

### **ВЕДУЩИЕ НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ**

В Институте сложились и успешно работают пять научных школ: академиков А.Э. Конторовича, М.И. Эпова, С.В. Гольдина (рук. д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков), чл.-корр. РАН А.В. Каныгина, д.г.-м.н. С.Л. Шварцева, которые входят в число ведущих научных школ России.

#### **Ведущая научная школа академика А.Э. Конторовича**

В 2008 году коллектив научной школы академика А.Э. Конторовича «Нелинейная теория нефтидогенеза, геология и органическая геохимия нефтегазоносных бассейнов, энергетическая стратегия России на период до 2030 г.» проводил научно-исследовательские работы по теме «Фундаментальные исследования геологии, геохимии и генезиса, закономерности размещения месторождений углеводородов в осадочной оболочке Земли, глобальные и региональные проблемы обеспечения человечества нефтью и газом в XXI веке» (НШ-3275.2008.5).

Работы научной школы в 2008 году были продолжением работ, начатых в предыдущие годы, и сконцентрированы по следующим основным направлениям:

- геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Сибири;
- геохимия углеводородов и гетероциклических соединений нефти Сибири;
- методы оценки и оценка ресурсов углеводородов в осадочных бассейнах;
- стратегические проблемы развития нефтегазового комплекса России в XXI веке и его место в современном мире.

Основные результаты сводятся к следующему:

Ученые ИНГГ им. А.А. Трофимука, ЛИН и ИГХ СО РАН отобрали и исследовали современными методами пробы байкальской нефти с поверхности воды, из водного слоя и впервые со дна озера. С глубокой древности известны нефтепроявления в восточной части озера Байкал. С начала 30-х годов XX века шла дискуссия о природе этой нефти. Большинство исследователей считало ее докембрийской (более 542 млн. лет). В нефтях идентифицирован уникальный набор углеводородов - биомолекул (сесквитерпаны, секогепаны, каротаны, олеонаны и др.). Такие структуры характерны в основном для липидов органического вещества высшей наземной растительности, в том числе для покрытосеменных растений. Такие растения появились на Земле менее 100 млн. лет тому назад (поздний мел). Геологические данные позволяют уточнить, что нефти имеют кайнозойский возраст - моложе 65 млн. лет.

Проведено моделирование процессов генерации нефти и газа в северной части Западно-Сибирского осадочного бассейна (включая Карское море).

Разработана стратегия развития нефтяного и газового комплексов России на период до 2030 г. Показано, что главной базой страны по добыче нефти и газа на весь этот период останется Западная Сибирь, начнется крупномасштабная добыча нефти и газа в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Здесь будет сформировано мощное производство по переработке жирного конденсатного газа, выделению и очистке гелия и крупнейшие нефтехимические кластеры. Выполнена оценка необходимых для устойчивого развития нефтегазового комплекса объемов геологоразведочных работ. Крупномасштабные геологоразведочные работы начнутся на шельфах морей российского сектора Северного Ледовитого океана.

#### **Ведущая научная школа академика М.И. Эпова**

В 2008 году коллектив научной школы академика М.И. Эпова проводил научно-исследовательские работы по теме «Решение актуальных задач наземной, морской и скважинной геоэлектрики на основе современных методов многомерного математического и физического моделирования электромагнитных полей в сложнопостроенных средах» в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» научно-исследовательские работы по лоту «Решение актуальных задач наземной, морской и скважинной геоэлектрики на основе современных методов многомерного математического и физического моделирования электромагнитных полей в сложнопостроенных средах» (мероприятие 1.5 Программы, IV очередь)» шифр «2008-10-1.5-16-10-024», государственный контракт № 02.515.11.0004 от «15» августа 2008 г.

Описание выполненных работ:

Разработан программно-алгоритмический комплекс для моделирования переменного электромагнитного поля от замкнутого токового контура на поверхности неоднородного анизотропного полупространства. Алгоритмы основаны на решении полной системы уравнений Максвелла с помощью векторного метода конечных элементов, если электропроводность описывается плотным тензором второго порядка. Достоверность результатов моделирования обеспечивается сравнением с известными аналитическими решениями для плоских электромагнитных волн, а также анализом сходимости решения при дроблении вложенных сеток. Результаты расчетов монохроматического электромагнитного поля позволили выявить его качественное отличие в среде с наклонными осями анизотропии от аналогичных величин в трансверсально-изотропной модели. В последнем случае электромагнитный отклик полностью формируется концентрическими вихревыми токами и содержит информацию только об электропроводности в горизонтальной плоскости. В то же время в наклонно-анизотропной среде появляется еще один источник — пространственно распределенный объемный заряд с характерным квадрупольным распределением. Суммарный же отклик, являющийся суперпозицией полей от двух вторичных источников, несет информацию обо всех элементах тензора электропроводности. Причем в области предельно низких частот преобладающее влияние имеют вихревые токи, а на высоких — заряды.

