следующие основные направления научных исследований:

- нефтегазовая геология, геофизика, гидрогеология и геохимия;

- гидротермодинамика углеводородных систем; физико-химия и гидромеханика углеводородонасыщенных пористых сред;

- теория, методы и технологии извлечения углеводородов из недр;
- экология нефтегазовых природно-техногенных систем.

Фундаментальные исследования Института охватывают широкий круг проблем, определенных в качестве приоритетных направлений исследований в области наук о Земле:

- геодинамика, взаимодействие геосферных оболочек;
- напряженное состояние земных недр, катастрофические процессы;
- флюидодинамика в земной коре и мантии Земли;
- проблемы генезиса нефти и газа;
- нефтегазоносность осадочных бассейнов;
- природные резервуары нефти и газа;
- экологические проблемы нефтяной и газовой промышленности;
- проблемы устойчивого развития энергетического комплекса России.

Проводится исследование физико-химических характеристик углеводородных флюидов в процессах формирования залежей и при их освоении. Работа ведется по следующим направлениям:

- Фазовые превращения углеводородных флюидов в процессах формирования залежей и при их разработке.
- Влияние электромагнитных полей на структуру и свойства углеводородных жидкостей, направленное изменение физико-химических свойств.
- Внутривороневые взаимодействия флюид-порода в различных геолого-физических условиях, создание эффективных технологий разработки залежей.
- Кинетические и структурные свойства углеводородных флюидов, фазовые превращения углеводородов (силы взаимодействия флюидов с породами определяют эффективность разработки залежей, конечную нефтеотдачу).

Исследуются особенности нефтегазообразования и нефтегазонакопления на больших глубинах, геофлюидодинамика, газогидрохимический режим формирования месторождений нефти и газа в пределах нефтегазоносных осадочных бассейнов.

Проводится математическое и экспериментальное моделирование геохимического равновесия системы «вода-порода» под действием природных и техногенных факторов.

Разрабатываются теоретические основы и методические приемы экспериментального изучения физически связанных вод в процессах массопереноса органических и минеральных веществ из тонкодисперсных в грубозернистые осадочные породы, механизмы продвижения водорастворенного газа при давлении ниже давления насыщения на эксплуатирующихся газовых месторождениях, научные основы захоронения жидких производственных отходов в глубокие водоносные горизонты.

Научные исследования Института направлены на создание фундаментального базиса новых технологий, включенных в перечень критических технологий федерального уровня:

- изучения недр, прогнозирования, поиска, разведки запасов горючих полезных ископаемых;
- воздействия на нефтегазовые пласты;
- освоения углеводородов континентального шельфа;
- углубленной переработки нефти, газа и конденсата;
- мониторинга природно-техногенной сферы;
- прогнозирования экосистемных, горно-геологических и ресурсных изменений.

Исследования выполняются в 18 научных подразделениях Института.

Среди лабораторий, которые работают более десятка лет, следующие:

– Лаборатория разномасштабных геодинамических, термогидродинамических и физико-химических процессов в геологических средах (зав. лабораторией – д.ф.-м.н. Володин И.А.). Специализация лаборатории расширилась за счет исследования проблем нелинейной геофизики.

– Лаборатория анализа осадочных бассейнов (зав. лабораторией – д.г.-м.н. Ульмасвай Ф.С.). Специализация лаборатории изменилась за счет появления принципиально новых научных направлений разработки индикационной базы и выявления в многомерном пространстве информативного поля признаков нефтегазоносных участков осадочных бассейнов и высокопродуктивных участков месторождений.

– Лаборатория генезиса углеводородных флюидов и месторождений (зав. лабораторией – д.г.-м.н. Валяев Б.М.). Специализация лаборатории расширилась за счет новых исследований изотопно-геохимической специфики нефтей и восстановленных флюидных систем.

– Лаборатория нефтегазовой гидрогеологии (зав. лабораторией – д.г.-м.н. Абукова Л.А.). Специализация лаборатории не изменилась, широко проводятся инновационные исследования.

– Лаборатория фазовых переходов и критических явлений (зав. лабораторией – к.ф.-м.н. Городецкий Е.Е.). За время работы специализация лаборатории расширилась, появились новые научные направления, связанные с исследованиями гидратов и устойчивости высоковязких нефтей по отношению к выпадению тяжелой фракции.

– Лаборатория аэрокосмических методов (зав. лабораторией – к.т.н. Корниенко С.Г.). Специализация лаборатории изменилась в плане совершенствования методов оценки добываемой продукции по компонентному содержанию УВ-смесей, методов изучения геодинамических процессов с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Произошло расширение и обновление тематики, касающейся проблем изучения взаимодействия природных и технических систем (многолетнемерзлых грунтов и нефте- и газопроводов), разработки современных дистанционных методов мониторинга проявлений опасных геокриологических процессов в зоне влияния НГК.

– Лаборатория экологических проблем нефтегазового комплекса (зав. лабораторией – к.г.-м.н. Никонов А.И.). До 2001 г. специализация лаборатории – разработка общей единой концепции ОВОС для территорий объектов НГК РФ. С 2001 г. вследствие изменения экономических условий в РФ (капитализации) – разработка практических рекомендаций по изменению нормативной базы оценки экологического состояния территорий на основе ландшафтного подхода, оценка воздействия эндогенных процессов (связанных с разработкой месторождений УВ) на экологическое состояние ландшафта для минимизации негативных изменений окружающей среды.

– Лаборатория газонефтеконденсатоотдачи пластов (зав. лабораторией – д.т.н. Закиров Э.С.). Специализация лаборатории осталась прежней: разработка технологий увеличения нефтегазоконденсатоотдачи пластов. Широко проводятся инновационные исследования.

– Лаборатория проблем освоения нетрадиционных ресурсов углеводородного сырья, в 1997 г. – лаборатория геохимии и энергетики месторождений нефти и газа (зав. лабораторией – к.г.-м.н. Скибицкая Н.А.). Специализация лаборатории сохраняется: ВМС – технологии его добычи, использования и переработки.

– Лаборатория физико-химии углеводородных флюидов в пористых средах (зав. лабораторией – к.ф.-м.н. Баталин О.Ю.). Специализация лаборатории в плане разработки способов повышения продуктивности скважин не изменилась. За счет использования результатов предыдущих работ в последние годы проводятся новейшие исследования деструкции органического вещества с целью получения полезных продуктов.

– Лаборатория биотехнологий и компьютерного моделирования в нефтяной промышленности (зав. лабораторией – к.т.н. Каушанский Д.А.). Проводятся многолетние обширные опытно-производственные работы по внедрению биотехнологий, а также инновационные исследования.

