

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРАММАМ ПРЕЗИДИУМА РАН И ОТДЕЛЕНИЯ ПО НАУКАМ О ЗЕМЛЕ РАН

В 2004 г. в Институте выполнялись исследования по 10 программам фундаментальных исследований Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН.

В рамках исследований по программе № 14 Президиума РАН «**Мировой океан: геология, геодинамика, физика, биология**» д. г.-м. н. А.А. Ефимовым проведены исследования по проекту «**Третий геофизический слой современных и древних океанов: источник первичного вещества, механизм формирования, аналоги в наземных офиолитовых комплексах**» (госконтракт 10021-251/П-14/197-353/27054-345).

Сформулированы три главных пункта, обоснование которых будет означать возможность мировой дискуссии по проблеме третьего геофизического слоя современных и древних океанов: 1) Обобщение данных морской геофизики по структуре современных срединно-океанических хребтов. 2) Критический пересмотр представлений о зоне сочленения габбро с дайковым комплексом в древних океанических разрезах. 3) Критический пересмотр представлений о природе расслоенных габбро-ультрамафитовых серий.

По пункту 1: обобщены литературные данные, указывающие на отсутствие в СОХ современных магматических камер.

Для выполнения пункта 2 необходимо изучение недоступной для прямого наблюдения в океанах зоны взаимодействия твердопластичной мантии и хрупкой базальтовой океанической коры. Новый фактический материал по этому пункту мог быть получен только на ключевом объекте – Оманском офиолитовом комплексе. К сожалению, финансирование экспедиционных исследований пока невозможно.

По пункту 3: получено много принципиально новых данных, имеющих важнейшее зна-

чение для трактовки 3-го слоя океанов. Показано, что в расслоенных габбро-ультрамафитовых сериях записана сложная история пластического течения, химического обмена и метаморфических реакций. Распределение петрогенных и следовых элементов не подчиняется предсказаниям магматической модели. В частности, линейный закон распределения характерного для габбро элемента – стронция – означает, что все множество слоев составляло эквипотенциальную систему и образовалось одновременно, но не последовательно, как это следует из традиционной трактовки. На это же указывают бесспорные признаки высокотемпературного пластического течения. Микрозондовые исследования не подтверждают наличие двух поколений кристаллов – кумулуса и интеркумулуса. Явления метаморфической дифференциации связаны с градиентами давления, возникающими при разрыве твердой матрицы и дифференциальном скольжении слоев. Экспериментальные данные запрещают ортомагматический генезис троктолитов, обычных для расслоенных серий.

Вместе с данными морской геофизики все эти факты резко противоречат представлениям о кумулятивной природе 3-го геофизического слоя современных и древних океанов. Разрез литосферы зоны спрединга состоит из двух структурно единых мантийных слоев – перидотитового и габбрового, связанных химической переходной зоной, и вулканического слоя (дайки, лавы), отделенного от двух первых поверхностью конвекционной ячейки зоны спрединга, являющейся границей между хрупкой и пластичной реологическими зонами океанической литосферы.

Публикации по проекту:

Ефимов А.А. Александр Николаевич Заварицкий и русская петрография // Наука Урала. 2004. № 6, 7.

Ефимов А.А. История древней глубинной зоны, записанная в метаморфических комплексах Главного габбро-ультрамафитового пояса Урала // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Мат. междунар. науч. конф. (X Чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 103-108.

Ефимов А.А., Новенко П.В. О результатах гранулометрического изучения дунит-пироксенит-тылаитовой серии Денежкина Камня (Северный Урал) // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Мат. междунар. науч. конф. (X Чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 208-210.

Ефимов А.А., Потапова Т.А. Кальцифиры в высокобарических метагаббро Хордьюсского комплекса (Полярный Урал) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 154-158.

Ефимов А.А., Новенко П.В. Связь микроструктурной и химической эволюции в породах горячего меланжа Денежкина Камня (Платиноносный пояс Урала) (в печати).

Пьянков В.А., Мартышко П.С., Начапкин Н.И. и др. Объемная гравимагнитная модель североуральского сегмента Платиноносного пояса // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Мат. междунар. науч. конф. (X Чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 57-60. (в печати)

В рамках Программы ОНЗ РАН № 5 «**Глубинное строение Земли, геодинамика, магматизм и взаимодействие геосфер**» выполнены исследования по трем субпроектам.

Субпроект 1. Учеными Института геологии и геохимии УрО РАН (д. г.-м. н. К.С. Иванов, академик РАН В.А. Коротеев, Ю.В. Ерохин, Ю.Л. Ронкин и др.) в содружестве с исследователями Института геофизики УрО РАН и Уральского государственного горного университета проводились комплексные геолого-геофизические исследования строения зоны сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна по субпроекту «**Изучение геологического строения и истории тектонического развития области сочленения Урала и Западно-Сибирского бассейна**». В частности, проведено детальное петрографическое, минералогическое и геохимическое изучение геологических комплексов, вскрытых новыми глубокими (до 4,5 км) скважинами.

Нижний структурный этаж территории –

это Урал, представленный Тагильской мегазоной, где вулканиты образуют единый формационный ряд развивающейся островодужной системы. Произведено изучение стратиграфии и вулканизма ряда вулканогенных и вулканогенно-осадочных формаций.

Средним этажом территории является триасовый Северо-Сосьвинский грабен.

Верхним структурным этажом являются юрские и более молодые, не дислоцированные осадки Западно-Сибирского мегабассейна.

Разработана стратиграфия триасовых отложений района, выделены две новых свиты – тапсуйская и нерохская. Показано, что грабен выполнен тремя формациями: базальтовой (нижняя тапсуйская подсвита) базальт-терригенной (верхняя тапсуйская подсвита), и верхней терригенной (нерохская свита). Позднетриасовый возраст нерохской свиты установлен по споро-пыльцевым комплексам. Ранне средне-триасовый возраст тапсуйской свиты установлен К-Аг, а также изохронными Rb-Sr, Sm-Nd методами (последние – впервые для Западной Сибири), а также по спорам и пыльце.

Базальты нижней формации отличаются повышенной магнезиальностью (до 8-10 %, против 4-6 % в базальт-терригенной формации). Соответственно содержание нормативного оливина в базальтах нижней формации достигает 20-30 %, а в базальт-терригенной формации не превышает 20 %. Вулканиты попадают в поля толеитовых составов, при этом достаточно четко проявляется тренд от магнезиальных к железистым породам при достаточно ровном содержании щелочей. В верхах разреза содержание суммарного железа (до 14%) значительно превышает количество магния (до 8 %), что позволяет относить эти вулканиты к ферробазальтам. Геохимические исследования (метод ICP-MS) позволили также установить два типа базальтов. Первый тип из базальт-терригенной формации характеризуется крутым распределением редких земель (La/Yb 8-9), а также отрицательными аномалиями по стронцию, гафнию, торию, урану, ниобию и титану. Второй тип из нижней формации базальтов имеет более пологую кривую (La/Yb 4-5) и отрицательные аномалии по гафнию и ниобию (только при более низких концентрациях), а также положительную аномалию по стронцию.

В целом проведенные исследования приводят к выводу, что базальты разных скважин Северо-Сосьвинского грабена формировались в

одном крупном магматическом очаге, откуда порционно изливались на поверхность. Можно предполагать, что это был субмеридионально вытянутый мантийный плюм, поднявшийся на более высокие уровни в ходе рифтогенеза и ограниченного растяжения в раннем-среднем триасе. В процессе эволюции железистость расплавов нарастала, магматический очаг постепенно остывал и отмирал.

Оценены глубины магмогенерации базальтов Северо-Сосьвинского грабена: для свежих базальтов низов разреза получены величины 24-25 км, для базальтов верхов разреза 20-22 км. Возможно, наблюдаемое уменьшение расчетной глубины магмогенерации в процессе эволюции магматизма связано с тем, что магматический очаг (плюм) постепенно перемещался вверх. Все вулканы Северо-Сосьвинского грабена образовались в условиях континентального рифтогенеза, при этом толщина земной коры в этом районе составляла около 20 км. Они образуют единую магматическую серию, что указывает на их генерацию из единого долгоживущего очага. Это подтверждается эволюцией пород от пикробазальтов к андезитобазальтам и нарастанием общей железистости в системе.

Основные публикации:

Иванов К.С., Коротеев В.А., Федоров Ю.Н., Кошевой В.Н., Кормильцев В.В., Печеркин М.Ф., Ерохин Ю.В., Погромская О.Э., Ронкин Ю.Л., Калеганов Б.А., Сурина О.В., Князева И.В. Строение зоны сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Литосфера. 2004. № 2. С. 108-124.

Иванов К.С., Иванов С.Н. Реология земной коры и геодинамическая модель формирования пегматитов // Уральская минералогическая школа-2003, "Под знаком гранитных пегматитов". Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. С. 26-37.

Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Федоров Ю.Н., Погромская О.Э. Вещественный состав триасовых терригенных пород Северо-Сосьвинского грабена // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 48-52.

Коротеев В.А., Иванов К.С., Русин А.И., Богданова Е.И. Реологическая модель С.Н. Иванова. История открытия: прошлое, настоящее, будущее // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 359-365.

Субпроект 2. «Реологическая зональность земной коры по данным сверхглубо-

кого бурения (скважины СГ-3 – Кольская, КТБ – немецкая и Гравберг – шведская) и природа зон хрупкопластичных деформаций Урала» (Руководитель – к. г.-м. н. А.И. Русин, основные исполнители: д. г.-м. н. К.С. Иванов, д. г.-м. н. Е.И. Богданова).