Создан программно-алгоритмический комплекс для моделирования прохождения сверхширокополосных наносекундных видеоимпульсов через диспергирующие горные породы. Решение уравнений Максвелла в полной постановке на основе векторного метода конечных элементов выполнено для моделей двух типов, характерных при наземных малоглубинных зондированиях и исследованиях в нефтегазовых скважинах. Анализ расчетов показал, что влияние дисперсии диэлектрической проницаемости и электропроводности проявляется в повышении глубины проникновения поля в среду, по сравнению с толщиной скин-слоя.

Выполнены две серии натуральных экспериментов, цель которых заключалась в выявлении влияния протекания постоянного тока в среде на результаты электромагнитных зондирований. На полигоне "Ключи" обнаружено влияние постоянного тока, заземленного в осадочные отложения через обсадные колонны скважин, заключающееся в уменьшении эффективной электропроводности среды в области низких частот (электромагнитное сканирование). Комплекс измерений на полигоне "Быстровка" не позволил выявить соответствующий эффект, поскольку в результа-

те анализа экспериментальных данных было установлено влияние паразитного контура "электрическая линия — земля" на результаты электромагнитного сканирования.

**Ведущая научная школа академика С.В. Гольдина  
(рук. д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков)**

В 2008 году коллектив научной школы академика С.В. Гольдина (рук. д.ф.-м.н. Б.П. Сибиряков) проводил научно-исследовательские работы по теме «Геофизические процессы в блочных и гетерогенных средах» (НШ-5739.2008.5).

Описание выполненных работ:

В 2008 году исследованы свойства решений дифференциальных уравнений движения микронеоднородных сред, содержащих флюиды в порах и трещинах. Выяснилось, что возникновение неустойчивых режимов поведения таких сред зависит от удельной поверхности пор и трещин, а также внутреннего трения. Если для структур с малой дисперсией удельной поверхности неустойчивое поведение могут инициировать только очень высокие частоты (длина волны лишь в 4 раза превышает размер структуры), то для сред с большой дисперсией удельной поверхности потеря устойчивости пласта происходит при частотах колебаний даже исключительно низких. Сила трения приводит к двум совершенно различным сценариям развития катастрофических процессов. Один из сценариев — активная катастрофа, которая содержит в себе график повторяемости, характерный для землетрясений. Второй сценарий - вялые катастрофические явления, которые по энергии меньше на 5 порядков, и график повторяемости которых существенно нелинеен. Малый хаос стабилизирует среду, в то время как большой среду снова дестабилизирует. Между устойчивыми и неустойчивыми состояниями возникает особая метастабильная ситуация, когда не действуют ни уравнения равновесия, ни уравнения движения. Это так называемый детерминированный хаос, когда спектр излучаемых колебаний практически непрерывен. Выход из этого состояния (синергетика) приводит к появлению предсказуемых состояний, которые характеризуются единственным решением, определяющим как скорости волн, так и их интенсивности.

Получены системы уравнений для условий на границах пористого флюидонасыщенного слоя и жидкости с учетом кратных быстрой продольной и поперечной волн. Проведены расчеты коэффициентов отражения прохождения (обмена) с учетом и без учета кратных волн, и дано сравнение с ранее полученными экспериментальными данными. Наибольшее изменение коэффициентов отражения и прохождения происходит при угле падения меньше критического, а в закритической области влияние кратных волн стремится к нулю. Показано, что резкое уменьшение коэффициента прохождения медленной волны через пористый водонасыщенный слой с углом падения  $30^0$  обусловлено близостью к нулю определителя системы граничных условий (наличием корней Релея). Равенство нулю определителя дает решение для комплексного значения скорости поверхностной волны. Численное значение реальной части скорости близко к скорости релеевской волны для сухой пористой среды (3000 м/с). Поскольку скорость этой волны выше, чем скорость медленной волны и скорости волны в жидкости, то происходит излучение волн в обе стороны от границы, и поэтому при распространении вдоль границы волна является затухающей (не чисто поверхностной). Таким образом, резкое изменение коэффициента прохождения медленной волны через пористый водонасыщенный слой с углом па-

дения  $30^\circ$  обусловлено быстрой продольной и поперечной неоднородными волнами.