– Лаборатория теоретических основ разработки нефтяных месторождений (зав. лабораторией – д.т.н. Еремин Н.А.). Специализация лаборатории расширилась. На основе теоретических изысканий, проведенных в предыдущие годы, разработаны прогрессивные технологии для увеличения нефтеотдачи пластов, созданы «умные» промышленные и нефтегазовые комплексы на основе инновационных технологий второго поколения.

Актуальнейшие исследования проблем нефтегазового комплекса также проводят:

– Лаборатория стратегии развития ресурсной базы нефтегазового комплекса (зав. лабораторией – к.г.-м.н. Хитров А.М.).

– Лаборатория нефтегазовой механики (зав. лабораторией – д.т.н. Свалов А.М.).

– Лаборатория комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа (зав. лабораторией – чл.-корр. РАН, д.т.н. Богоявленский В.И.).

– Центр по проблемам освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа (зав. лабораторией – д.т.н. Кульпин Л.Г.).

– Центр социально-экономических и правовых проблем освоения нефтегазовых ресурсов.

– Центр энергетической политики и безопасности.

Для выполнения научно-исследовательских работ по освоению нефтегазовых ресурсов Арктики и Субарктики в Институте создан Научно-технический центр «Морские арктические газонефтяные инновационные технологии» (руководитель – чл.-корр. РАН, д.т.н. Богоявленский В.И.). В данный НТЦ вошли 3 структурных подразделения Института: лаборатория аэрокосмических методов, Центр по проблемам освоения нефтегазовых

ресурсов континентального шельфа и лаборатория комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа.

По состоянию на 2013 г. в структуре Института имеются совместные с РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина учебно-научный комплекс, филиалы кафедр. В Институте работают аспирантура и докторантура, создан Совет по присуждению ученых степеней. Число докторов наук в ИПНГ 24 человека, в том числе 1 академик и 1 член-корреспондент РАН, кандидатов наук – 62.

Численность персонала Института достаточно стабильна. Последние десять лет она изменялась в пределах 170–200 человек, научный персонал сейчас составляет 115 человек.

I. Результаты в области нефтегазовой геологии, геофизики, гидрогеологии и геохимии

На основе разработанной учеными Института автоволновой концепции динамики Земли установлены новые закономерности формирования и размещения месторождений нефти и газа. В связи с этим изучаются проблемы:

- нелинейной динамики геологической среды;
- энергоструктуры Земли и квантовой геодинамики;
- геофлюидодинамики;
- системного движения материи;
- физико-математического моделирования сейсмо-эмиссионных процессов;
- дегазации Земли и генезиса углеводородных флюидов и месторождений;
- пространственно-временных неравномерностей глубинной дегазации как проявления нелинейного характера эндогенных процессов развития Земли;
- физических полей в гидрогеологии: обоснования энергетических источников первичной миграции посредством связанных вод; развития представлений о поведении подземных вод в зоне интегрированного воздействия на них полей гравитационной, электромагнитной и акустической природы.

Разработана методика определения геодинамического состояния недр, объясняющая механизм самоорганизации геолого-геофизического пространства.

Выявлены принципы системной организации полей напряжений в литосфере.

Разработана концепция гравитационного тектогенеза в нефтегазоносных осадочных бассейнах. Обнаружена приуроченность месторождений нефти и газа к зонам локаль-

ного геодинамического растяжения. Такие зоны обладают характерными геологическими и морфоструктурными особенностями, что позволило создать технологию их диагностики. Применение последней позволило обосновать большую площадь газоносности Ковыктинского месторождения, что было подтверждено впоследствии результатами бурения.

Установлено, что многие из открытых к настоящему времени месторождений нефти и газа располагаются в пределах локальных геодинамических зон растяжения, а размеры резервуаров, вмещающих скопления углеводородов, пропорциональны степени выраженности геодинамического растяжения. Проверка приуроченности месторождений нефти и газа к зонам локального геодинамического растяжения и отсутствия их в зонах локального геодинамического сжатия, проведенная на материалах Русской плиты, Западной Сибири и Сахалина, показала доминирующий характер обнаруженного явления. Она реально позволяет эффективно использовать относительно слабо информативные геологические признаки для прогноза скоплений углеводородов и строения природных резервуаров.

В результате анализа сейсмических волновых полей в комплексе с данными гравиметрической, петрофизическими и геохимическими исследованиями керна показано, что палеозойские отложения Каспийского региона к югу от Прикаспийской впадины, включая Кряж Карпинского и ряд сопредельных территорий Юга России, Украины и Западного Казахстана имеют высокие перспективы нефтегазоносности. При этом породы палеозойского комплекса могут не только содержать залежи углеводородов, но на отдельных площадях продолжают генерировать как минимум метановый газ. Особенно перспективной является выявленная новая зона развития солянокупольной тектоники, расположенная в 100–180 км южнее границы Прикаспийской впадины в центральной части Каспийского моря. Выполнены структурно-тектонические построения по кровле палеозойских отложений региона и выделены нефтегазоперспективные зоны.

Составлена схема распространения нефтегазоносных и потенциально нефтегазоносных бассейнов Циркумарктического региона (Восточное и Западное полушария) и показано литолого-стратиграфическое распределение основных нефтегазоматеринских толщ, резервуаров и залежей углеводородов.

На основе анализа структурно-тектонических, петрофизических и геохимических характеристик палеозойского и мезозойского комплекса отложений суши и моря Западной Арктики выявлены нефтегазоперспективные зоны и сделан прогноз фазового состава

флюида. Для ряда месторождений Южно-Карского региона доказана большая роль АВПД для сохранения промышленных резервуаров в породах юрского и доюрского комплексов, что значительно увеличивает ресурсы углеводородов всего региона.

В результате проведенного трехмерного моделирования термобарических условий в осадочных комплексах суши и моря Западной Арктики выявлен ряд региональных и локальных особенностей, имеющих большое значение для поиска новых крупных залежей нефти и газа в резервуарах нижнего уровня седиментосферы. Для Мурманского газового месторождения дано обоснование целесообразности поиска новых залежей углеводородов в отложениях верхнего палеозоя.