Планом работ на 2004 г. предусматривалась подготовка к изданию монографии «Реологическая модель строения земной коры с барьерной зоной между верхней и средней ее частью в свете данных сверхглубокого бурения». Эта книга, задуманная С.Н. Ивановым, должна была обобщить результаты его многолетних исследований, начало которых было положено еще в 60-х годах прошлого столетия. Над ее написанием он усиленно работал все последние годы. Был составлен общий план и написана серия очерков, содержащая основной объем текста второй части книги. Теоретические обоснования реологической модели вертикальной гидродинамической зональности консолидированной земной коры были опубликованы С.Н. Ивановым в виде журнальных статей и отдельных глав в монографических работах. Эти материалы должны были быть объединены в первую часть работы. Однако реализовать свои планы Святослав Несторович не успел и завершение работы по подготовке рукописи к изданию было возложено на остальных участников проекта.

За отчетный период были собраны все заметки и рукописи из архива С.Н. Иванова, касающиеся его трактовок результатов бурения сверхглубоких скважин СГ-3 (Кольской), КТБ (немецкой) и Гравберг (Шведской). Кроме того, был просмотрен ряд отчетов по скважине КТБ, с которыми С.Н. Иванов не успел ознакомиться. С учетом этих наработок были окончательно отредактированы очерки по сверхглубокому бурению, представляющие собой вторую часть книги. Подготовлены к печати графические иллюстрации. Собраны воедино материалы, касающиеся теоретических обоснований модели С.Н. Иванова, которые составляют первую часть книги. Значительного времени потребовал перевод на английский язык некоторых разделов будущей книги, которая по замыслу автора должна быть доступной для зарубежных исследователей. Основной объем всех этих работ был выполнен Е.И. Богдановой. Было решено включить в книгу раздел по Уральской сверхглубокой скважине (СГ-4), автором которого является К.С. Иванов.

В целом работу по подготовке к изданию рукописи книги «Реологическая модель строения земной коры с барьерной зоной между верхней и средней ее частью в свете данных сверхглубокого бурения» можно считать завершённой.

Субпроект 3. «Корреляция магматизма Урала и Центрально-Азиатского складчатого пояса в ходе эволюции континент–океан–континент» (руководитель – д. г.-м. н. Г.Б. Ферштатер).

Основные результаты выполнения проекта в 2004 году заключаются в том, что с учетом новых данных по геохронологии цирконов из мафит-ультрамафитовых комплексов Урала разработана новая схема эволюции магматизма Среднего и Южного Урала, которая будет положена в основу всех дальнейших исследований Уральского магматизма. На основе новой возрастной схемы эволюции магматизма ставится задача понять, что означает одновозрастность различных по составу или однотипных магматических комплексов в разных зонах Уральского орогена, в чем смысл корреляции магматических комплексов в рамках концепции тектоники литосферных плит, когда рядом исследователей Урал представляется «коллажем террейнов» с разной геологической историей и разным глубинным строением.

Установлена двухэтапность формирования офиолитовых комплексов и Платиноносного пояса Урала. В развитии уральских офиолитов выделены: 1) додевонский этап (древнее 420 млн лет), с которым связано формирование основных элементов океанической коры – гарцбургитовых и дунитовых реститов, габбро, параллельных диабазовых даек и пиллоулав, и 2) раннедевонский этап (405-390 млн лет) – верлит-габбро (\pm плагиогранитоиды) расслоенные интрузивы и преимущественно базитовые дайковые поля. Этапы магматизма разделены обдукцией океанических комплексов на структуры континентальной коры. С обдукцией связан метаморфизм и мигматизация базитовой части океанической коры (410 млн лет). Эволюция Платиноносного пояса включает в себя: 1) силурийский этап (420-430 млн лет) – габброиды и ассоциированные с ними клинопироксениты и верлиты, локализованные в восточной и центральной части пояса, и 2) позднедевонско-раннекаменноугольный этап

(360-330 млн лет) – дуниты, клинопироксениты и тылаиты (в том числе нефелинсодержащие) в западной части пояса.

Офиолиты и платиноносные комплексы надстраиваются силурийскими габбро-плагиогранитными сериями, которые в северо-западном мегаблоке представлены интрузивами, комагматичными контрастным вулканитам, продуктивным на медно-колчеданное оруденение, а в юго-восточном – крупным Рефтинским массивом, возраст магматического циркона в котором определен в лаборатории Университета Гранады (Испания) профессорами Ф. Беа и П. Монтеро как лудловский (422 ± 19 млн лет). В ходе магматической эволюции габбро-плагиогранитные серии сменяются габбро-гранитными и габбро-сиенитовыми, продуктивными на скарново-магнетитовое оруденение.

Девонское развитие островодужных зон северо-западного и юго-восточного мегаблоков идет по-разному. В северо-западном мегаблоке в восточной части Тагильской вулканогенной зоны формируются К-На габбро-гранитоидные серии, связанные, по мнению ряда исследователей, с задуговым рифтообразованием. В Магнитогорской зоне юго-западного мегаблока в среднем и позднем девоне развитие магматизма идет по тому же плану, по которому эволюционировал силурийский магматизм в Тагильской зоне, на что неоднократно обращал внимание Д.С. Штейнберг.

Массовое гранитообразование на Урале связано с коллизией. Коллизионные граниты с возрастом около 290 млн лет сконцентрированы в континентальной зоне юго-восточного мегаблока. Они имеют низкое первичное отношение $^{87}\text{SR}/^{86}\text{Sr}$ (0.704-0.7045), свидетельствующее о преобладании в их магматическом источнике новобразованной коры, возникшей в ходе развития Уральского орогена. В северо-западном мегаблоке возраст коллизионных гранитов составляет 260-245 млн лет. Судя по изотопным данным, в их источнике присутствует и древняя кора из фундамента, и новообразованная.

В рамках исследований по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 7 «Изотопная геология: геохронология и источники вещества» (госконтракт 10002-251/ОНЗ-06/183-353/040604-460) в 2004 г. проведены работы по проекту «Геохронология и длительность геологических процессов, изотоп-

ные метки источников вещества» (ответственные исполнители чл.-корр. РАН Б.И. Чувашов, д. г.-м. н. А.В. Маслов и д. г.-м. н. А.А. Краснобаев).

В рамках этих работ проведен отбор и предварительная обработка представительных проб пеплов из средне-верхнекаменноугольных разрезов Урала; выполнен анализ РЗЭ-систематики и изотопного состава Sr, Nd и Pb в породах троицкого и шпалорезовского комплексов, отложениях серебрянской и сылвицкой серий; проведены детальное изучение минералогии цирконов Мариновского комплекса и аналитические исследования, выполнена интерпретация полученных данных и создана геолого-геодинамическая модель формирования названного комплекса.

В 2004 г. отобраны пробы туфов из отложений башкирского и московского ярусов среднего карбона, верхнего карбона, всех ярусов нижнего отдела пермской системы. Материал прошел первоначальную обработку для выделения цирконов и в настоящее время находится на исследовании в Международном институте по изучению пермской системы (США). На состоявшемся в августе 2004 г. Международном геологическом конгрессе был проведен специальный симпозиум «Глобальная корреляция ярусов нижнего отдела пермской системы», на котором представлен доклад от группы исследователей России и США «Точная радиометрическая калибровка позднепалеозойской временной шкалы: Южный Урала, Россия» [Davudov et al., 2004] с уточнением возраста каменноугольно-пермской границы и с обсуждением перспектив дальнейших работ. Возраст нижней границы пермской системы был несколько удревлен, вместо цифры 299 млн лет, доложенной в Утрехте [Ramezani et al., 2003], предложено значение 300 ± 3 млн лет [Davudov et al., 2004]. Во время работы конгресса состоялось также заседание Международной подкомиссии по стратиграфии пермской системы, одним из итогов которого было принятие решения ускорить выполнение исследований по обоснованию изотопных возрастов ярусов нижнего отдела пермской системы. В настоящее время мы имеем следующие радиометрически датированные биостратиграфические уровни в уральских разрезах: 1) нижняя граница пермской системы (ассельского яруса) в разрезе «Красноусольский» на западном склоне Южного Урала оце-

нивается в 300 ± 3 млн лет; 2) нижняя граница артинского яруса определена в 283 ± 2.5 млн лет. Кроме того, имеются несколько цифр в том же разрезе «Красноусольский», которые не имеют достаточной близости с биостратиграфическими границами, но хорошо укладываются в общую последовательность. Собранный из пепловых прослоев в других уральских разрезах материал в перспективе может обеспечить изотопную датировку сакмарского и кунгурского ярусов, а также некоторых биостратиграфических горизонтов внутри всех ярусов нижнего отдела пермской системы.

Второе направление работ – изотопно-геохронологические исследования вендских осадочных последовательностей Среднего Урала и ассоциированных с ними магматических комплексов. В рамках данного направления систематизированы и проанализированы данные о содержаниях и характере распределения в глинистых сланцах и аргиллитах типового разреза рифея Башкирского мегантиклинория РЗЭ, Sr, Th, Sc и вариациях ряда их индикаторных отношений, что позволило судить о составе размывавшейся верхней коры. Полученные данные позволили реконструировать состав и эволюцию комплексов пород, являвшихся источниками тонкой алюмосиликокластики для рифейских бассейнов осадконакопления, существовавших в области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала. Установлено, что в раннем рифее в пределах Средневожского мегаблока платформы размыв подверглись преимущественно кислые магматические образования зрелой континентальной коры. В среднем рифее область сноса была, по всей видимости, более гетерогенной: наряду с кислыми ассоциациями в размыв были вовлечены также породы основного и ультраосновного (?) состава, однако роль последних на палеоводосборах была, скорее всего, невелика. Высказано предположение, что это было связано не с появлением на палеоводосборах новых источников, а обусловлено переориентацией путей транспортировки тонкой алюмосиликокластики. Нарастание к середине среднего рифея (авзянское время, ~ 1220-1200 млн лет) в глинистых сланцах и аргиллитах значений K_2O/Al_2O_3 , LREE/HREE, La_N/Yb_N и суммы РЗЭ позволяет считать, что с этого момента времени и почти вплоть до конца каратавия доминирующая роль на палеоводосборах вновь принадлежала кислым магматическим и метаморфическим ассоциациям.

