

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРОГРАММАМ ОТДЕЛЕНИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ РАН

Программа Отделения наук о Земле РАН № 2 «**Генетические особенности и условия формирования крупных и суперкрупных месторождений стратегических видов минерального сырья и проблемы их комплексного освоения**»

Проект «Крупные месторождения хрома, железа, меди и золота на Урале: генезис и перспективы комплексного освоения». Руководитель академик В.А. Коротеев. Ведущие исполнители: И.С. Чашухин, Г.Б. Ферштатер, В.В. Холоднов, В.Н. Сазонов, А.И. Грабежев, Е.В. Аникина, Е.В. Пушкарев, В.П. Молошаг, Ю.А. Волченко, А.И. Малышев. Координаторы: В.П. Молошаг, Е.В. Пушкарев.

Хромитовые месторождения. В условиях мощного проявления зеленосланцевого метаморфизма ультрамафитов состав акцессорной хромшпинели служит единственным количественным параметром их первичного состава и позволяет картировать рудоносные комплексы. Ввиду локальности процессов метаморфической дифференциации слабоистощенные гарцбургиты среднеуральских массивов продуктивны на обнаружение групп относительно небольших месторождений глиноземистых руд. Дунит-гарцбургитовый состав западных блоков Алапаевского и Восточнотагильского массивов, а также северной части Первомайского массива является благоприятным признаком на обнаружение новых проявлений высокохромистого оруденения кемпирсайского типа. Наибольшие перспективы прироста запасов имеют месторождения Лебяжинское III в Первомайском, Курмановское в Алапаевском, отчасти Кутузовское I в Восточнотагильском массивах. Хромитовые руды более устойчивы к метаморфизму по сравнению с вмещающими породами, благодаря чему на про-

дуктивных участках должно проявляться сочетание повышенного гравиметрового и пониженного магнитного физических полей.

Железорудные месторождения. Установлены геохимические особенности и различия в условиях формирования габбровых и габбро-гранитоидных 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 расчлененных 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-порфирировых 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 отлага-

ется 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.), обуславливающих мобилизацию и концентрацию золота.

Молибден-медно-порфировое оруденение. В пределах Свердловской области, в Восточно-Уральской вулканогенной зоне, установлены медно-порфировые рудопроявления, которые локализованы на продолжении рудовмещающих структур крупных месторождений Челябинской области. Изучено распределение Re и Mo в рудах наиболее крупного на Урале D₃-C₂ Михеевского медно-порфирового месторождения (Челябинская область). 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, клинопироксенитами, 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 об их низкотемпературном образовании. Последовательность кристаллизации минералов БМ, основанная на изучении их морфологии и взаимоотношений, отра-

жает 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. Исследованы 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 штроейерит Ag_{0,93}Cu_{1,07}S, ялпаит Ag_{1,55}Cu_{0,45}S и маккинстрит Ag_{1,2-x}Cu_{0,8+x}S. Германий, ванадий и олово присутствуют в виде германита Cu₂₆Ge₄Fe₄S₃, колусита Cu₂₆V₂As₄Sn₂S₃₂, реньерита Cu₂₀(Zn_{2-x}Cu_x)(Ge_{4-x}As_x)Fe₈S₃₂, станноидита Cu₈⁺Fe₂³⁺(Fe²⁺, Zn²⁺)Sn⁴⁺₂S₁₂ и моусонита Cu₆Fe₂SnS₈. В самородном золоте и сингенетичных с ним сульфидах установлены примеси платины и палладия, что говорит об одновременном отложении золота и платиноидов. Накоплению золота в борнитовых рудах способствовало низкое содержание золота в равновесных с ними гидротермальных растворах, т.е. условия формирования этих руд являлись геохимическим барьером для растворимых хлоридных и гидросульфидных комплексов золота. Вулканиды Сафьяновского месторождения, в отличие от их свежих аналогов, отличаются понижением содержаний (РЗЭ) и наличием дефицита европия. По значениям Zr/TiO₂ и Nb/Y они соответствуют дацитам, риодацитам и базальтам. Подобие соотношения РЗЭ в породах и апатитах из свежих и измененных разностей пород, позволяет привлекать распределение РЗЭ в апатитах как один из геохимических индикаторов природы субстрата локализации оруденения. Наряду с этим в одной из проб гидротермально измененных пород отмечается аномальное их обогащение церием относительно остальных РЗЭ, что связано с наличием церийсодержащего гойяцита SrAl₃(PO₄)(HPO₄)(OH)₆. На Сафьяновском месторождении в ассоциации с энаргитом установлены хлоритоид и алуниит, присутствие которых свидетельствует о высокой активности кислорода при формировании руд и метасоматитов.