Проведены исследования по прогнозированию залежей и контролю изменений положения залежей в процессе разработки на основе учета неупругих свойств среды:

- многочисленными экспериментами доказана аномально высокая неупругость среды, содержащей углеводороды;
- разработаны способы изучения параметров неупругости по данным наземной и скважинной сейсморазведки и волнового акустического каротажа;
- разработана технология прогноза залежей углеводородов по комплексу наземных и скважинных данных на основе эффекта неупругости среды. Технология сертифицирована и рекомендована к использованию ЦКР Минэнерго России;
- разработаны способы изучения трещиноватых коллекторов по продольным и поперечным волнам методами скважинной сейсморазведки и широкополосного акустического каротажа. Программные комплексы внедрены в крупнейшие геофизические компании России.

Комплекс историко-геологических реконструкций Сибирской платформы позволил установить существование систем локальных геодинамических зон сжатия и растяжения мезозойского и палеозойского возраста, маркируемых участками распространения линейных складок. Они распространены на юге платформы и на западе ее вплоть до южной границы траппового плато.

Разработаны алгоритм и программа моделирования процесса распространения упругих колебаний в сложнопостроенных средах нефтегазовых месторождений. Выполнены модельные эксперименты для различных геологических условий и систем наблюдений. Выявлено качественное совпадение волновой картины с реальными данными. Количест-

венные оценки различных параметров указывают на возможность выделения залежи углеводородов по волновому полю.

Пересмотрена природа изотопно легкого (ИЛ) метана, доля которого в ресурсах природного газа превышает 20%, и предложены механизмы образования ИЛ метана, обусловленные глубинными процессами генерации углеводородных флюидов.

Выявлена связь месторождений нефти, газа и конденсата с локализованными потоками углеводородов, контролируемые «трубами дегазации», в свою очередь часто ассоциированными с кольцевыми структурами.

Предложена новая концепция нефтегазогенерации и формирования высокомолекулярного сырья (твердые парафины, асфальтены, смолы, масла и связанные с ними металлосодержащие соединения) в геологическом времени в процессе самоорганизации и фазовых преобразований органической основы природных породообразующих минерально-органических полимерных систем.

Выявлены геологические и геохимические признаки месторождений нефти и газа в осадочных бассейнах и методы их диагностики.

Исследованы теоретические основы прогноза зон нефтегазоаккумуляции в доюрском комплексе пород. В результате анализа фактического материала, исходя из органической теории происхождения нефти, разработаны модели скоплений УВ в фундаменте Западно-Сибирского осадочного бассейна и возможные механизмы их формирования. Основываясь на созданных моделях, установлено, что наиболее благоприятными условиями нефтегазоаккумуляции характеризуются погруженные эрозионно-тектонические выступы фундамента с гранитоидами в ядре, разбитые разломами на блоки и облекаемые осадочными породами, играющими роль флюидоупоров и нефтематеринских толщ. Установлено, что пустотность ловушек связана с трещинно-кавернозными породами. Обоснован механизм формирования пустотности. Предложены новейшие инновационные технологии картирования пустотности в породах фундамента. На детально изученных зарубежных месторождениях УВ в фундаменте осадочных бассейнов этаж нефтеносности измеряется величиной от 300–500 до 1500–2000 м. Поскольку, в Западной Сибири исследована лишь самая верхняя часть фундамента (кора выветривания), то потенциал нефтегазоносности пород доюрского комплекса в центральной и западной части ХМАО на реально достижимых в настоящее время глубинах может быть соизмерим с потенциалом юрско-меловых отложе-

ний. Разработаны критерии оценки перспектив нефтегазоносности пород фундамента, обоснованы первоочередные направления поисково-разведочных работ.

Другим аспектом роли изверженных пород в образовании скоплений углеводородов является установление роли траппов в качестве регионального флюидоупора для скоплений углеводородов в осадочной толще центральной части Русской плиты (Волго-Уральская антеклиз, Северный и Южный Татарские своды, склоны Воронежской антеклизы и т.д.). Детальное изучение разрезов скважин указанных территорий позволило установить положение кровли докембрийского фундамента на 0,5–1 км ниже принятого. Ныне принятое положение кровли фундамента во многих случаях совпадает с кровлей трапповых покровов среднедевонского возраста. Интервал разреза между траппами и архейским фундаментом заполнен осадочными породами верхнего протерозоя – нижнего палеозоя, в которых известны как нефтематеринские породы, так и породы-коллекторы.

Проводится изучение генезиса месторождений нефти и газа в аспекте их связи с углеводородной ветвью глубинной дегазации Земли. Мониторинг атмосферы дал достаточно надежные и точные оценки (110^{15} г/год по углероду) современного и позднечетвертичного (последние 450 тыс. лет) потока метана в атмосферу и примерный вклад (20–50%, возможно, и выше) глубинных углеводородов в этот поток. За последнее десятилетие новые результаты были достигнуты, прежде всего, при изучении геологии и нефтегазоносности дна Мирового океана. Обобщение полученных геологических, геофизических и изотопно-геохимических данных позволило получить ряд новых важных выводов:

- выявлены грандиозные масштабы разгрузок углеводородов (прежде всего, через каналы грязевых вулканов) через дно океанов, а также фиксации метана в газогидратах – 210^{16} м³ за короткий отрезок геологического времени (10^5 – 10^6 лет) в самых неблагоприятных (для масштабной генерации углеводородов из органического вещества осадочных пород) приповерхностных областях;
- установлено крайне неравномерное распространение современных и палеоразгрузок углеводородов в пределах не только шельфов и континентальных склонов, но и на континентальных подножиях и в глубоководных желобах (до 5000–6000 м);
- ареалы грязевулканической деятельности и гидратонакопления обнаружены и в пределах участков с корой океанического типа при малой толщине осадков, что свидетельствует о роли эндогенных факторов в генерации углеводородов;

- специфические черты проявления, а также пространственные и временные неравномерности грязевулканической деятельности и процессов гидратонакопления обусловлены вторжением глубинных углеводородных флюидов, локализованные потоки и перетоки которых контролируются дизъюнктивными структурами, включая мантийные и осадочные диапиры;

- в качестве одного из механизмов генерации глубинных углеводородных флюидов рассмотрены процессы мантийной (40–50 км) серпентинизации ультрабазитов. В процессе подъема и разрушения офиолитовых диапиров углеводородные флюиды претерпевают трансформации своего состава;