Выполнен анализ вариаций отношений Eu/Eu^* , $LREE/HREE$, Th/Sc и La/Sc в тонкозернистых осадочных породах типовых разрезов позднего докембрия Северной Евразии – Башкирском мегантиклинории и Учуро-Майском регионе.

Проведено изучение спектров РЗЭ в аргиллитах серебрянской и сылвицкой серий венда Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, показавшее, что они имеют облик, типичный для большинства постархейских тонкозернистых терригенных образований. Максимальными значениями $LREE/HREE$ и La_N/Yb_N характерными для пород, образованных за счет размыва верхней коры с доминированием гранитоидов, обладают аргиллиты нижней части серебрянской серии. Вверх по разрезу значения указанных параметров снижаются и не достигают величин, типичных для верхней континентальной коры (УСС). Это указывает на появление в областях сноса в середине серебрянского времени основных и ультраосновных магматических ассоциаций. Значительное снижение значений модельного возраста Nd в аргиллитах бутонско-усть-сылвицкого интервала по сравнению с танинско-койвинскими отложениями также указывает на «добавку» в источниках сноса ювенильного мантийного материала примерно в середине серебрянского времени – величина $T_{Nd}(DM)$ в породах нижней части серебрянской серии составляет ~ 2.0 млрд лет, тогда как на более высоких уровнях разреза доминируют породы с $T_{Nd}(DM) \cong 1.77-1.73$ млрд лет.

Обобщение данных по геохимии допалеозойских магматических комплексов западного склона Среднего Урала позволило разделить их на две группы – первую, включающую пикрит-щелочнобазальтово-трахитовые вулканические и соответствующие им по составу гипабиссальные комплексы (дворецкий, шпалорезовский, кусьинский и щегровитский), и вторую, в состав которой входят породы субщелочных и нормально-щелочных серий (благодатский, сарановский, троицкий, вильвинский, колпаковский, журавликский и европейский комплексы). Показано, что породы, объединяемые в первую группу, имеют содержания РЗЭ, сближающие их с щелочными базальтоидами современных континентальных рифтов, для них характерно также присутствие ксенолитов высокобарических минералов – граната, хромдиопсида, пикроильменита, хромшпинелидов и мелких обломков алмаза. Вторая группа включает

ультрабазит-габбровые, пикрит-базальтовые и гранитоидные серии, составы которых сходны с производными континентальных толеитовых и палингенных (?) коровых магм. Эти породы содержат гораздо меньше РЗЭ по сравнению с магматитами первой группы, включения высокобарических минералов в них отсутствуют. Пространственно щелочнобазальтовые комплексы локализованы в междуречье Усьвы и Койвы в западной части Кваркушко-Каменногорского мегантиклинория, а менее глубинные магматиты второй группы окаймляют этот район с севера и востока. Возможно, такое распределение магматических комплексов в исследуемом районе свидетельствует о существовании в неопротерозойское время блоков литосферы различного состава и мощности.

Выполнено U-Pb датирование индивидуальных кристаллов циркона, выделенных из нефелиновых сиенитов Бердяушского массива. Аппроксимация полученных фигуративных точек дискордией позволяет определить верхнее пересечение с конкордией, соответствующее возрасту 1368.4 ± 6.2 млн лет, что значительно древнее опубликованных ранее значений 1086 и 1302 млн лет (по отношениям $^{207}Pb/^{206}Pb$) [Краснобаев, 1986]. Учитывая закономерности поведения элементов примесей, данный возраст интерпретируется нами как время, соответствующее внутриплитному магматизму, приведшему к формированию анорогенных гранитов рапакиви и ассоциирующих пород Бердяушского плутона.

Третье направление работ по госконтракту – исследование Мариновского метаморфического комплекса, расположенного на юге восточного склона Южного Урала. Древнейшие породы комплекса объединены в мариновскую свиту, в разрезе которой выделяются амфиболитовая, гнейсовая и кварцитовая толщи. Уровень метаморфизма пород отвечает амфиболитовой фации, неоднократно проявлялись процессы мигматизации и гранитизации. Вопрос о возрасте Мариновского комплекса наиболее дискуссионный: по геологическим данным допускается и палеозойский, и докембрийский, а геохронологическая информация ограничивается интервалом 330-480 млн лет (K-Ar данные). Для решения данной проблемы отобрано 5 проб (15-30 кг), наиболее типичных для данного комплекса гнейсов (мелкозернистых однородных биотитовых, а также содержащих гранат, графит) и их в различной степени мигматизирован-

ных разностей. Из протолочек ($< 0,25$ мм) выделены концентраты цирконов, которые подверглись детальному минералогическому анализу. Среди цирконов преобладают кристаллы гранулитового и амфиболитового типов, сопоставимые с цирконами гранитоидов, и их диафторированные (раздробленные, метасоматически изменённые) разности. Вручную из 2 проб выделено по 2 фракции («а» $> 0,1$ мм, «б» $< 0,1$ мм), оптимально соответствующие первичным (минимально изменённым) разностям.

Для проведения геохронологических исследований использованы классические методы подготовки, анализа и обработки проб [Krogh, 1973; Ludwig, 1991; Stacey, Kramers, 1975], масс-спектрометр МИ 1320, трассер $^{235}\text{U}+^{208}\text{Pb}$, стандарт NBS-981. Точность определения изотопных отношений составила $\pm 0,1\%$, содержания U и Pb $\pm 1\%$, холостой опыт по Pb – не хуже 5 нг.

Содержания U в изученных фракциях меняются от 348 мкг/г до 570 мкг/г, причём более крупные фракции объединены этим элементом. Для разновидностей обеих проб нарушения возрастных систем оказались пропорциональными содержаниям U. Верхнее пересечение дискордии (1613 ± 30 млн лет) отвечает возрасту Мариновского комплекса, сформировавшемуся в условиях амфиболитового метаморфизма, обусловившего возрастную гомогенизацию цирконов (новообразованных и предшествующих). Нижнее пересечение дискордии (314 ± 10 млн лет) отвечает времени диафтореза, связанного с процессами гранитообразования на Урале. Для пегматитов, распространённых среди метаморфитов комплекса, K-Ar возраст по слюдам составляет 310-320 млн лет.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы. Мариновский комплекс окружен вулканогенно-осадочными породами, датированными интервалом O_1-C_1 . Исходя из современных геодинамических моделей, Мариновский комплекс рассматривается как ксеногенный террейн (тектонический блок) среди собственно уральских палеозойских формаций. Расположение Мариновского комплекса восточнее Главного уральского разлома препятствует отождествлению его с фрагментами восточной окраины Русской платформы. Предполагается, что метаморфические породы комплекса представляют отторженцы от Казахстанского палеоконтинента, перемещенные в зону Уральского складчатого пояса на ранних стадиях эволюции

Уральского палеоокеана. Будучи ограниченными тектоническими нарушениями, они, как жёсткий реликт континентальной коры (Мариновский гнейсовый комплекс), не испытали эндогенного воздействия эволюционирующего складчатого пояса и не потеряли «память» о ранних этапах существования. Другими словами, они не достигли «состояния субстрата», характерного для многочисленных гранитных массивов Южного Урала. По результатам работ подготовлена к печати статья. Для завершения исследований будут использованы также ICP-MS анализы гнейсов (пробы в настоящее время находятся в работе).

Кроме перечисленного, в рамках работ по Программе № 7 ОНЗ РАН выполнены следующие исследования.

Установлен протерозойский возраст (2004 ± 10 млн лет – доплагиогранитного метаморфизма и 1890 ± 20 млн лет – плагиогранитного) Александровского гнейсового комплекса, который сопоставляется с верхними частями Тараташского комплекса.

Впервые установлен возраст плагиогнейсов Мурзинского комплекса (аналог Мариновского комплекса) – 1639 ± 42 млн лет, что решает одну из важных дискуссионных проблем геологии данного региона. Эта датировка получила подтверждение методом LA ICP-MS: возраст цирконов комплекса попадает в интервал 1600-1800 млн лет. Впервые для Урала двумя независимыми методами подтверждена и полихронность цирконов, и наличие докембрийской субстанции на Восточном склоне Урала.

Впервые установлена полихронность цирконов из габброидов (400-1604 млн лет) и устойчивый возраст (422 ± 11 млн лет) продуктов их водного анатексиса для Черноисточинского массива (Средний Урал). Датированы цирконы и из других массивов базитов (Кыштымского, Кемпирсайского) и ассоциированных с ними кислых пород (Рефтинского, Тагильского), входящих в состав офиолитов и Платиноносного пояса Урала.

Проведены исследования по установлению возраста древнейших пород Урала – дупероксеновых кристаллических сланцев Тараташского комплекса (предварительные данные – 2900-2930 млн лет) и выполнено определение геохимической основы процессов плагио- и нормальной гранитизации для метаморфических пород Ильменских гор. Оба типа ведут к образованию сходных по петрографическим особенностям и составу гранитов.

Публикации по проекту:

Чувашов Б.И. Сравнительная характеристика позднепалеозойского (варисийского) вулканизма Урала и вулканической активности в варисийских подвижных поясах Западной и Центральной Европы // Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 938-945.

Чувашов Б.И. Позднепалеозойские магматические породы на восточном склоне Среднего Урала // Путеводитель геологических экскурсий: Материалы научной конференции «IX чтения А.Н. Заварицкого». Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2003. С. 3-63.

Davydov V.I., Ramezani J., Chernykh V.V. et al. Precise radiometric calibration of the Late Paleozoic Time Scale – New Opportunity in development: Southern Urals, Russia // 32 International Geological Congress. Florence, Italia, 2004.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З. Состав и эволюция источников сноса рифейских бассейнов осадконакопления области сочленения Русской платформы и Урала: изотопные, петро- и геохимические ограничения // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Мат-лы XXXVII тект. совещ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. С. 10-12.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. РЗЭ, Сг, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера. 2004. № 1. С. 70-112.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Тонкозернистые алюмосилико-кластические образования стратотипического разреза среднего рифея на Южном Урале: особенности формирования, состав и эволюция источников сноса // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 4. С. 414-441.