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 пегматитовом подтипе руд Платиноносного пояса установлен новый парагенезис палладиево-платиновых минералов: палладистая тетраферроплатина, палладистый туламинит, амальгамы платинисто-палладистой меди. Минералы палладия находятся в сростках с сульфидами меди. В пределах Дайкового пояса (Западный склон Ср. Урала) в габбро-долеритовом массиве г. Дублинский Камень выявлены две новые палладиеносные зоны мощностью до 2-3 м и протяженностью около 100 м с суммарными содержаниями платины и палладия до 1-2 г/т. Палладий отмечается в виде котульскита. В сульфидах меди и сульфоарсенидах кобальта и никеля установлены примеси палладия, золота, серебра (до 0.5-2.0 мас. %).

Серный перехват как основа формирования эндогенных сульфидных месторождений. В образовании сульфидных руд магматических месторождений большое значение имеют рудные ловушки, т.е. такие специфические РТ-условия, благодаря которым происходит массовый сброс высокотемпературным эндогенным флюидом избыточной серы с последующим интенсивным сульфидообразованием. Всего выделено пять типов рудных ловушек. Первые четыре типа характерны для эволюции магматических и постмагматических флюидов в малоуглубленных условиях, тогда как пятый тип наиболее четко проявляется в условиях больших глубин. Образование оксидной минерализации происходит за счет сульфидных соединений путем высокотемпературного апорасплавного метасоматоза с заменой серы на кислород и частичным изменением рудообразующего комплекса металлов.

По программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 5 «**Глубинное строение Земли, геодинамика, магматизм и взаимодействие геосфер**» исследования велись по трем проектам. Проект «*Строение и природа зоны сочленения Западно-Сибирского нефтегазосносного мегабассейна и Урала по результатам комплексных геолого-геофизических исследований*» возглавлял академик В.А. Коротеев.

В рамках исследований по данной программе коллективом сотрудников Института геологии и геохимии УрО РАН (В.А. Коротеев, К.С. Иванов, Ю.В. Ерохин и др.), Института геофизики УрО РАН (В.В. Кормильцев) и Уральского государственного горного университета (Ю.Н. Федоров) проведено изучение тектонического строения Приуральской части фундамента Западно-Сибирского нефтегазосносного мегабассейна, была создана тектоническая карта региона. Проводилось изучение эволюции рифтового вулканизма запада Западной Сибири на примере наиболее разбуренного глубокими скважинами Северо-Сосьвинского триасового грабена. По комплексным геолого-геофизическим данным изучено его глубинное строение и история формирования. Выполнена согласованная интерпретация по четырем равноотстоящим разрезам. Уточнено глубинное строение грабена. По результатам интерпретации – это молодая, триасовая структура растяжения, наложенная на собственно уральские комплексы, сформированные при коллизии в позднем палеозое.

По проекту «*Корреляция магматизма Урала и Центрально-Азиатского складчатого пояса в ходе эволюции континент-океан-континент*» (руководитель д.г.-м.н. Г.Б. Ферштатер) разработана усовершенствованная с учетом новейших геохронологических данных схема эволюции и корреляции палеозойских магматических комплексов Среднего и Южного Урала. В схеме отражена двухэтапность формирования офиолитовых комплексов и Платиноносного пояса Урала. В развитии уральских офиолитов выделены: 1) досилурийский этап (древнее 420 млн лет), с которым связано формирование основных элементов океанической коры – гарцбургитовых и дунитовых реститов, габбро, параллельных диабазовых даек и пиллоу-лав, и 2) силурийско-раннедевонский этап (405-390 млн лет) – верлит-габбро (±плагиогранитоиды), расчлененные интрузивы и преимущественно базитовые дайковые поля вокруг этих интрузивов. Этапы магматизма разделены обдукцией океанических комплексов на структуры континентальной коры. С обдукцией связан метаморфизм и мигматизация базитовой части океанической коры, которая превращена в амфиболиты (возраст метаморфического циркона 410 млн лет). Эволюция Платиноносного пояса включает в себя: 1) додевонский этап (550-600 млн лет (?)) и 420-430 млн лет) – габброиды и ассоцииро-

ванные 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. Общая закономерность эволюции палеозойского интрузивного магматизма Урала состоит в том, что в ходе развития орогена доля гранитоидов среди прочих интрузивных пород возрастает от первых процентов в ордовике до 95% и более в позднепалеозойское время. При этом не только увеличивается доля гранитоидов и их валовый объем, но и внутри гранитоидов растет доля все более и более кремнекислых пород с возрастающей концентрацией калия. Подобный тип эволюции магматизма отражает процесс формирования новой континентальной коры и наращивание ее мощности в ходе геологического развития.