- выполнен анализ обстановок глобального распространения нетрадиционных (неконвенциональных) ресурсов углеводородов (газогидратов, тяжелых нефтей и битумов, водорастворенного метана, сланцевых нефтей и газов, газов плотных – tight – пород и угленосных толщ). Обстановка и механизмы улавливания (утилизации) дифференцированных и трансформированных разгрузок углеводородных флюидов на разных уровнях их вторжения (при образовании ресурсов неконвенциональных нефтей и газов в недрах нефтегазоносных регионов) многообразны и принципиально отличаются от классических форм аккумуляции углеводородов в ловушках при образовании традиционных нефтегазовых месторождений. Широкое разнообразие типов скоплений традиционных и неконвенциональных ресурсов при единстве источников углеводородов отражает своего рода полигенез на уровне образования (формирования) скоплений в дополнение к полигенезу (А.Н. Дмитриевский, 2003 г., 2008 г.) на уровне генезиса нефти и газа. Перспективы разбуренных и слабоизученных нефтегазоносных регионов с учетом выявленного многообразия скоплений углеводородов значительно возрастают;

- установлено, что нетрадиционные ресурсы углеводородов характеризуются рядом специфических особенностей формирования их скоплений по сравнению с обычными нефтегазовыми месторождениями. Эта специфичность проявляется на всех этапах онтогенеза процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Новые данные по изотопно-геохимической специфике и геохимической специализации нефтей и восстановленных флюидных систем свидетельствуют об их генетической общности. Эти данные относятся к геохимии редкоземельных и радиоактивных элементов нефтей и битумов, платинометальности нефтей. Региональные особенности нефтеносности связаны со спецификой эволюции (трансформации) восстановленных флюидных систем и контролируются геодина-

мическими (флюидно-магматическими) режимами бассейнов. Обоснована новая концепция (парадигма) процессов нефтегазонакопления ВИТУР вместо прежней – ГМАК. Традиционные представления онтогенеза аппроксимируются формулой ГМАК – генерация (за счет органического вещества в осадочном чехле), миграция, аккумуляция, консервация. С учетом нетрадиционных ресурсов обоснована новая формула онтогенеза процессов нефтегазонакопления – ВИТУР (вторжение, импрегнация, трансформация, утилизация, рассеяние глубинных углеводородных флюидов). Новая концепция базируется на материалах не только по традиционным, но и нетрадиционным скоплениям углеводородов и их ресурсов (неконвенциональных). Глубинные углеводородные системы были источниками формирования и скоплений сланцевых нефти и газа, и обогащения газами, нефтью и битумами так называемых нефтематеринских комплексов пород. Ключевыми элементами в контроле процессов нефтегазонакопления по парадигме ВИТУР становятся каналы вторжения, импрегнации и перетоков глубинных углеводородных флюидов, обстановки их трансформации и утилизации – улавливания в виде скоплений, гигантские масштабы рассеяния. Задействованы рециклинг корового осадочного материала в верхнюю мантию с последующей мобилизацией и вовлечением органического вещества в образование глубинных флюидов и участие последних в процессах нефтегазонакопления. Рециклинг осадочного материала на большие глубины характерен для обстановок рифтогенеза и субдукции. Рифтогенный тип наиболее богатых нефтеносных бассейнов известен: примеры – Западная Сибирь, Северное море и др. Вовлечение осадочного материала в глубокое погружение характерно и для окраин платформ на границе со складчатыми поясами (системами). Такого рода регионы характеризуются гигантскими ресурсами углеводородов не только традиционного, но и нетрадиционного типа (Западная Канада, Восточная Венесуэла, Ближний Восток, окраины Восточно-Европейской и Сибирской платформы). С рециклингом обогащенного органическим веществом осадочного материала связаны гигантские масштабы и неравномерности процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления;

- выявлено обогащение формирующихся скоплений углеводородов специфическими биомаркерами за счет бактериальных сообществ, развивающихся при трансформации вторгающихся углеводородных флюидов. Установлена вертикальная зональность биомаркеров, которая может быть использована в качестве ключа для понимания генезиса нефтегазовых скоплений и при поисках нефти и газа.

Высокая интенсивность разгрузок углеводородов локализованными потоками глубинных углеводородов обуславливает высокие темпы (мгновенные в масштабах геологического времени) формирования и переформирования скоплений углеводородов, включая восполнение разрабатываемых месторождений нефти и газа.

Показана гидротермальная природа месторождений углеводородов и предложены новые геодинамические методы их поисков.

Созданы научные основы индикаторного метода исследования нефтяных пластов. Разработаны методики подбора индикаторов для конкретных геолого-промысловых условий, методики количественного определения содержания индикаторов в пластовых жидкостях.

Показано, что гидромониторинг геофлюидных систем повышает эффективность прогнозирования нефтегазоносности больших глубин. Уточнен комплекс диагностических гидрогеологических критериев поиска залежей УВ на больших глубинах.

Дано теоретическое обоснование проявления, регионального распространения и основных черт геодинамических флюидных систем, их взаимоотношений с элизионными и инфильтрационными системами.

Обоснованы с геофлюидодинамических позиций механизмы формирования зон нефтегазонакопления в условиях больших глубин, а также исследованы глубокопогруженные геодинамические флюидные системы.

Создана сопряженная геофлюидодинамическая и хроногеохимическая модель нефтегазообразования и нефтегазонакопления в пределах погруженных частей осадочных бассейнов.

Создана конденсационная модель образования залежей нефти и газа. Концепция основывается на анализе фазовых превращений при подъеме восходящего флюидного потока, от момента генерации углеводородных компонентов в недрах до заполнения углеводородной залежи. На больших глубинах углеводородный флюид находится в сверхкритическом состоянии. При достижении меньших глубин происходит сепарация на газовую и жидкую фазы. Показано, что известные типы зональности размещения углеводородных залежей являются разными сторонами единого процесса фазовой дифференциации, развивающегося в пространстве и во времени.

Разработаны оригинальные алгоритмы компьютерных программ для адаптации зарубежного комплекса IRAP RMS и Tempest FlowSim к российским условиям и решения следующих задач:

- поскважинной обработки данных инклинометрии;
- обработки результатов ГИС по скважинам (расчет пористости, проницаемости по данным каротажа);
- использования архивных сейсмических материалов и преобразования сейсмических данных;
- моделирования визуализации линий тока для каждой из фаз по результатам расчета по программе Tempest FlowSim (MORE);
- преобразования данных в форматах LAS, TIGRESS и т. д. в форматы реализуемого учеными Института программного комплекса.

Разработаны принципы геологического моделирования техногенных залежей углеводородов.

Построены геолого-математическая и адресная постоянно действующая геолого-технологическая модели Астраханского газоконденсатного месторождения. Разработаны геолого-математические модели:

- объектов разработки Аганского нефтяного месторождения;
- верхних отложений Харампурского месторождения.