Краснобаев А.А., Чередниченко Н.В., Давыдов В.А. Цирконология Александровского полиметаморфического комплекса: новые данные // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 247-252.

Краснобаев А.А., Чередниченко Н.В. Цирконовая геохронология Александровского метаморфического комплекса (Южный Урал) // Докл. АН. 2004. Т. 396. № 4. С. 519-523.

Краснобаев А.А., Беа Ф., Ферштатер Г.Б., Монтеро П., Чередниченко Н.В. Генезис и возраст цирконов из плагиогнейсов Мурзинского метаморфического комплекса // Геохимия и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Материалы междунар. научн. конференции. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 345-350.

Краснобаев А.А., Беа Ф., Ферштатер Г.Б., Монтеро П. Возраст, морфология, геохимические

особенности цирконов из базитов Урала (офиолиты и платиноносный пояс) и ассоциированных пород // Материалы научной конференции «X чтения А.Н. Заварицкого». Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 211-216.

Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Краснобаев А.А. Эволюция палеозойского интрузивного магматизма Урала // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 80-84.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аржиллитах венда западного склона Среднего Урала // Докл. АН. В печати.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Систематика редкоземельных элементов, Th, Hf, Sc, Co, Sr и Ni в глинистых породах серебрянской и сывицкой серий венда западного склона Среднего Урала – инструмент мониторинга состава источников сноса // Геохимия. В печати.

Краснобаев А.А., Чередниченко Н.В. Цирконовый архей Урала // Докл. АН. В печати.

Краснобаев А.А., Медведева Е.В. Геохимическая основа процессов гранитизации (Ильменские горы) // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. В печати.

По Программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 25 «**Происхождение и эволюция биосферы**» исследования выполнялись по проекту «**Проблема эволюции жизни и биоминералы; коэволюция абиотических и биотических событий в венде**» (госконтракт 10002-251/П-25/155-353/200404-083) (ответственные исполнители – чл.-корр. РАН С.Л. Вотяков, д. г.-м. н. А.В. Маслов).

В соответствии с исходной заявкой основными задачами работы в области анализа геобиологических систем предлагалось провести экспериментальные спектроскопические исследования (методами ЭПР, ИК-спектроскопии, импульсной КЛ) и компьютерное квантово-химическое моделирование электронного строения, структурных свойств, параметров межатомного взаимодействия точечных дефектов с атомами матрицы и между собой для биоминералов и органо-минеральных агрегатов, представляющих различные стадии гео-биологической эволюции – разных возрастных геологических интервалов и происхождения.

В области коэволюции абиотических и биотических событий венда должны

были бы проведены реконструкции 1) основных параметров среды осадконакопления отложений валдайской, сылвицкой и ашинской серий; 2) состава питающих провинций; 3) структуры сообщества эдиакарских организмов; 4) прослеживание характера изменения обстановок осадконакопления и структуры биоты; 5) корреляция абиотических и биотических событий в масштабе бассейна.

Наиболее важными из полученных результатов являются следующие.

На основании количественных характеристик дефектности структуры кальцитов и доломитов разного состава, генезиса и возраста (от рифейских до современных образований) био-, фито- и хемогенных, предложена схема их типизации. В качестве зонда дефектности использованы ЭПР и люминесцентные свойства типичных примесных дефектов – ионов Mn^{2+} . Выполнен анализ большой (до 1000) статистической выборки образцов. Создана база данных по спектрам ЭПР проб, их термо- и рентгенолюминесценции (в интервале 77-400 К). Показано, что параметры ЭПР и люминесцентных аналитических линий ионов Mn^{2+} (их ширина, интенсивность, динамика изменения этих параметров при изменении температуры наблюдения) существенно изменяются по образцам разного генезиса и зависят от состава и степени совершенства структуры минерала (его микропримесного состава и отклонения от стехиометрии). Предложенная схема типизации карбонатов использована для анализа строматолитсодержащих известняков и доломитов, а также межстроматолитовых прослоев всех основных свит серий рифея Южного Урала и частично рифейских карбонатов других регионов России и мира. Для сравнения исследованы также образцы из верхнепалеозойских отложений Среднего и Приполярного Урала. На основе сопоставления палеонтологических и спектроскопических данных показано, что параметры дефектности карбонатов в палеозойских отложениях, содержащих фауну, в первую очередь определяются условиями опреснения-засолонения бассейна осадконакопления. На этой основе проведены палеогеографические реконструкции отложений рифея Южного Урала. Установлены периодические вариации степени дефектности материала из различных микрослоев строматолитов двух видов цикличности – коротко- и длиннопериодических. Проведено сравнение свойств материала столбика и межстолбикового пространства.

С целью кристаллохимической интерпретации экспериментальных спектроскопических данных для двух типов кальцитов – биогенного и низкопримесного хемогенного – проведено компьютерное квантово-химическое моделирование их электронного строения, степени ионности-ковалентности связей Ca-O и C-O, а также структурных и электронных параметров примесных дефектов – ионов магния, закисного железа и марганца. Обоснованы и использованы при расчетах модельные структурные кластеры двух типов: 55-атомный $[Ca_{11}Ca_6C_6O_{42}]^{46-}$ (с центральным атомом кальция Ca_{11} в октаэдрическом кислородном окружении и периферийными катионами Ca и C, формирующими вторую координационную сферу Ca_{11}) и 64-атомный $[C_{11}C_{12}Ca_6O_{45}]^{26-}$ (с центральным атомом углерода C_{11} в тройном кислородном окружении и периферийными катионами). Для изучения кальцитов с изоморфными замещениями выполнены расчеты модельных кластеров, у которых в позиции центрального катиона Ca_{11} расположены ионы-примеси $Me^{2+} = Mn, Fe, Mg$. Для определения равновесной структуры ближнего порядка иона-примеси Me_{11} в кластерах $[Me_{11}C_{12}Ca_6O_{45}]^{26-}$ использовалась программа GAMESS, реализующая процедуру минимизации полной энергии кластеров при вариациях положения анионов кислорода из первой координационной сферы Me_{11} ; расчеты выполнялись на базе многопроцессорной вычислительной системы МВС-1000 Института математики и механики УрО РАН. Расчеты электронного строения выполнялись с использованием метода X_{α} -дискретного варьирования. Пространственным интегрированием электронной плотности кластеров найдены эффективные заряды атомов в кальците.

Показана высокая степень ковалентности химической связи внутри CO_3 -групп.

Проанализированы спектры парциальных плотностей состояний атомов кислорода O ($^{16}C, ^{16}Ca, ^{16}Ca$), трехкоординированных в структуре кальцита, и выявлены изменения локальных плотностей состояний, связанные с изоморфными замещениями катионов в позициях Ca_{11} и C. Определено модифицирующее влияние примесей на состояние химической связи (степени ионности-ковалентности) CO_3 -групп. Выполнено сопоставление расчетных значений эффективного заряда катионов и аниона кислорода, степени ионности-ковалентности и длины связи Me-O в октаэдрах $Me-O_6$, а также свя-

зи С-О в CO_3 -группах в био- и низкопримесном хомогенном кальците. Для нестехиометрических кальций-дефицитных био- и хомогенных кальцитов проведено квантово-химическое моделирование равновесной структуры ближнего порядка вакансий кальция; полученные расчетные структурные данные для 141-атомных фрагментов минерала $[\text{V}_{\text{Ca}}\text{Ca}_{12}\text{C}_{14}\text{O}_{66}\text{H}_{48}]^{2-}$ сопоставлены с экспериментальными результатами по длинам связи Ме-О в нестехиометрических дефектных кальцитах.

Установлено, что в разрезе верхнего венда Беломорско-Кулойского плато наблюдается закономерное изменение петрохимического состава аргиллитов и песчаников, коррелируемое с этапами осадконакопления. Эта закономерность отвечает смене относительно незрелой тонкой алюмосиликокластики, формировавшейся в условиях аридного или семиаридного климата, более зрелым в петрохимическом отношении материалом. Высказано предположение, что в поздневендское время северо-восточная часть Восточно-Европейской платформы располагалась в относительно низких широтах и находилась под влиянием гумидного климата. Это способствовало широкому развитию здесь продельтовых и флювиально-морских обстановок, к которым приурочены комплексы ископаемых остатков эдиакарского типа.

Показано, что комплекс остатков эдиакарского типа в отложениях чернокаменной свиты по разнообразию таксонов и многочисленности сопоставим с ископаемой беломорской биотой. В отложениях сыльвицкой серии установлена четко выраженная зависимость таксонометрического состава ориктоценозов от фаций, выявленная ранее в разрезах венда юго-восточного Беломорья. Установлено, что однотипность строения и сходные фациальные характеристики верхневендских осадочных последовательностей на обширной территории от юго-восточного Беломорья до западного склона Среднего Урала свидетельствуют о формировании отложений в едином крупном бассейне. Сходство комплексов остатков позволяет предполагать существование в позднем венде устойчивых биогеографических связей между двумя названными выше регионами и наличие единого биогеографического ареала расселения беломорской биоты на северо-востоке Восточно-Европейской платформы. Это первый палеонтологически обоснованный ареал обитания биоты подобного типа.

Публикации по проекту:

Votyakov S., Shchapova J., Porotnikov A., Galahova O. ESR and luminescent study, ab initio modelling of atomic and electronic structure of natural carbonate minerals $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$: Mn^{2+} // Тезисы докладов XII-го Феофиловского симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных редкоземельными ионами и ионами переходных металлов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. С. 78.