По проекту «*Реологическая зональность земной коры по данным сверхглубокого бурения и природа зон хрупко-пластичных деформаций Урала*» (руководитель д.г.- м.н. А.И. Русин), после завершения редактирования и подготовки к изданию книги С.Н. Иванова «Реологическая модель строения земной коры...» участниками проекта было принято решение дополнить ее новым разделом по результатам бурения Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4). Написание этого раздела практически завершено К.С. Ивановым, рукопись проходит стадию макетирования. Исследования по второй части проекта заключались в общем анализе имеющихся данных по зонам хрупко-пластичных деформаций Урала и корреляции их с другими подвижными поясами. Ранее нами было установлено, что зоны хрупко-пластичного течения контролируются самостоятельным классом метаморфических пород – бластомилонитами, которые могут подразделяться на два типа комплексов – рифтогенные и орогенные. *Комплексы рифтогенных бластомилонитов*, впервые выделенные в раннедевонских блоках и субконтинентальных габбро-гипербазитовых массивах Урала, как показали дальнейшие исследования, являются обязательным элементом всех областей литосферного растяжения. В глубоких срезках палеорифтовых зон они слагают основные объемы пород и часто ошибочно интерпретируются как свидетельства орогенного (коллизийного) метаморфизма. Классически-

ми примерами широкого развития рифтогенных бластомилонитов являются такие известные пояса как Гренвиллский, Свеконорвежский, Лапландский, Лимпопо и др. Важные наблюдения по рифтогенным бластомилонитам были получены нами в полевой экскурсии по Беломорью. Они дают основания полагать, что высокобарический метаморфизм может проявляться не только в коллизийных (субдукционных) обстановках, но и в глубоких срезках палеорифтовых областей. *Комплексы орогенных бластомилонитов* контролируют региональные сдвиговые зоны в коллизийных орогенах. Они характеризуются гранитоидным составом и могут рассматриваться как выведенные на уровни современных срезов фрагменты глубинных (вязких) зон региональных сдвигов. В 2005 году продолжалось изучение Кыштымского опорного разреза Ильменогорско-Мурзинской сдвиговой зоны.

По программе Отделения наук о Земле РАН № 7 «**Изотопная геология: геохронология и источники вещества**» исследования велись по трем проектам.

Первый проект: «*Определение абсолютного возраста докембрийских пород Урала*», выполнялся под руководством д.г.-м.н. А.А. Краснобаева. В течение 2005 г. продолжались работы по датированию древних образований Урала. Так, для Кожубаевского метаморфического комплекса, расположенного вблизи Джабыкского гранитного массива, впервые двумя независимыми методами (U-Pb и лазерной абляции) доказан протерозойский возраст (1806 ± 74 млн лет и 1993 ± 21 млн лет, соответственно). С учетом вторичных преобразований цирконов, наличия среди них хорошо сохранившихся кристаллов гранулитового типа, интервал 1800-2000 млн лет отождествляется со временем проявления гранулитового метаморфизма, а палеозойский диафторез (около 400 млн лет) с процессами региональной плагиигранитизации. Кроме того, протерозойская датировка вносит реальный вклад в решение общих проблем уральской геологии: она на новых объектах подтверждает наличие на восточном склоне Урала фрагментов докембрийской литосферы, что, в свою очередь, дает основание для успешного решения остро дискуссионного вопроса о природе субстрата палеозойских гранитоидов Урала.

Детально исследованы цирконы из гранитоидов Адуйского массива, в которых, по минералогическим признакам, сохранились реликты

ранних, возможно, докембрийских генераций. Методом лазерной абляции исследован 21 кристалл, причем возрастными параметрами определены для 38 «точек». По наиболее конкордантным датировкам возраст цирконов (основной разновидности) определен в 291 ± 8 млн лет, однако центральные зоны некоторых кристаллов, частично представленные ядрами, имеют датировки от 345 до 1040 млн лет. В рамках изохронной модели они образуют дискордию с параметрами 1451 ± 15 млн лет и $338,1 \pm 4,2$ млн лет. Итоговый вывод – часть цирконов в гранитах Адуйского массива представляет материал исходного субстрата с возрастом не менее 1450 млн лет. Участие этих цирконов в становлении адуйских гранитов сопровождалось их интенсивной перекристаллизацией, перезапуском их «радиологических часов» на нулевой уровень. Лишь единичные кристаллы при этом смогли сохранить реликты памяти о ранних этапах своего существования. Ближайшим претендентом на роль субстрата являются расположенные рядом гнейсы Мурзинского комплекса, для которых ранее был установлен протерозойский возраст (1650 млн лет). Датировка 290 млн лет относится к наиболее ранним стадиям образования адуйских гранитов, проявлениях на уровне процессов анатексис-мигматизация. Заключительные процессы гранитообразования Адуйского батолита относятся к интервалу 250-260 млн лет.