Даны новые фундаментальные представления о залежи углеводородов как открытой пространственно-временной метастабильной полимерной системы, состоящей в объеме из отдельных подсистем, находящихся на различных стадиях эволюционного превращения карбонатного породообразующего вещества.

Разработана методика подсчета запасов высокомолекулярного сырья нефтегазоконденсатных месторождений на основе установленных оригинальных петрофизико-геохимических связей и закономерностей. Результаты подсчета запасов на двух крупнейших нефтегазоконденсатных месторождениях (Оренбургском и Карачаганакском) показывают, что запасы высокомолекулярного сырья, содержащего также промышленные концентрации ценных металлов, могут быть соизмеримы и даже более чем в 2 раза превышать вместе взятые запасы нефти, конденсата и газа.

Анализ данных по крупнейшим нефтегазоносным бассейнам Земли позволил разработать способ качественного прогноза свойств углеводородов и их фазового состояния.

Определены информативные признаки углеводородов нефтей разной генерации, что позволяет прогнозировать товарные качества нефтей как углеводородного сырья, содержание в них редких элементов, а также повысить обоснованность оценки перспектив нефтегазоносности, дополнив число информативных признаков показателями сохранности и деградации углеводородов в залежи.

Установлено широкое развитие скоплений углеводородов в присдвиговых бассейнах и создана модель миграции углеводородов в процессе развития сети разломов, сопровождающих образование таких бассейнов. Установлена значительная роль сдвиговых процессов в локализации и рассеянии углеводородов на севере Западной Сибири. Установленная приуроченность скоплений углеводородов к современным зонам локального геодинамического растяжения открывает перспективы поиска принципиально новых типов скоплений углеводородов – тех, которые в прошлые геодинамические эпохи накапливались в соответствующих геодинамических условиях, а ныне, в связи с изменением геодинамических напряжений, не диагностируются современными методами прогноза и поисков.

Проведены исследования микроэлементов в нефтях и конденсатах, а именно:

- источников микроэлементов (МЭ) в нефтях;
- металлопорфириновых комплексов нефтей и органического вещества пород как показателей нефтегазоносности;
- микроэлементов нафтидов и их использования при разработке нефтяных и газоконденсатных месторождений;
- геохимических особенностей палеозойских нефтей Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

Обнаружены самостоятельные очаги генерации нефтей в палеозойских отложениях Нюрольской впадины, что значительно повышает перспективы нефтегазоносности региона.

Установлены характерные соотношения микроэлементов для нефтей и конденсатов газовых залежей, что позволяет более эффективно контролировать и прогнозировать продвижение газовой и нефтяной фазы в процессе разработки месторождений.

Получены численные значения пределов изменения соотношений микроэлементов, характерные для верхней и нижней границ главной зоны нефтеобразования, что открывает

возможность объемного картирования главной зоны нефтегазообразования и позволяет точнее определить масштабы генерации УВ и уточнить перспективы основных нефтегазоносных провинций.

На основе изучения нефтей и комплексов пород, вмещающих и подстилающих залежи, с использованием методов, включающих петрографию, термобарогеохимию, f-радиографию, инструментальный нейтронно-активационный анализ, масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS), газовую хроматографию, масс-спектрометрию стабильных и радиогенных изотопов, показано участие в процессах нефтеобразования и нефтенакпления глубинных флюидных систем. Выполнен сравнительный анализ геохимических особенностей нефтеобразующих и магматогенных флюидов различного профиля с целью идентификации возможных источников малых элементов в нефтях.

В комплексе с использованием материалов геофизических работ на опорных и региональных профилях, включающих МОГ ОГТ, гравимагниторазведку, МТЗ, а также данных по истории геологического развития юга Сибирской платформы вообще и Тунгусского террейна, в частности, обоснована пространственная совмещенность аномального строения консолидированной коры и зон нефтенакпления в осадочном чехле. Разработана принципиальная модель формирования Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции и сформулированы геолого-геофизические и геохимические критерии выделения перспективных на углеводородное сырье территорий.

Выполнены исследования изотопно-геохимических особенностей битумов ряда нефтяных месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы и газоконденсатных месторождений Тимано-Печорской провинции. Установлено, что отношение изотопов $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{230}\text{Th}/^{228}\text{Th}$ в твердых битумах находится в условиях радиационного равновесия, и следовательно, геохимическая замкнутость в отношении присутствующих урана и тория не нарушалась в течение, по крайней мере, последнего 1 млн лет. Использование масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой позволило на качественном уровне установить разобщенность полей для органического вещества из нефтематеринских пород и нефти в координатах $^{232}\text{Th}/^{208}\text{Pb} - ^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$. Комплексные петрографические, f-радиографические и рентгенографические с энерго-дисперсной спектрометрией исследования, выявившие в битумах – продуктах расслоения углеводородно-водных флюидов новообразованные уран- и торийсодержащие минералы (уранинит, торианит, монацит, циркон), а также галенит и самородный свинец, показали принципиальную возможность ис-

пользования совмещенных методов MC-ICP-MS и LA-(MC-ICP-MS) для выявления специфических особенностей битумов, связанных с их природой. Эти особенности могут быть использованы в качестве индикаторов для установления времени прихода в коллектор нафтидов и источников последних.

Разработана теория формирования спектров рассеяния волновых полей одних частотных диапазонов на волновых пакетах других диапазонов, соответствующих более низким частотам: ультразвука (кГц) на сейсмических полях (10 Гц) и сейсмических (10 Гц) на группах волн НЧ-диапазона (до мГц). В геосреде с нелинейными свойствами обнаружены и исследованы механизмы формирования коллапсов сейсмических волновых пакетов, свойств мультстабильности с эффектами триггерного типа, нелинейного отражения (осциллирующий режим, гибридизация, стохастический резонанс) сейсмических волн от нелинейных зон при активном воздействии на нее виброисточником.

Эти результаты служат основой для создания новых многочастотных методов нефтегазовой геофизики.

В окрестности тектонических разломов и других нарушений в литосфере обнаружены и исследованы эффекты нелинейной дифракции сейсмических волновых полей с появлением наблюдаемой на космогеологических картах эквидистантности в системах линеаментов и кольцевых структур и установлена природа нелинейных механизмов сжатия—растяжения, регистрируемых на геодинамических полигонах.