Votyakov S., Shchapova J., Porotnikov A., Galahova O. ESR and luminescent study, ab initio modelling of atomic and electronic structure of natural carbonate minerals $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$: Mn^{2+} // Proc. 5th European Conference on Mineralogy and Spectroscopy. MITT. ЦСТЕРР. MINER. GES. 2004. V. 149. P. 102.

Вотьяков С.Л., Щапова Ю.В., Поротников А.В., Галахова О.Л. Типизация био- и фитогенных кальцитов по спектроскопическим свойствам примесного иона Mn^{2+} и их моделирование на основе кластерных расчетов структуры минерала // II Международная конференция «Камень в живом организме: минералогия–медицина–фармакология». СПб.: СПбГУ, 2004. С. 124.

Вотьяков С.Л., Щапова Ю.В., Поротников А.В., Галахова О.Л. Карбонаты стратотипа рифея Южного Урала: ЭПР и люминесцентное исследование, квантовохимическое моделирование атомной и электронной структуры, приложение к анализу гео-биологических систем // Международная конференция «Современные достижения магнитного резонанса», Казань, 2004. С. 56.

Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Крупенин М.Т. Чернокаменная свита бассейна р. Усьва на Среднем Урале (особенности строения, седиментология, условия формирования) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 65-86.

Маслов А.В., Ишерская М.В. Петро- и геохимические особенности аргиллитов верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины как индикаторы условий их формирования, состава и эволюции источников сноса (предварительные данные) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 87-102.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю. Sr/Ni и Ti/Nb как индикаторы состава источников сноса: тонкозернистая алюмосиликокластика серебрянской и сыльвицкой серий западного склона Среднего Урала // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей: Маг-лы между научн. конф. X чтения А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 476-479.

Вотьяков С.Л., Щапова Ю.В., Галахова О.Л., Поротников А.В. Строматолитсодержащие карбонаты рифея Южного Урала: типизация по данным ЭПР и люминесценции, квантовохимическое моделирование атомной и электронной микроструктуры

// Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. В печати.

Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Мас-тилл Т.М.Р., Крупенин М.Т. Беломорская биота эди-акарского типа на Среднем Урале // Докл. АН. В печати.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т. и др. Систематика редкоземельных элементов и модельный возраст Nd в аргиллитах венда западного склона Среднего Урала // Докл. АН. В печати.

Гражданкин Д.В., Подковыров В.Н., Маслов А.В. Палеоклиматические обстановки формирования верхневендских отложений Беломорско-Кулойского плато (юго-восточное Беломорье) // Литология и полез. ископаемые. 2005. № 2. В печати.

Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Крупенин М.Т., Корнилова А.Ю. Строение разрезов и фациальные особенности отложений венда в бассейне р. Межевая Утка (западный склон Среднего Урала) // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. В печати.

Маслов А.В., Корнилова А.Ю. К реконструкции палеосолености седиментационного бассейна, существовавшего в венде в области сочленения Русской платформы и Среднего Урала: предварительные данные // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. В печати.

Маслов А.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Систематика редкоземельных элементов, Th, Hf, Sc, Co, St и Ni в глинистых породах серебрянской и сыльвицкой серий венда западного склона Среднего Урала – инструмент мониторинга состава источников сноса // Геохимия. В печати.

В рамках Программы ОНЗ РАН № 2 «**Генетические особенности и условия формирования крупных и суперкрупных месторождений стратегических видов минерального сырья и проблемы их комплексного освоения**» проведены работы по проекту «**Крупные месторождения хрома, железа, меди и золота на Урале: генезис и перспективы комплексного освоения**» (госконтракт 10002-251/ОНЗ-2/182-353/150704-622) (руководитель – академик РАН В.А. Коротеев, ответственные исполнители – В.В. Холоднов, И.С. Чашухин, В.Н. Сазонов, А.И. Грабежев, Е.В. Аникина, Е.В. Пушкарев, В.П. Молошаг, Ю.А. Волченко, А.И. Малышев).

Хромитовые месторождения. На основе состава рудообразующей хромшпинели изучена природа хромитового оруденения, локализованного в дунитах дунит-клинопироксенитовых комплексов офиолитов Среднего Урала (Верх-

нейвинский, Ключевской, Первомайский массивы). Показана гетерогенность оруденения, обусловленная, с одной стороны, степенью сохранности первичных руд дунит-гарцбургитового комплекса, и с другой – глубиной их преобразования под действием габброидов. В Верхнейвинском массиве сохранилось оруденение кемпирсайского типа, в Ключевском, наряду с реликтами руд алапаевского типа, ряд месторождений имеет метаморфогенную природу, в Первомайском массиве сформировались реакционно-метасоматические руды оманского типа.

Железорудные месторождения. Установлены геохимические особенности и различия в условиях формирования габбровых и габброгранитоидных комплексов в крупных рифтогенных структурах Южного Урала (среднерифейской Кувашско-Машакской и раннекаменноугольной Магнитогорской), определяющих их металлогеническую специализацию. Крупные магматические месторождения титаномагнетит-ильменитовых руд локализованы в расслоенных массивах, связанных с рифейскими рифтогенными структурами, заложенными на докембрийской континентальной коре. Промышленное скарново-магнетитового оруденение связано с хлороносными, водонасыщенными габбро-гранитными массивами рифтогенных структур, сформированными на палеозойском островодужном основании.

Месторождения золота. Крупные концентрации золота в регионе проявились в обстановках островодужной и активной континентальной окраины. В первой оно в качестве элемента-примеси накапливается в рудах колчеданных месторождений, а во второй – входит в состав руд медно-магнетит-скарновых и медно-порфировых объектов. Вещественные комплексы активной континентальной окраины контролируются шовными зонами, которые имеют длительное (до 140 млн лет) прерывисто-непрерывное развитие, коровое (чаще) и мантийное заложение. Крупные месторождения золота – объекты полигенные и полихронные. Они образуются за счет «промежуточных коллекторов», из которых золото неоднократно сбрасывается в тектонически активизированные участки шовных зон. Основная доля рудного золота отлагается позднее даек основного состава, указывая на связь его с мантийным источником. Объекты золотоуглеродистой формации для Урала не характерны, что обусловлено слабым развитием процессов (гранитизация и др.), обуслови-

вающих мобилизацию и концентрацию золота.

Молибден-медно-порфировое оруденение. Изучено распределение Re и Mo в рудах наиболее крупного на Урале D₃-C₂ Михеевского медно-порфирового месторождения. В молибдените из руд этого месторождения установлены наиболее высокие для уральских медно-порфировых месторождений концентрации рения, достигающие 3100 г/т. Содержания рения в рудах сильно варьируют, повышаясь до 1-3 г/т (при содержании Cu 1,0-1,3 мас.% и Mo – 0,03-0,1 мас.%) в наиболее богатых рудных телах. Месторождение сформировалось в островодужную стадию развития Урала и связано с диорит-кварцдиоритовой малой интрузией.

Комплексное золото-палладиевое оруденение в ультрамафит-мафитовых комплексах Платиноносного пояса Урала. Проводились исследования золото-палладиевого оруденения в габбро Волковского массива. Рудоконтролирующим элементом мафит-ультрамафитового разреза является слой обогащенных апатитом такситовых пород среди оливиновых габбро, сложенный чередующимися анортозитами, троктолитами, клинопироксенидами, верлитами и оливинитами. Внутри такситовой пачки пород благородные металлы (БМ) распределяются неравномерно, а их повышенные концентрации фиксируются во всех петрографических разновидностях. Pd/Pt отношение варьирует от 10 до 100, возрастая по мере увеличения суммарных концентраций БМ. В ассоциации минералов БМ установлены сульфиды, теллуриды, сульфоселениды, арсениды, арсеноантимониды, арсенотеллуриды палладия, сульфиды и арсениды платины, самородное золото и серебро. Состав и особенности парагенезисов сульфидов меди, железа, никеля и минералов БМ свидетельствуют о их низкотемпературном образовании. Последовательность кристаллизации минералов БМ, основанная на изучении их морфологии и взаимоотношений, отражает уменьшение фугитивности серы и возрастание фугитивности теллура и мышьяка по мере снижения температуры. Образование мафит-ультрамафитового слоя пород и сопровождающего золото-палладиевого оруденения является результатом единого постмагматического процесса, имеющего регрессивную направленность при активном участии окислительного флюида.

Колчеданные месторождения. Исследования борнитсодержащие руды и геохимия редкоземельных элементов (РЗЭ) в рудовмещающих

вулканитах. Борнитовые руды образовались в гипогенных условиях при температурах 270-360° С и летучести серы 10⁻⁸-10⁻¹³ атмосфер. Золото представлено в самородном виде. Борнит, дигенит и блеклые руды содержат от десятых долей до полутора процентов примеси серебра. Отмечаются также штрмейерит Ag_{0,93}Cu_{1,07}S, ялпаит Ag_{1,55}Cu_{0,45}S и маккинстит Ag_{1,2-x}Cu_{0,8+x}S. Германий, ванадий и олово присутствуют в виде германита Cu₂₆Ge₄Fe₄S₃₂, колусита Cu₂₆V₂As₄Sn₂S₃₂, реньерита Cu₂₀(Zn_{2-x}Cu_x)(Ge_{4-x}As_x)Fe₈S₃₂, станноидита Cu₈⁺Fe₂³⁺(Fe²⁺,Zn²⁺)Sn₂⁴⁺S₁₂ и моусонита Cu₆Fe₂SnS₈. В самородном золоте и сингенетичных с ним сульфидах установлены примеси платины и палладия, что говорит об одновременном отложении золота и платиноидов. Вулканыты Сафьяновского месторождения, в отличие от их свежих аналогов, отличаются понижением содержаний РЗЭ и наличием дефицита европия. По значениям Zr/TiO₂ и Nb/Y они соответствует дацитам, риодацитам и базальтам. Подобие соотношения РЗЭ в породах и апатитах из свежих и измененных разностей пород позволяет привлекать распределение РЗЭ в апатитах как одного из геохимических индикаторов природы субстрата локализации оруденения.