Продолжены работы по изучению диафторитов Тараташского комплекса. Полученные датировки для цирконов габбро-диорит-гнейсов (2039 ± 18 млн лет), диорито-гнейсов (2030 ± 33 млн лет) и эндербитов (2014 ± 20 млн лет) подтвердили установленный ранее этап (2000-2100 млн лет) наиболее интенсивных преобразований древних пород комплекса, а также высказанную ранее идею о принадлежности пород серии габбро-диорито-гнейсы – диорито-гнейсы к продуктам гранитизации-мигматизации, а не более раннему этапу гранулитового метаморфизма.

Исследования по проекту «*Геохронология и длительность геологических процессов, изотопные метки источников вещества: изотопно-геохимические метки в осадочных последовательностях рифея-венда Урала и их значение для геодинамических реконструкций*» (руководитель – д.г.-м.н. А.В. Маслов) велись по ряду направлений, в том числе и в сотрудничестве со специалистами из ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Выполнено изотопно-геохимическое изучение отложений бакаль-

ской свиты нижнего рифея Башкирского мегантиклинория. Известно, что карбонатные осадки бакальской свиты отлагались в мелководно-морской прибрежной обстановке [Крупенин, 1999]. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в бакальских известняках сопоставимо с изотопной характеристикой раннерифейской морской воды, полученной при изучении нижнерифейских доломитов ютингинской свиты Оленекского поднятия – $0,70465$, и доломитов котуйканской свиты Анабарского поднятия – $0,70478-0,70501$. Близкие значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ опубликованы для «наименее измененных» известняков нижнерифейской надсерии Белт – $0,70484-0,70514$. Это позволяет предполагать, что накопление осадков средней части бакальской свиты – березовской пачки – происходило в морском бассейне, сообщавшемся с раннерифейским океаном. Низкое отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ($0,70457-0,70514$) в морской воде раннего рифея указывает на преобладание «мантийного» потока Sr в океаны накануне гренвильского орогенического цикла.

Полученный Pb-Pb методом возраст формирования сидеритов определяет время завершения метасоматических процессов в Бакальском рудном поле – 1010 ± 100 млн лет. В геологической истории Земли этот возраст рудеж совпадает с заключительными этапами гренвильской фазы тектоногенеза. В уральском регионе он соответствует границе среднего и верхнего рифея. В это время здесь активизировались вертикальные тектонические движения, что привело к размытию мелководно-морских терригенно-карбонатных отложений авзянской свиты и смене общего стиля седиментации – накоплению мощной толщи аркозовых аллювиально-дельтовых песчаников зильмердакской свиты вследствие заложения крупного перикратонного прогиба на востоке Русской платформы.

Установлено, что отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в бакальских сидеритах ($0,73482-0,73876$) значительно выше этого отношения для стратиформных и жильных сидеритов долины Ломбардия (Северная Италия) – $0,7143$ и $0,7202$, метасоматических сидеритов Шендлек (Восточные Альпы) – $0,7215$, сидеритов месторождения Эрцберг (Восточные Альпы) – $0,7164$ и баритового месторождения Вальтон (Канада) – $0,7096-0,7212$. Вероятно, такое различие обусловлено тем, что формирование залежей Бакальского рудного поля происходило при участии железосодержащих растворов, поступающих из древних песчано-глинистых резервуаров с высокими значениями отно-

шения Rb/Sr. Повышенное отношение $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в сидеритах рудной генерации указывает, в свою очередь на то, что эти резервуары характеризовались и высоким отношением Th/U. Такими резервуарами могли быть как песчано-глинистые, так и вулканические породы.