Проведенные фундаментальные исследования позволили:

- установить геологическое строение Касимовского поднятия с позиции нелинейной геодинамики;
- дать интерпретацию современной геодинамической активности Бенойской кольцевой структуры на Северном Кавказе;
- создать геодинамическую модель Щелковского поднятия;
- разработать трехмерную модель поля напряжений в земной коре на примере геодинамической модели Калужской кольцевой структуры;
- выявить особенности строения Калужской кольцевой структуры с позиций новой геодинамической концепции;
- предложить новую модель строения разреза Московской синеклизы, согласно которой прогнозируется обнаружение скоплений углеводородов в отложениях протерозоя и нижнего палеозоя;

- составить карты современной геодинамики и кинематики Баренцево-Печорского региона.

Выявлены новые теоретические и технологические возможности эффективного прогнозирования и освоения месторождений нефти и газа Баренцево-Печорского региона.

Проведена предварительная оценка возможной нефтегазоносности Московской синеклизы Восточно-Европейской платформы и выделены участки, перспективные для обнаружения залежей углеводородов в песчаниках рифея.

Разработана многоцелевая автоматизированная система «Нефтегазовая гидрогеология» (адаптированная для целей прогноза новых зон нефтегазонакопления в пределах Восточного Предкавказья).

Разработана теория восходящей и нисходящей миграции УВ в водонапорных системах нефтегазоносных бассейнов. Изучена роль нисходящей миграции подземных вод в создании крупных зон нефтегазонакопления в глубокопогруженных частях осадочного чехла, в том числе и на его стыке с фундаментом. Дан прогноз поиска глубокопогруженных месторождений УВ в пределах Западного и Восточного Предкавказья, юго-восточной части Московской впадины, Лено-Виллюйской синеклизы, Мургабской впадины, Астраханского свода. Разработана модель дегазации подземной гидрогеосферы на месторождениях севера Западной Сибири, находящихся на поздней стадии разработки. Создана методика уточнения начальных, текущих и заземленных запасов газа на месторождениях с длительной историей эксплуатации. Разработана автоматизированная система прогноза характера и масштабов солеобразования при смешении природных и технических вод. Оценены ресурсы нетрадиционных источников энергии (водорастворенных и диспергированных газов) ряда геологических регионов России. Разработаны предложения по использованию земных недр для захоронения жидких производственных отходов в водонапорные системы различного типа. Исследования проводились в рамках НИР «Новые механизмы и модели формирования скопления углеводородов и их отражение в системе физических полей Земли» (Раздел: «Гидрогеологическое моделирование нисходящей миграции УВ из осадочного чехла в приподнятые блоки фундамента», 2004–2006 гг.); НИР «Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развитие топливно-энергетического комплекса России, в том числе на шельфе России» (Разделы: а. «Гидрогеодинамика нефтегазонакопления в осадочных бассейнах с длительной историей нефте-

газодобычи» (2004 г.), б. «Гидрогеологические механизмы мобилизации ресурсного потенциала в осадочных бассейнах с длительной историей нефтегазодобычи», 2005–2006 гг.); в рамках Договора с ООО «Кавказгазтранс» на выполнение научно-исследовательских работ по теме: «Совершенствование системы гидрогеологического контроля за эксплуатацией Северо-Ставропольского подземного хранилища газа (ПХГ) в отложениях зеленой свиты» (2005 г.); Договора с ООО «Надымгазпром» на выполнение научно-исследовательских работ по теме: «Экспериментальная модель продвижения растворенного и заземленного газа в неоднородных терригенных коллекторах при понижении давления» (2005–2006 гг.).

II. Результаты в области гидротермодинамики углеводородных систем

Разработана обобщенная гидротермодинамическая модель многофазной фильтрации с учетом эффектов неравновесности и анизотропии. Выведены новые реологические уравнения многофазной многокомпонентной фильтрации с использованием методов неравновесной термодинамики. Для двухфазных течений в анизотропных пористых средах установлена тензорная структура относительных фазовых проницаемостей.

Существенной научной новизной и практической значимостью характеризуются использование теории нелинейных тензорных функций в моделях подземной гидромеханики, построение новых нелинейных законов фильтрации для сред с различным характером анизотропии, выяснение структуры уравнений фильтрации вязкопластичной жидкости в анизотропных пористых средах.

Установлено, что изотропные фильтрационные свойства, отражаемые в законе Дарси, в нелинейном законе фильтрации могут быть существенно анизотропными и иметь асимметрию, т. е. быть различными вдоль одной прямой, но в противоположных направлениях.

Проводятся анализ и наиболее полное согласование пределов разрушения пластов и пределов восстановления их первоначальных фильтрационных свойств.

Предложен метод расчета модифицированных относительных фазовых проницаемостей (МОФП) с помощью процедуры Upscaling, встроенной в программный комплекс для построения геологических моделей нефтегазовых месторождений IRMS. Сущность метода состоит в последовательном использовании процедуры Upscaling для абсолютной

проницаемости и фазовых проницаемостей нефти и воды при различных значениях насыщенности и последующем построении регрессионных зависимостей МОФП от параметра насыщенности для каждого литотипа.

Получила дальнейшее развитие компьютерная программа расчета многомерной многокомпонентной фильтрации с детальным учетом фазовых превращений (MRS-EOS). Программа особенно актуальна для высоких термобарических условий и околокритического состояния пластовых флюидов.

На основе созданной математической модели пространственных потоков смеси воды и газа при циклической эксплуатации ПХГ в водоносных пластах разработаны пакет компьютерных программ для расчетов пространственных двунаправленных потоков газа и научные основы новых технологий эксплуатации ПХГ, обеспечивающих эффективное использование порового пространства и минимизацию обводнения скважин при отборе газа.

Разработаны новые уравнения состояния и методы моделирования флюидов. В результате стало возможным количественное описание всех видов фазовых превращений при добыче и транспорте, в том числе, осложнений, связанных с образованием газовых гидратов, асфальто-смоло-парафиновых отложений в скважинах и трубопроводах. Разработанные методы расчета позволили создать модели гидратообразования в НКТ и затрубном пространстве скважин, определить эффективные технологии предупреждения осложнений.

Исследованы свойства модельных и природных многокомпонентных смесей в широкой окрестности критической точки. Разработана и сертифицирована экспериментальная методика измерения фазового поведения сложных углеводородных смесей. На основе созданной ранее масштабной теории многокомпонентных растворов предложен новый подход для описания термодинамических свойств смесей в широкой окрестности критической точки. Показано, что зависимость температуры и давления на пограничных кривых от плотности смеси носит неаналитический характер. Это совершенно неочевидное свойство пограничных кривых позволило сформулировать простой, надежный и эффективный метод определения критических параметров смесей, знание которых необходимо для определения типа так называемых переходных месторождений. С целью проверки полученных теоретических результатов проведен широкий комплекс экспериментальных измерений аномальных свойств многокомпонентных флюидов в окрестности их критических то-

чек жидкость-пар. Показано, что предложенная теория описывает свойства многокомпонентных флюидов в широкой окрестности их критических точек с точностью 1–1,5%.