Детальный анализ пространственно-временного развития сейсмического процесса в Алтае-Саянской складчатой области позволил выявить следующие основные закономерности его развития, связанные с подготовкой наиболее сильных землетрясений в этом регионе:

- сейсмический процесс в ближних зонах подготовки сильных землетрясений Алтая: Зайсанского, 1990 г. и Чуйского, 2003 г. характеризовался в течение десятков лет до события относительной стабильностью, невысоким уровнем выделяемой сейсмической энергии и редкими умеренными землетрясениями с энергетическим классом не более 12;
- обнаружено отсутствие реакции сейсмического режима ближней зоны подготовки Чуйского землетрясения 2003 года,  $M_s=7.5$ , и Зайсанского землетрясения 1990 г.,  $M_s=6.9$ , на внешние воздействия - региональные сейсмические активизации, что может указывать на изолированность области очага будущего землетрясения и на наличие жесткой структуры, окружающей эту область;
- ряд явлений, таких как отсутствие афтершоков у землетрясений с  $M \geq 5$ , происходящих с юга от будущего очага Чуйского землетрясения, понижение угла наклона графика повторяемости землетрясений района подготовки, отсутствие с 1963 г. событий с  $M > 4.5$  в ближней зоне, свидетельствуют об увеличении степени консолидации среды в этой области перед Чуйским землетрясением;
- в 1996-2003 годах отчетливо проявилась предшествующая Чуйскому землетрясению сейсмическая активизация в районах с юга, юго-востока и юго-запада от ближней зоны подготовки Чуйского землетрясения - в северной части Монгольского Алтая, южной части Русского Алтая, а также в Зайсанской впадине.

В зоне Бусингольского землетрясения обнаружен и изучен пульсирующий характер активизации. Доказано, существование миграции пульсирующей активизации от Бусингольской впадины вглубь Шишхидского нагорья.

В афтершоковом процессе Чуйского землетрясения установлено двухъярусное строение активизированного слоя. Наблюдается сейсмический процесс в приповерхностном слое до глубины 2 км, ниже которого расположен асейсмичный слой мощностью 1-3 км и, наконец, основной активизированный массив. Афтершоковая область в продольном разрезе образует чашу с уменьшением глубины афтершоков от эпицентра к краям активизации. Процесс делится на четыре пространственных элемента, разделенных вертикальными зонами затиший. Установлено, что в 2007 г. произошло удлинение активизированной области с выходом к северу, в Айгулакский хребет. Показано, что первый крупный афтершок оказал небольшое влияние на характеристики афтершокового процесса, второй же из двух крупных афтершоков изменил всю пространственную структуру активизации.

### **Ведущая научная школа чл.-корр. РАН А.В. Каныгина**

В 2008 году коллектив научной школы чл.-корр. РАН А.В. Каныгина проводил научно-исследовательские работы по теме «Экосистемное обоснование стратоталонов и биохорий регионального и глобального рангов по результатам палеонтологического, стратиграфического, палеоэкологического и биогеографического

изучения неопротерозойских и фанерозойских палеобассейнов Сибири» (НШ-3822.2008.5).

Описание выполненных работ:

Полученные за отчетный период важнейшие результаты: По данному проекту получены оригинальные результаты по эволюции экосистем, таксономическому составу бентосных и пелагических биот в палеобассейнах эпиконтинентального и океанического типа, палеобиологической интерпретации уникальных находок на территории Сибири древнейших (из докембрия) фоссилизированных следов бесскелетной микро- и макрофауны и на этой основе дано обоснование новых стратоталонов регионального и глобального ранга для отдельных интервалов общей стратиграфической шкалы в широком стратиграфическом диапазоне – от неопротерозоя до антропогена. В данном отчете приводятся важнейшие результаты, опубликованные в монографиях и статьях в 2008 г. В результате детального комплексного послойного изучения параметрических скважин Восток-1 и Восток -3, впервые вскрывшие на левобережье Енисея в пределах Западно-Сибирской геосинеклизы верхнепротерозойские и кембрийские отложения погруженной части Сибирской платформы, обнаружены и монографически изучены уникальные находки вендской и кембрийской фауны. Скважина Восток-3 является первым на территории Сибири местонахождением древнейших организмов *Namacalathus*, четвертым в мире местонахождением ассоциации *Cloudina–Namacalathus*, и первым случаем совместного нахождения пятиякислотит и “типичных” вендских организмов, что в совокупности возводит скважину в число наиболее информативных разрезов отложений верхнего венда. Параметрической скважиной Восток-1, вскрыт мощный разрез кембрийских отложений. Детальная палеонтологическая характеристика позволила скоррелировать данный разрез с опорными разрезами Сибирской платформы на уровне ярусов и горизонтов. Впервые в мировой практике обнаружено совместное нахождение в единой осадочной последовательности верхнего венда (в бассейне реки Оленек на севере Якутии) двух богатых принципиально различных комплексов ископаемых остатков – миаохенского и авалонского. Первый из них представлен многоклеточными организмами, сохранившимися в виде органостенных, мумифицированных остатков, а второй – разнообразными органами прикрепления, сохранившимися в виде карбонатного цемента. Показано, что эти комплексы взаимно дополняют друг друга, являясь разными формами сохранности единого экологического сообщества, а биоразнообразие в мелководных сообществах тепловодных карбонатных бассейнов оказывается в несколько раз большим, чем ранее предполагалось. Для расшифровки ранних этапов эволюции животных и становления современного облика биосферы необходимо ответить на вопрос: Чем обусловлено морфологическое своеобразие древнейших мягкотелых организмов вендского возраста? Впервые проведено сравнение остатков одних и тех же мягкотелых организмов, сохранившихся в различных условиях: засыпание вулканическим пеплом, цементация карбонатного ила, образование песчаных слепков и наложение на органические пленки. Показано, что во всех случаях, независимо от сохранности, остатки вендских мягкотелых организмов демонстрируют одинаковое строение. Следовательно, морфологическое своеобразие вендских многоклеточных организмов отражает своеобразие ранних этапов эволюции животных, а сами вендские организмы не являются прямыми предками современных групп. Разработаны новые версии региональных стратиграфических схем ордовикских отложений Сибирской

платформы (эпиконтинентального палеобассейна) и Алтае-Саянской складчатой области (Палеоазиатского океана и его окраин), в которых обобщены новейшие материалы по палеонтологии, стратиграфии и структурно-фациальному районированию этих территорий, полученные за последние 18 лет (после официального утверждения МСК СССР прежнего поколения региональных стратиграфических схем Сибири в 1979 г.). Наиболее важным отличием новых схем от прежних является их более высокая детальность и более надежное палеонтологическое обоснование реперных уровней для внутрорегиональных и глобальных корреляций платформенных и океанических фаций на зональном, а для отдельных стратиграфических интервалов на инфразональном уровне. Это позволило сопоставить региональные схемы платформенной и складчатой областей ордовика Сибири, с новыми стратоталонами Общей шкалы ордовикской системы, официально принятыми в 2008 г. вместо прежнего Британского стандарта, который имел статус международного стратиграфического эталона с 1879 г. Новые стратиграфические схемы примерно вдвое повышают детальность внутрорегиональных корреляций разрезов и могут служить основой для легенд сводных геологических карт и историко-геологических обобщений с использованием новых стратоталон Общей стратиграфической шкалы ордовикской системы. Палеофациальный анализ, проведенный на основе изучения состава и количественных соотношений разных групп микрофитофоссилий в нижне-среднеюрских и верхнемеловых толщах Сибири, показал, что систематический состав и количественное содержание этих групп в разнофациальных одновозрастных осадках прямо зависит от условий седиментации. Установленная закономерность может быть использован как один из надежных критериев при палеогеографических реконструкциях древних акваторий. Согласованная смена фаций и состава палиноморф в направлении от периферии к центральным частям палеобассейнов идентифицирована как для западносибирских, так и для восточносибирских палеоакваторий. С позиций разрабатываемой А.В. Каныгиным экологической концепции эволюции экосистем разработана эколого-трофическая модель глобальной структурно-функциональной перестройки биосферы на этапе ее перехода от примитивных некогерентных экосистем (экологически недонасыщенных) докембрия к многоуровневым когерентным экосистемам (экологически насыщенным) фанерозойского типа, с формированием глобального биогеохимического круговорота в океаническом секторе биосферы и сравнительно устойчивого (по сравнению с докембрием и кембрием) биоразнообразия, стабильность которого, начиная со среднего ордовика поддерживалась ротацией эквивалентных экологических гильдий. Показаны принципиальные различия кембро-раннеордовикских экосистем, представленных резким преобладанием бентосных групп фауны с преимущественно пастбищным типом питания и средне-позднеордовикских, представленных большим количеством новых таксономических групп – эволюционных долгожителей бентиали и пелагиали с преобладанием фильтраторного типа питания и началом расцвета хищнического типа питания, т.е. формированием трофических пирамид современного типа. Эти данные существенно уточняют периодизацию геологической истории биосферы: вместо ныне принятого деления раннего палеозоя на кембрийский и ордовикский периоды более целесообразно было бы в качестве самостоятельного историко-геологического этапа выделить еще один период между ранним кембрием и средним ордовиком. Обобщены материалы по ключевым разрезам ордовика и силура Горного Алтая, представленные хорошо фа-