Палладиеносный пояс Урала: генетические особенности и условия формирования новых типов золото-палладиевого оруденения. В рудах Платиноносного пояса установлен парагенезис платино-палладиевых минералов: палладистая тетраферроплатина, палладистый туламинит, амальгамы платинисто-палладистой меди. В пределах Дайкового пояса (западный склон Среднего Урала) в габбро-долеритовом массиве г. Дублинский Камень выявлены две новые палладиеносные зоны мощностью до 2-3 метров и протяженностью около 100 метров с суммарными содержаниями платины и палладия до 1-2 г/т. Палладиевая (котульскитовая) и золото-серебряная (гесситовая) минерализация в них связана с сульфидами меди и сульфидоарсенидами кобальта и никеля, содержащими примесные количества палладия, золота, серебра (до 0,5-2,0 мас.%).

Серный перехват как основа формирования эндогенных сульфидных месторождений. Разработана молекулярно-химическая модель эволюции газовой фазы эндогенных флюидов. В порядке понижения температуры выделены три геохимических области (зоны): 1) область серной отгонки, в которой происходит сброс

серного конденсата и образование эндогенных сульфидных рудных месторождений. В той части, где она примыкает к барьеру водной нейтрализации, образуются эндогенные месторождения самородной серы. 2) Область водной отгонки, приводящая к появлению на пути эндогенных флюидов барьера нейтрализации и последующего зарождения волны повышенной кислотности. Она имеет ключевое значение для формирования гидротермальных (золоторудных, кварцевых и др.) месторождений. 3) Область сероводородной и углекислотной отгонки, играющая ведущую роль в образовании месторождений углеводородного сырья.

По программе Президиума РАН № 13 «Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы» проведены исследования по проекту «Техногенная трансформация природных вод в районах интенсивной нефтегазодобычи Ямало-Ненецкого АО» (госконтракт ЭУ-1-04) (ответственные исполнители – к. г.-м. н. Ю.К. Иванов, к. г.-м. н. А.И. Ковальчук, аспирант А.А. Яковлев).

За отчетный период закончено обобщение материалов многолетних исследований по гидрогеологии и гидрохимии подземных вод нижнего и верхнего гидрогеологических этажей Западно-Сибирского артезианского бассейна. Создана гидрогеологическая карта Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах территории Ямало-Ненецкого автономного округа, масштаб карты 1:1000000. Составлена информационная записка к ней. Составлены отдельные листы по мезозойскому гидрогеологическому бассейну и по кайнозойско-меловой системе стока. Полученная дополнительно гидрохимическая информация по мезозойским водоносным комплексам позволила существенно уточнить и дополнить гидрогеологические разрезы и сводные гидростратиграфические колонки. На основе сформированной базы данных по подземным водам этажа впервые для северной части бассейна были построены карты-срезы химического состава, пластовых давлений и температуры подземных вод по выделенным водоносным комплексам. Показано, что имеется площадное и глубинное изменение химического состава, в частности уменьшение минерализации в северном направлении.

Проведено повторное гидрохимическое обследование центральной части мезозойско-

кайнозойской системы бассейнов стока. В частности опробованы подземные воды в районах, наиболее подверженных техногенной нагрузке. Полученные данные позволили выявить временной тренд природных и техногенных изменений.

Установлено, что подземные воды в силу как естественных, так и техногенных причин отличаются неблагоприятным эколого-гигиеническим состоянием, вследствие чего в округе сложилась тяжелая ситуация с обеспечением населения качественной питьевой водой. Подземные воды, используемые для питьевых целей, даже при отсутствии техногенного загрязнения, имеют неблагоприятные химико-гигиенические характеристики, что негативно влияет на здоровье населения. Полученный в ходе работ ряд многолетних наблюдений позволяет, в первом приближении, обосновать типовые (фоновые) концентрации химических элементов и соединений в подземных водах, разработать систему мониторинга и выявления участков и источников техногенной трансформации гидросферы. В ходе работ выявлено, что в настоящее время, в результате техногенного воздействия, в нефтегазодобывающих районах сформировались специфические техногенные эколого-гидрогеологические системы. В данных системах главным источником загрязнения для подземных вод в ЯНАО являются бытовые стоки. В первую очередь это стоки селитебных зон, для которых специфическими компонентами на фоне естественных вод региона являются натрий, хлор, соединения азота, поверхностно-активные вещества и фосфаты.

Многолетняя интенсивная эксплуатация подземных вод в округе приводит к изменению уровня режима и характера взаимосвязи между отдельными горизонтами, а также между подземными и поверхностными водами. На водозаборах образуются обширные депрессионные воронки, в центре которых снижение уровня подземных вод достигает десятков метров. Область влияния водозаборов распространяется на несколько километров, вследствие чего в нее попадают различные источники загрязнения и происходит ухудшение качества воды. Отслеживаемые по данным повторного опробования временные тренды изменения гидрохимической обстановки на основных водозаборах округа подтверждают предположение о дальнейшем ухудшении параметров. В первую очередь это касается увеличения содержания в

водах железа, марганца, снижение рН и стабильное присутствие, по ряду объектов, индикаторов бытового загрязнения.

Завершена монография по данной тематике, проведено ее научное редактирование, подготовлены рисунки. Книга в настоящее время находится в печати.

По программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 11 «**Фундаментальные науки–медицине**» выполнялся проект «**Микро- и наноструктура биоминеральной компоненты зубной ткани при патологических процессах различной этиологии: экспериментальные исследования, квантово-химическое моделирование, приложение к адаптации технологий и выбору препаратов для лечения**» (госконтракт № 23). Руководитель – член-кор. РАН С.Л. Вотяков.

В последние годы в стоматологии сделан глубокий технологический прорыв по разделу заболеваний полости рта, существенно расширен круг используемых технологий, оборудования и материалов. Однако не все технологии и материалы приемлемы в работе. Это связано с их негативным влиянием как на твердые ткани зубов, так и на мягкие ткани полости рта (токсические, аллергические реакции), и с пониженной резистентностью твердых тканей зубов во многих регионах России из-за неблагоприятной экологической обстановки (последнее особенно характерно для уральского региона). Спектроскопия, в частности микроэлементный ICP-MS-анализ (масспектроскопия с индуктивно связанной плазмой), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) – перспективные методы изучения состава и свойств вещества биоминералов из организма человека. Эти методы активно используются для решения ряда экологических проблем и вопросов ретроспективной инструментальной дозиметрии по минералу биоapatиту из эмали зуба человека. Кальцинированные ткани (кости и зубы человека и животных), сложенные карбонатгидроксиapatитом ($\text{Ca}_{10-x}\text{H}_x(\text{PO}_4)_3(\text{CO}_3)\text{F}(\text{OH})_{2-x}$), – перспективный индикатор загрязнения окружающей среды, поскольку их минеральная составляющая имеет способность накапливать из окружающей среды многие элементы, в частности тяжелые металлы. Изучение состава примесей в этих тканях дает важную информацию для мониторинга экологической обстановки окружающей

среды. Исследование содержания свинца в зубах человека проводилось в рамках проекта «System of monitoring the enviromental impact of population health» в Чехии [Spěváčková, Šmíd, 1999] и Норвегии [Tvinnereim et al., 1997]. Большое число публикаций (см. например, [Cox et al., 1996; Lochner et al., 1999; Kang et al., 2004]) посвящено разработке методик пробоподготовки кальцинированных тканей и выполнения анализа их микропримесного состава. Большой интерес представляет применение методики лазерной абляции в ICP-MS анализе биоapatитов [Lee et al., 1999; Cox et al., 1996; Lochner et al., 1999]. При этом исследователи сталкиваются с тремя основными группами проблем, связанных с анализом кальцинированных тканей: с необходимостью анализа веществ с низкими и сверхнизкими концентрациями аккумулярованных элементов; с влиянием на результаты анализа матричных ионов гидроксиapatита; с отсутствием стандартных образцов биоминералов определенного состава.

Цель работы – экспериментальное и теоретическое исследование особенностей микроэлементного состава и структуры биоминеральной компоненты твердых тканей зуба человека, проживающего в уральском регионе, материаловедческий анализ вариаций этих тканей при патологических процессах различной этиологии.

Изучены твердые ткани зубов пациентов в возрасте от 22 до 50 лет, проживающих в различной экологической обстановке на Урале, в том числе работающих при неблагоприятных факторах производственной среды (для примера проанализированы данные по работающим в цехах электролитического рафинирования меди в г. Верхняя Пышма). Исследованы интактные, здоровые, а также пораженные кариозным процессом различной глубины и локализации, депульпированные и склерозированные зубы; проанализированы изменения их свойств под действием лабораторного рентгеновского облучения, намечены перспективы применения данных ЭПР для анализа влияния на материал зуба различных адгезивных систем предпломбировочной подготовки (Denthesive II фирмы Kulzer, One step фирмы Visco и др.).

Отработаны методики химической пробоподготовки твердых тканей зуба к ICP-MS анализу, выполнены ICP-MS анализы на приборе ELAN 9000; выполнено ЭПР исследование особенностей образования радиационных ион-радикалов в твердых тканях зуба пациентов. Обо-

снована схема типизации биоминеральной компоненты твердых тканей зуба человека (биогенных гидроксилфторкарбонатапатитов) на основании особенностей их микроэлементного состава и дефектов структуры. Сделан вывод, что микроэлементный состав определяется средой обитания, а содержание радиационных карбонатных ион-радикалов существенно зависит от состояния зуба и несет информацию об особенностях его структуры: карбонатные ион-радикалы – зонд структуры биоапатита. Кариозные и некариозные поражения, депульпирование зуба значительно изменяют структуру, что отражается на интенсивностях карбонатных радикалов. Предложенная схема типизации, основанная на оценках степени дефектности структуры, использована для анализа свойств биоапатита зубов, затронутых патологическими процессами различной этиологии, у пациентов, проживающих в различной экологической обстановке на Урале, в том числе работающих при неблагоприятных факторах производственной среды.