Исследованы свойства воды при низких температурах. Подтверждена (наблюдавшаяся ранее в единственном эксперименте) совершенно неожиданная способность воды оставаться в жидком состоянии вплоть до температур 250К. Показано, что теплоемкость воды при понижении ее температуры резко возрастает. Одновременно появляются значительные (порядка нескольких часов) времена релаксации воды к своему равновесному состоянию. Такие необычные свойства переохлажденной воды свидетельствуют о существовании совершенно особого состояния воды в рассматриваемой области температур. В настоящее время имеется лишь очень ограниченное число работ, пытающихся прояснить природу аномальных свойств этой низкотемпературной воды. Работа находится в стадии выполнения.

Исследовано влияние пористой среды на физические свойства заполняющих поровое пространство веществ, плавление льда в пористых средах, проведено исследование кернов. Измерено влияние пористой среды на температуру фазовых переходов заполняющих эту пористую среду флюидов. В частности, показано, что предплавление льда в пористых средах существенным образом определяется поверхностными силами Ван-дер-Ваальса и кривизной межфазной границы лед – вода, зависящей от структуры пористой среды. Оба эффекта приводят к тому, что плавление льда происходит в интервале температур, величина которого может достигать 20 и более градусов. Показано, что действие сил Ван-дер-Ваальса приводит к возникновению на поверхности льда смачивающей жидкой пленки, толщина которой d возрастает при приближении к температуре объемного плавления T_m : $d \propto \tau^{-1/3}$. Здесь $\tau = (T_m - T)/T_m$. Объем льда, расплавленного за счет указанного механизма ($V_{melt}^{(S)}$), равен произведению толщины жидкой пленки (d) на величину поверхности льда (S), заполняющего пористую среду, т.е. $V_{melt}^{(S)} \approx Sd \propto \tau^{-1/3}$. Вторым механизмом предплавления связан с кривизной границы раздела лед-вода. Смещение температуры плавления при этом определяется формулой Кельвина и равно: $\tau = \sigma / \rho_{ice} \lambda r$. Здесь σ – поверхностная энергия межфазной границы лед-вода, ρ_{ice} – плотность льда, r – радиус кривизны межфазной границы раздела и λ – удельная теплота плавления льда. Объем льда, расплавленного за счет механизма Кельвина ($V_{melt}^{(K)}$), пропорционален

$V_{melt}^{(K)} \propto Rr^2 \propto \tau^{-2}$. Оба указанных механизма предплавления льда обеспечивают универсальную температурную зависимость объема расплавленного льда в окрестности 0°C. Указанное свойство позволило сформулировать обратную задачу: зная основные закономерности плавления льда в пористой среде, использовать этот фазовый переход в качестве инструмента измерения функции распределения пор по размерам. Такие измерения, выполненные для нескольких модельных пористых сред, подтвердили высокую эффективность и надежность предложенного метода.

Исследованы гидраты, процесс замещения метана в газовом гидрате углекислым газом. Разработаны методы управления таким процессом замещения. Методом прецизионной адиабатической калориметрии изучены равновесные свойства, а также кинетика накопления и разложения гидратов метана и углекислого газа в кварцевых порошках с характерным размером зерен 90–100 мкм и 5–10 мкм. Определены линии трехфазного равновесия вода – гидрат – газ и лед – гидрат – газ, теплоемкости гидратов, их теплоты разложения на линиях равновесия, гидратные числа, а также зависимость всех перечисленных величин от характера распределения воды в пористой среде и степени насыщенности.

В рамках предложенной интерпретации экспериментальных данных можно утверждать, что тепловые эффекты в окрестности линий разложения гидратов чрезвычайно чувствительны к макроскопической структуре твердой фазы. Действительно, при среднем характерном размере зерен использованных порошков от единиц до 100 микрон уверенно идентифицируются эффекты, связанные с масштабами от 50 и менее нанометров до 150 и более нанометров. С одной стороны это означает, что эффекты, обусловленные такими малыми масштабами, необходимо учитывать при проведении различных работ в зонах с пониженной температурой, а с другой стороны, что сами эти эффекты могут быть использованы при изучении пористых сред, например, в порометрии.

Процесс вытеснения метана из газового гидрата углекислым газом реализован в лабораторных условиях. Показано, что указанный процесс может служить принципиальной основой для создания технологии разработки газогидратных месторождений с одновременной консервацией диоксида углерода. Степень замещения молекул метана определяется концентрацией газовой смеси метан – двуокись углерода, сосуществующей с гидратом. Кинетика процесса замещения определяется двумя модами, характерные времена которых различаются приблизительно на порядок.

Разработаны оптические методы измерения свойств непрозрачных флюидов. Выявлена устойчивость нефтей, созданы методы стабилизации.

Методом динамического и статического рассеяния света проведены исследования коллоидной структуры нефтяных систем и исследовано влияние смол на процесс выпадения асфальтенов из раствора. Объектом исследования были модельные системы растворов асфальтенов и их фракций в толуоле. Образцы асфальтенов и их фракции были получены по стандартной методике из нефти Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения в Институте органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН. Смолы для исследований были получены из нефти Аканского месторождения в том же институте.

Предложен новый метод определения пороговой концентрации (Onset point) начала выпадения асфальтенов из нефтяных систем. Новый метод позволяет существенно уменьшить влияние методики проведения измерения на конечный результат.

Показано, что фракции асфальтенов имеют разную пороговую концентрацию осадителя и скорости кинетики агрегации фракций отличаются от скорости кинетики агрегации исходных, суммарных асфальтенов.

Исследовано влияние смол на кинетику агрегации асфальтенов. Показано, что смолы существенно замедляют скорость агрегации асфальтенов и повышают устойчивость системы к выпадению асфальтенов из раствора (повышают пороговую концентрацию – Onset point). На основе проведенных исследований по влиянию смол на кинетику агрегации асфальтенов предложен новый, высокочувствительный метод оценки эффективности ингибиторов выпадения асфальтенов из раствора. По сравнению с используемыми в настоящее время методами оценки эффективности ингибиторов выпадения асфальтенов данный метод позволяет определить эффективность ингибирования на нано- и субмикронном уровне и позволяет зафиксировать начало выпадения асфальтенов на самых ранних стадиях, когда количество выпавших асфальтенов мало и другие методы не могут зафиксировать момент нарушения устойчивости нефтяной системы.