унистически охарактеризованными карбонатными, терригенными и кремнистыми толщами. Расчленение алтайских опорных разрезов на биостратиграфические зоны по граптолитам, конодонтам и хитинозоям позволило выделить все новые хроностратиграфические ярусные подразделения ордовика (флойский, дапингский, даривильский, сандбийский, катианский, хирнантский), ранее не диагностируемые на территории России. Их выделение (ярусов и их подъярусов) и маркировка нижних границ осуществлялись с использованием зональных видов-индексов граптолитов и конодонтов. В связи с этим внесены кардинальные изменения в названия видов-индексов граптолитовой и конодонтовой шкал Алтая. Можно считать эти материалы основой не только для разработки хроностратиграфической базы палеонтологостратиграфических исследований палеозоя Сибири, но и для всей России в целом. Эти разрезы были продемонстрированы в ходе Международной полевой экскурсии с 30 июня по 11 июля 2008 г. Проведено изучение эталонных разрезов верхнего силура, девона и нижнего карбона западной части Зеравшано-Гиссарской горной области, обнажающихся на территории Китабского государственного геологического заповедника. Там представлены самые полные в мире по непрерывной последовательности и биоразнообразию скелетных остатков фауны карбонатные разрезы нижнего и низов среднего девона, охарактеризованные обильными разнообразными остатками бентосных и пелагических групп фауны (табуляты, ругозы, аммоидеи, трилобиты, брахиоподы, конодонты, тентакулиты, остракоды, хитинозои, позвоночные, граптолиты, криноидеи, мшанки, строматопороидеи). Привлекательность и даже уникальность этих разрезов заключается в том, что в них широко представлены такие группы фауны как граптолиты, последние находки которых зафиксированы в конодонтовой зоне *nothopteron* (низы верхнего эмса), и первые находки аммоидей в зональном интервале *inversus*. Были также получены новые результаты более частного характера по палеонтологии, палеоэкологии, палеобиогеографии и стратиграфии по отдельным системам неопротерозоя и фанерозоя.

### **Ведущая научная школа д.г.-м.н. С.Л. Шварцева**

В 2008 году коллектив научной школы д.г.-м.н. С.Л. Шварцева «Сибирская гидрогеохимическая школа» проводил научно-исследовательские работы по теме «Геохимия подземных вод как теоретическая основа эволюции системы вода-порода» (НШ-3561.2008.5).

Описание выполненных работ:

Продолжена разработка теоретических основ учения о геологической эволюции и самоорганизации системы вода-порода.

Рассмотрены ведущие механизмы, определяющие непрерывную геологически длительную эволюцию системы вода-порода, результатом которой является формирование разнообразных гидрогенно-минеральных комплексов. Показано, что изучаемая система является стационарной, равновесно-неравновесной, которая повсеместно развивается в области, далекой от равновесия, и приводит к формированию принципиально новых минеральных образований и геохимических типов воды.

Систематизированы данные по 52 химическим элементам в подземных водах основных ландшафтных зон земного шара; приведены средние (кларковые) содержания этих элементов для вод зоны гипергенеза, которые сопоставлены с данными по речным и морским водам. Рассмотрен вопрос о равновесно-неравновесном ха-

рактуре системы вода-горные породы, выявлена специфичность взаимодействия воды с алюмосиликатами, которое развивается при участии органического вещества и газов.

Завершено исследование влияния физико-химических параметров на формирование химического состава природных вод (бикарбонатных, сульфатных и хлоридных в зонах активного водообмена, хлоридных в осадочных породах, хлоридных и углекислых в кристаллических породах, инверсионных в глубоких горизонтах седиментационных структур). Показано, что в природных гидрогеологических ситуациях критическими являются следующие параметры (граничным условиям): отношения между массами взаимодействующих пород и вод ( $R/W$ ), открытость (закрытость) гидрогеохимических систем по  $CO_2$  и  $O_2$ , химический и минеральный состав пород, температура-давление.