Выполнен анализ статистической выборки образцов; создан атлас и база цифровых данных по спектрам ЭПР проб. Показано, что содержание ион-радикалов при радиационных воздействиях существенно изменяются по образцам зубов, затронутых патологическими процессами различной этиологии, и определяются структурным несовершенством (нестехиометрией) минерала, его микропримесным составом; показана высокая чувствительность последних к смене экологических условий проживания. Данные по радиационному дефектообразованию в твердых тканях зуба человека под действием лабораторного облучения могут быть использованы при решении проблемы типизации на физико-химическом уровне минеральной составляющей зубов человека как здоровых, так и испытавших патологические изменения, представляющих различные экологические обстановки его проживания и условия работы (профессиональную вредность).

С целью кристаллохимической интерпретации экспериментальных данных для биогенного апатита эмали и дентина зубов человека проведено компьютерное квантово-химическое моделирование его электронного строения, степени ионности-ковалентности связей Са-О и Са-Ф, а также структурных и электронных параметров вакансионных дефектов (кальций дефицитных апатитов), имеющих основное значение при

склерозировании дентина и повышенной стираемости зубов (абразии).

Основные публикации по проекту:

Киселева Д.В., Вотяков С.Л. и др. Опыт использования СВЧ-печи для разложения образцов пород и минералов с последующим анализом методом ИСП-МС // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 386-390.

Вотяков С.Л. Физика минералов – наука о состоянии вещества Земли // Сборник «Наука, общество, человек». Екатеринбург: УрО РАН. 2004. С. 20-33.

Вотяков С.Л. Исследования по физике минералов: некоторые итоги и перспективы // Вестник УрО Минералогического общества». Екатеринбург: УГГГА, 2004. № 3. С. 118-140.

Votyakov S., Shchapova J., Porotnikov A., Galahova O. ESR and luminescent study, *ab initio* modelling of atomic and electronic structure of natural carbonate minerals (Ca,Mg)CO₃: Mn²⁺ // Тезисы докладов XII-го Феофиловского симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных редкоземельными ионами и ионами переходных металлов. Екатеринбург, 2004. С. 78.

Votyakov S., Shchapova J., Porotnikov A., Galahova O. ESR and luminescent study, *ab initio* modelling of atomic and electronic structure of natural carbonate minerals (Ca,Mg)CO₃:Mn²⁺ // Proc. 5th European Conference On Mineralogy and Spectroscopy ECMS 2004, Vienna, Austria, September 4th - 8th, 2004. MITT.CSTERR.MINER.GES. 149 (2004) P. 112.

Вотяков С.Л., Щапова Ю.В., Поротников А.В., Галахова О.Л. Типизация био- и фитогенных кальцитов по спектроскопическим свойствам примесного иона Mn²⁺ и их моделирование на основе кластерных расчетов структуры минерала // II Международная конференция «Камень в живом организме: минералогия–медицина–фармакология». СПб.: ЛГУ, 2004. С. 98.

Вотяков С.Л., Ронь Г.И., Мандра Ю.В., Галахова О.Л. Биоминеральная компонента зубной ткани человека: спектроскопическое исследование, приложение для анализа влияния адгезивных систем предпломбировочной подготовки // II Международная конференция «Камень в живом организме: минералогия–медицина–фармакология». СПб.: ЛГУ, 2004. С. 100.

Вотяков С.Л., Киселева Д.В., Щапова Ю.В., Поротников А.В., Чередниченко Н.В., Мандра Ю.В. Особенности микроэлементного состава и структуры биоминеральной компоненты зубной ткани человека // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. В печати.

В рамках программы № 10 ОНЗ РАН «**Экспериментальные исследования физико-химических проблем геологических процессов**» в 2004 г. выполнялись исследования по проекту «**Структурное и химическое разупорядочение на микро- и наноуровнях в минералах: спектроскопическое исследование, квантово-химическое моделирование, генетико-информационное значение**» (госконтракт 10002-251/ОНЗ – 09/202-353-050504-200) (руководитель – чл.-корр. РАН С.Л. Вотьяков).

Проведены экспериментальные исследования структурного и химического разупорядочения на микро- и наноуровнях в минералах ультрабазитов. В рамках комплексного изучения термической истории и редокс-состояния ультрамафитов Урала выполнены мессбауэровские и микронзондовые исследования оливинов и аксессуарных хромшпинелей из дунитов Желтой Сопки (массив Денежкин Камень, Северный Урал). В сравнительных целях изучены минералы Гальмознанского дунит-клинопироксенитового массива – крупнейшего источника россыпной платины (Корякия) и Йоко-Довыренского расслоенного дунит-троктолит-габбрового массива (Северное Прибайкалье). Проведены оценки редокс-состояния и температуры становления массивов, выполнено сопоставление с данными по другим массивам дунит-клинопироксенитовой ассоциации Урала. Анализ материала показывает, что редокс-состояние дунитов и платиновых руд можно использовать как геохимический индикатор продуктивности ультраосновных массивов на коренное платиновое оруденение и, как следствие, на их потенциальную россыпеобразующую роль. Впервые для мессбауэровских спектров ионов железа в минералах ультрамафитов (хромшпинелях и серпентиновых минералах), наряду с традиционно используемой модельной расшифровкой экспериментальных данных (их описанием дискретным набором парциальных спектров), выполнена реставрация одновременно двух функций распределения $P(\epsilon)$ и $P(\delta)$ (ϵ - квадрупольное расщепление, δ - сдвиг). На основании анализа вариаций в образцах минералов формы и ширины функций $P(\epsilon)$, $P(\delta)$ сделан вывод, что позиции ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в их структурах характеризуются различной локальной неоднородностью (дефектностью), как следствие этого в образцах реализуется непрерывное распределение неэквивалентных ядерных со-

стояний железа и соответствующих мессбауэровских центров.

Выполнены исследования по теоретической кристаллохимии хромшпинелей. Проведены работы по компьютерному квантовохимическому кластерному моделированию атомного и электронного строения, химического связывания в шпинели $(Mg, Fe^{2+})(Al, Fe^{3+}, Cr)_2O_4$ (с использованием многопроцессорной системы ИММ УрО РАН).

Модель и методы расчета. Структуру частично обращенной шпинели моделировали 51-атомными кластерами $[^{VI}(A,B)_{\text{центр}}^{IV}(A,B)_6^{VI}(A,B)_6O_{38}]$, содержащими центральный октаэдр $^{VI}Al_{\text{центр}}O_6$ или $^{VI}Mg_{\text{центр}}O_6$ в окружении шести тетраэдров ($^{IV}MgO_4$ или $^{IV}AlO_4$) и шести октаэдров ($^{VI}AlO_6$ или $^{VI}MgO_6$). Распределение катионов А и В по позициям в кластерах задавали, исходя из возможности существования в обращенной структуре восьми неэквивалентных типов атомов кислорода $O(^{IV}(A,B), ^{VI}(A,B), ^{VI}(A,B), ^{VI}(A,B))$ (концентрации этих атомов в формульной единице $^{IV}(A_{1-\delta}B_{\delta})^{VI}(A_{\delta}B_{2-\delta})O_4$ определяются степенью обращенности структуры δ), они были рассчитаны с учетом вероятности соответствующих катионных конфигураций (для природных шпинелей параметр δ был принят равным 0,02-0,23 [Lucchesi, et al., 1998]).

Результаты. Рассмотрены замещения $Fe^{2+} \rightarrow Mg$ и $Fe^{3+}, Cr \rightarrow Al$; выполнены расчеты релаксации ближайшего окружения катионов $Me^{2+, 3+}$ в тетра- и октапозициях; промоделированы замещения $Me^{2+} \leftrightarrow Me^{3+}$ при обращении структуры; проведены оценки релаксированных длин связи $Me^{2+, 3+}-O$, кислородного параметра и постоянной решетки при частичном обращении структуры; результаты использованы для интерпретации экспериментальных структурных данных. Показано, что рассчитанные значения межатомных расстояний релаксированных структур обращенной шпинели находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными. Выполнен сравнительный анализ электронного строения катионов алюминия и магния в окта- и тетрапозициях шпинели; проанализированы изменения эффективных зарядов, степени ионности-ковалентности химической связи при обращении структуры.

Основные публикации по проекту:

Votyakov S.L., Porotnikov A.V., Shchapova Yu.V. et al. Ab initio simulation of the short-range order

structure of substitutional impurities (Fe, Cr) in s.s. spinel ($MgAl_2O_4$) // International Journal of Quantum Chemistry. 2004. V. 100. Is. 4. P. 567-572.

Пушкарев Е.В., Вотяков С.Л., Чащухин И.С., Кислов Е.В. Оливин-хромшпинелевая окситермобарометрия ультрамафитов Йоко-Довыренского расслоенного массива // Докл. РАН. 2004. Т. 395. № 1. С. 108-112.

Поротников А.В., Вотяков С.Л., Щапова Ю.В. Ближний порядок в бруситовых слоях лизардита по данным квантово-химических расчетов // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 379-386.

Щапова Ю.В., Вотяков С.Л., Поротников А.В. и др. Электронная структура и химическая связь частично обращенной благородной шпинели // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 252-265.

Вотяков С.Л., Чащухин И.С., Галахова О.Л., Гуляева Т.Я. Кристаллохимия лизардита как индикатор процесса ранней серпентинизации ультрамафитов. Часть I. Особенности состава и структуры минерала по спектроскопическим данным // Геохимия. В печати.

Чащухин И.С., Вотяков С.Л. Кристаллохимия лизардита как индикатор процесса ранней серпентинизации ультрамафитов. Часть II. Фация и источник серпентинизирующих вод // Геохимия. В печати.