Впервые показано, что при разрушении осадка, образовавшегося после агрегации асфальтенов ультразвуком, в нефтяной системе наблюдается повторная агрегация уже выпавших из раствора асфальтенов. Скорость и характер повторной агрегации аналогичны первичной агрегации, вызванной добавлением осадителя. При этом многократное разрушение осадка ультразвуком приводит к замедлению повторных агрегаций и к последую-

щей стабилизации наноагрегатов асфальтенов на сравнительно небольших размерах порядка 200 нм. Наблюдаемый эффект самоингибирования асфальтеновых агрегатов является важным свойством асфальтенов, которое может быть использовано на всех стадиях добычи и переработки нефти для повышения эффективности процессов.

Изучены физические свойства поверхностных фаз и систем с пониженной пространственной размерностью. Теоретически исследованы свойства сложных углеводородов (на примере жидких кристаллов и ротаторных фаз парафинов), близких к фазовому переходу из жидкой изотропной в слоистую кристаллическую фазу в присутствии внешней ограничивающей поверхности. Показано, что указанному фазовому переходу предшествует покрытие ограничивающей поверхности слоем смачивающей кристаллической фазы нано-размеров (нанопленкой). Объяснена конечность толщины смачивающих нанопленок в точке объемного фазового перехода. Решена задача о флуктуационном взаимодействии между внешней (ограничивающей смачивающую нанопленку) поверхностью и кристаллическим интерфейсом, выступающим в роли внутренней (объемной) границы смачивающей пленки.

Впервые объяснено явление смены режима послойного (квантованного) роста толщины смачивающей кристаллической нанопленки сложного углеводорода на режим регулярного непрерывного роста ее толщины в преддверии точки трехфазного равновесия сложных углеводородов (тройной точки). В результате впервые предсказан уникальный, имеющий место при комнатных температурах, индуцированный переход шероховатости в сложных углеводородах, до сих пор наблюдавшийся только в гелии. Полученный результат важен с практической точки зрения при решении проблем накопления сложных углеводородов в пористых средах (коллекторах).

Доказана существенность флуктуационной ренормировки интерфейсного потенциала взаимодействия интерфейса нематик-изотропная жидкость с ограничивающей поверхностью в пленках сложных углеводородов с малым значением межфазного натяжения. Описание экспериментальных кривых сделало возможным определение материальных параметров системы, включая амплитуды поверхностного взаимодействия, межфазное натяжение и интерфейсную корреляционную длину.

Изучены физические свойства систем с несколькими параметрами порядка (жидкие кристаллы). В рамках теории Ландау получена полная фазовая диаграмма жидких кри-

сталлов – наиболее важного представителя систем с несколькими взаимодействующими параметрами порядка.

Предсказано существование трикритической точки на линии переходов из нематической в смектическую жидкокристаллическую фазу. Получены выражения для аномальной дисперсии упругих модулей смектических жидких кристаллов.

Впервые в мире экспериментально подтвержден эффект экранировки флуктуации нематического директора, полностью аналогичный эффекту Мейснера в сверхпроводниках (вытеснение магнитного поля из сверхпроводника).

Предложен новый метод описания различных растворов, содержащих поверхностно-активные вещества. На основе предложенного метода построена теория мицеллярных растворов и их поверхностного натяжения.

Ученым Института удалось решить важнейшую проблему выявления критического состояния и создать теорию слабых электролитов в окрестности критической точки растворителя. Впервые удалось описать механизм влияния ионов, диссоциированных в растворе, на термодинамические характеристики раствора в окрестности критической точки.

В рамках учения о системах с несколькими взаимодействующими параметрами порядка построена теория фазового поведения растворов полимеров в низкомолекулярных растворителях. На основе развитой теории получены кроссоверные уравнения, позволившие адекватно описать поведение расслаивающихся растворов полимеров и зависимость основных параметров этих растворов от молекулярного веса полимера и его концентрации.

Обнаружено фрактальное строение коллоидных частиц нефти. Экспериментально зарегистрированы в нефти коллоидные агрегаты фрактального строения, включающие в себя стержнеобразные частицы железа. Характеристики наночастиц исследованы методами ЭМР, порошковой микродифрактометрии, методом характеристических неупругих потерь энергии электронов. Частицы оксидов железа служат центрами роста агрегатов коллоидных частиц, образующих разветвленную цепочечную структуру. Построена физическая модель, связывающая размер коллоидных агрегатов с характеристиками течения жидкости. Справедливость теории подтверждена экспериментально на образцах нефти, полимерных растворах, нефтепродуктах, буровых растворах.

Объяснен механизм воздействия электромагнитного поля на углеводородные флюиды. Обнаружение ферромагнитных частиц позволило объяснить механизм действия

магнитного поля. Наложение поля заставляет магнитные частицы ориентироваться одинаковым образом, что создает между ними силы отталкивания. Коллоидные агрегаты разрушаются, что приводит к многократному уменьшению вязкости. Разработаны основы направленного воздействия на одно из важнейших свойств углеводородных флюидов – вязкость. Созданные модели объясняют действие магнитного поля на интенсивность отложения парафинов, образование накипи, скорость разрушения нефтяной эмульсии, приемистость водонагнетательных скважин.

Проводится моделирование термогидродинамического поведения систем природных углеводородов при добыче и транспорте. Разрабатываются:

- новые методы решения прикладных задач по моделированию фазовых переходов углеводородных флюидов в технологических процессах;
- методы предупреждения отложения асфальтенов, парафинов и смол в скважинах, промышленном оборудовании и трубопроводах;
- методы предупреждения образования гидратов природных газов в скважинах и трубопроводах;
- методы экстракции ценных компонентов из нефти;
- теоретические модели термодинамического поведения углеводородных флюидов; модели фазовых превращений в процессах формирования месторождений нефти и газа;
- новые модели и методы изучения физико-химических свойств парафинов, асфальтенов и смол;
- модели фазовых превращений углеводородов сложного компонентного состава.

Выполненные исследования позволили существенно продвинуться в понимании термодинамических процессов, происходящих при формировании залежей углеводородов, глубже понять закономерности фазового поведения и изменения физико-химических свойств нефти и газа при разработке месторождений, точнее определить технологические характеристики процессов извлечения и переработки природных углеводородов. Итогом исследований стали новые знания о термодинамических свойствах природных углеводородов, а также эффективные методы решения фундаментальных и прикладных задач и физико-математические модели и компьютерные программы.