Shchapova J.V., Votyakov S.L., Porotnikov A.V. et al. $MgAl_2O_4$ - $MgCr_2O_4$ - $FeAl_2O_4$ -natural spinels from the Urals ultramafites: Mossbauer study, quantum-chemical simulation of the local atomic and electronic structure // Тезисы докладов XII-го Феофиловского симпозиума по спектроскопии кристаллов, активированных редкоземельными ионами и ионами переходных металлов. Екатеринбург, 2004. С. 80.

Shchapova J.V., Votyakov S.L., Porotnikov A.V. et al. $MgAl_2O_4$ - $MgCr_2O_4$ - $FeAl_2O_4$ -natural spinels from the Urals ultramafites: Mossbauer study, quantum-chemical simulation of the local atomic and electronic structure // Proc. 5th European Conference On Mineralogy and Spectroscopy ECMS 2004, Vienna, Austria, September 4th - 8th, 2004. MTT. ЦСТЕРР. MINER. GES. 149 (2004) P. 114.

Shchapova J.V., Votyakov S.L., Porotnikov A.V. et al. Quantum-chemical simulation of the local atomic and electronic structures for $MgAl_2O_4$ - $MgCr_2O_4$ - $FeAl_2O_4$ solid solution // Proc. International Goldschmidt Geochemistry Conference, Copenhagen 2004, P. A81.

Юрьева Э.И., Ивановский А.Л., Щапова Ю.В. и др. Квантовохимическое моделирование параметров квадрупольного расщепления спектров ионов Fe^{3+} в хромшпинелидах переменного состава // Тезисы IX Международной конференции «Мессбауэровская спектроскопия и ее применения» Екатеринбург, 2004. С. 183.

Вотяков С.Л., Щапова Ю.В., Поротников А.В. и др. Изоморфизм катионов в бруситовых слоях ли-

зардита по данным мессбауэровской спектроскопии и квантово-химических расчетов // Тезисы IX Международной конференции «Мессбауэровская спектроскопия и ее применения» Екатеринбург, 2004. С. 144.

Вотяков С.Л., Чащухин И.С., Щапова Ю.В. и др. Кристаллохимия минералов ультрамафитов Урала: мессбауэровское исследование, квантовохимическое моделирование атомной и электронной структуры, приложение к проблемам окситермобарометрии // Тезисы IX Международной конференции «Мессбауэровская спектроскопия и ее применения» Екатеринбург, Россия, 2004. С. 138.

Пушкарев Е.В., Чащухин И.С., Аникина Е.В. и др. Сравнительная окситермобарометрия Платиновых ультрамафитов Урала и Корякии // Тезисы Международной конференции «Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей» Екатеринбург, 2004. С. 234-236.

В рамках Программы № 13 Президиума РАН «**Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы**» к. г.-м. н. А.И. Малышевым выполнялись исследования по проекту «**Динамика саморазвивающихся природных процессов и возможности ее использования для прогноза природных катастроф**».

В ходе проведения исследований по проекту установлен фундаментальный закон нелинейности развития сейсмического процесса во времени и определены его количественные характеристики. Закон выражается нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = k \left(\frac{dx}{dt} \right)^\alpha,$$

в котором в качестве исследованного параметра x рассматривались три различные характеристики – суммарное количество толчков (N), условные деформации (D) и суммарная энергия сейсмических событий (E).

Закон характеризует развитие сейсмического процесса при значительных отклонениях от стационарного развития и может быть полезен при разработке методики краткосрочного прогноза разрушительных землетрясений.

Для выявления закона нелинейности развития сейсмического процесса было проведено двукратное сканирование 9 сейсмических каталогов, включающих данные о 1.5 млн землетрясений, на предмет выявления наилучших

последовательностей затухания и активизации сейсмической активности, прослеживаемых в количестве сейсмических толчков, условных деформациях, и энергии сейсмических толчков. Наличие предваряющей последовательности активизации или последующего затухания определялось для каждого толчка в каталоге. Сканирование проводилось в гипоцентральных радиусах от 3 до 400 км с логарифмическим шагом их увеличения. Из-за больших объемов вычислений на первом этапе размер последовательности ограничивался 750 событиями, тогда как на втором был увеличен до 25 тысяч событий. В общей сложности по всем анализируемым параметрам было выявлено 17607 последовательностей. Набор статистики позволил определить наиболее часто встречающиеся значения параметров нелинейности (показателя a и коэффициента k) в указанном выше уравнении.

По результатам исследований к печати подготовлена монография «Математическое моделирование развития сейсмического процесса».

По программе ОНЗ РАН № 9 «**Прогноз развития окружающей среды в России в условиях современных природных и антропогенных изменений**» выполнены исследования по проекту «**Создание базовой экогеохимической модели для прогнозирования формирования ландшафта на техногенном субстрате (на примере отвального медеплавильного шлака)**» (госконтракт 10002-251/043-08/196-353/190704-637).

Исследования проводились по двум направлениям.

Направление 1. Имитация почвообразования по шлакам (ответственные исполнители – к. г.-м. н. Рябинин В.Ф., м. н. с. Леонтьев М.С.).

В ходе полевых работ был получен фактический материал в виде почвенных образцов нативных и техногенно изменённых дерново-подзолистой и серой лесной почв. Анализ химического состава образцов осуществлялся методами плазменной спектроскопии и атомной адсорбции в лабораториях радиогеоологии и физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии УрО РАН. Основные агрохимические показатели (рН, содержание гумуса, гидролитическая кислотность, сумма поглощённых оснований)

были получены в ходе анализов, проведённых в ИЦ “УралНИИСХоз” РАСХН.

Образцы дерново-подзолистых почв отбирались в Шалинском районе Свердловской области, серых лесных почв – в Артинском районе Свердловской области. Районы полевых исследований находятся в Западных предгорьях Урала, в подзонах южной тайги (Шалинский район) и осиново-берёзовых лесов (Артинский район). Почвообразующей породой в данных районах выступают элювиальные отложения глинистых сланцев нижнего отдела перми. Преобладающие типы растительности – елово-пихтовые леса (Шалинский район) и берёзовые леса (Артинский район).

Натурные эксперименты показали значительную деформирующую роль внесённого в плодородный слой медеплавильного шлака. Обнаружено изменение водородного показателя во всех горизонтах почв в сторону подщелачивания почвенной среды по сравнению с нативными аналогами; увеличение содержания гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте (как наиболее “ответственном” за почвенное плодородие) – на 131,7 % по сравнению с неизменной почвой. Кроме того, наблюдается значительное увеличение валовых содержаний халькофильных металлов в почвенном профиле: например, в горизонте A_1 техногенно изменённой дерново-подзолистой почвы содержание меди возрастает почти в 13 раз по сравнению с нативным аналогом, а цинка – в 18,4 раза. В гумусовом горизонте техногенно изменённой серой лесной почвы содержание свинца превышает таковое в нативном аналоге более чем в 20 раз, меди – в 23,7, кадмия – в 25,6 и цинка – в 82,7 раза.

Направление 2. Эксперименты по взаимодействию медеплавильных шлаков с водой (ответственный исполнитель – к. г.-м. н. Котельникова А.Л.).

Проведены эксперименты по мобилизации в водный раствор вещества отвальных шлаков (ОШ) медеплавильных производств. Исследовались хвосты переработки ОШ Среднеуральского медеплавильного завода, Карабашского и Красноуральского медеплавильных комбинатов.

Физико-химические параметры экспериментов ($t = 25\text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1\text{ атм}$, $V_{\text{H}_2\text{O}} \gg V_{\text{ОШ}}$) соответствовали климатическим условиям таежно-лесной зоны. Элементный состав фильтратов устанавливали методом АЭС с ИП. Концентра-

цию анионов в растворе определяли с помощью ионо- (F^- , NO_3^-), грави- (SO_4^{2-}) и титриметрии (HCO_3^- , Cl^-).

В результате лабораторных экспериментов по взаимодействию медеплавильных шлаков с дистиллированной водой установлено, что шлаки являются источником поступления в водные растворы щелочноземельных элементов, Al, Fe, Si, халькофильных элементов и анионов – Cl^- , F^- , (SO_4)₂⁻. Обнаружено, что максимальные концентрации компонентов в растворе наблюдаются в начальный период, затем процесс растворимости шлака стабилизируется. Уменьшение крупности зерен шлака ведет к некоторому увеличению миграционной активности компонентов шлака. Величина pH фильтратов зависит от типа и крупности отвального шлака. Высокое содержание серосодержащих минералов в отвальных шлаках вызывает закисление фильтратов.

Основные публикации по проекту:

Леонтьев М.С. Особенности распределения халькофильных металлов в верхнем слое почв Западного склона Урала // XV Коми республиканская мо-

лодѣжная науч. конф. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2004. В печати.

Леонтьев М.С., Рябинин В.Ф. Экогеохимическая характеристика распределения халькофильных металлов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах Урала // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2005. В печати.

Котельникова А.Л., Рябинин В.Ф. Экспериментальное изучение растворимости шлаков медеплавильных комбинатов в воде. «Биокосные взаимодействия: жизнь и камень» // Материалы II Международного симпозиума. СПб.: ЛГУ, 2004. С. 72-73.

Котельникова А.Л., Рябинин В.Ф. Экспериментальное изучение растворимости шлаков медеплавильных комбинатов в воде / *Kotelnikova A.L., Ryabinin V.F. (IGG UD RAS)* / Experimental study of the solubility for the copper slags in a distilled water. Электрон. науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», № 1, (22), 2004, М.: ОИФЗ РАН, 2004.

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1_2004/geoecol-3.pdf

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1_2004/geoecol-3e.pdf

Котельникова А.Л., Рябинин В.Ф. Растворимость шлаков Карабашского медеплавильного комбината в воде // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2005. В печати.