К моменту предзильмердакского размыва породы рудоносной бакальской свиты были погружены на глубины до 2-2,5 км, а низкоуглеродистые сланцы саткинской и айской свит – до 3,5-9 км. Терригенные породы юшинской свиты в конце среднего рифея достигли глубин 5-6 км. Таким образом, глинистые породы юшинской свиты находились в зоне наиболее интенсивных катагенетических преобразований и продуцировали значительные объемы эпигенетических растворов. Эти растворы мигрировали на этапе тектонической активизации (в конце среднего – начале позднего рифея) по зонам разуплотнения и по разломам в западном борту Машакского грабена в отложения бакальской свиты. К тому моменту в пределах терригенно-карбонатного резервуара бакальской свиты уже была сформирована структурно-литологическая ловушка. Сверху она была ограничена закарстованной поверхностью, образовавшейся во время предзигальгинского размыва, и мощной толщей среднерифейских кварцитов зигальгинской свиты. Кроме того, в начале среднего рифея (в машакское время) названная структура была осложнена рифтогенными сбросами и внедрением диабазовых даек и силлов. Последние обстоятельства привели к формированию подводящих каналов, по которым железосодержащие растворы мигрировали в карбонатные резервуары бакальской свиты.

Показано, что частичная десидеритизация (доломитизация) метасоматических сидеритов, формирование эпигенетических доломитов и поздних генераций эпигенетических известняков были связаны с тектоно-термальной активизацией на границе позднего рифея и венда. Этот этап сопровождался циркуляцией гидрокарбонатных Mg-Ca растворов, что привело к развитию в бакальских отложениях жильной сидерит-анкерит-доломит-баритовой минерализации, появлению локальных зон лиственизации и калишпатизации диабазов, а также к перекристаллизации кварц-серицитовых сланцев. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в наиболее переработанных сидеритах – 0,73543-0,73910 и доломитах – 0,73765-0,74168, вероятно, отражает изотопный состав Sr в гидротермальных растворах, кото-

рые формировались в пределах сланцево-карбонатного резервуара Бакальского рудного поля. K-Ar возраст серицитов из околорудных глинистых сланцев составляет 636 ± 12 млн лет, а K-Ag возрасты фукситов и полевых шпатов из тех же ореолов – 610-618 млн лет. Названные возраста отвечают позднерифейско-вендскому (кадомскому) этапу тектоногенеза, когда на востоке Башкирского мегантиклинория происходило формирование крупного орогена [Крупенин, 1999; Пучков, 2000]. Существенное различие отношения $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ в сидеритах рудной генерации и поздних сидеритах предполагает, что источники растворов были разными для каждого из этапов эпигенетической перекристаллизации. Однако выявление этих источников требует дополнительного изотопно-геохимического изучения рифейских пород на территории Башкирского мегантиклинория.

На основе анализа и обобщения данных по геохимии и изотопному возрасту верхнерифейских и вендских магматических комплексов, имеющих широкое развитие на западном склоне Среднего Урала, сделан вывод о существовании определенной латеральной зональности магматизма, вызванной, вероятно, появлением разноглубинных очагов плавления и дифференциации магм над поднимающимся мантийным диапиром (плюмом). Первым известным в настоящее время продуктом этого плюма является сарановский гипербазит-габбровый комплекс, внедрившийся около 750 млн лет назад. Затем 680-670 млн лет назад были сформированы щегровитский щелочно-базальтовый и журавликский верлит-габбро-гранодиоритовый комплексы. 625-610 млн лет назад произошло становление щелочных пород кусьинского и троичского комплексов. Четвертый этап (570-550 млн лет) фиксируется внедрением расплавов, сформировавших дворецкий и европейский комплексы. Таким образом, документируемое магматическими комплексами разного состава время существования позднерифейско-вендского мантийного плюма составляет около 200 млн лет. Наблюдаемая латеральная зональность составов магматических образований в пределах Кваркушко-Каменногорского антиклинория могла быть вызвана как различным положением магматических систем относительно центра мантийного плюма, так и различиями в составе, мощности и степени проницаемости литосферы.

Исследования по третьему проекту Программы ОНЗ РАН № 7 «Изотопное датирование биостратиграфических границ ярусов и горизонтов девона, карбона и нижней перми Общей стратиграфической шкалы на основе разрезов Уральского подвижного пояса» (2003-2005 гг., координаторы программы – акад. Э.М. Галимов, член-корр. РАН И.В. Чернышев), ведутся по двум направлениям, которые ниже кратко охарактеризованы.

I. Уральские разрезы девонской, каменноугольной и пермской систем содержат представительный материал для целенаправленного изотопного датирования важнейших биостратиграфических границ U-Pb методом на основе цирконов, извлекаемых из прослоев пепловых туфов, которые обнаружены по всему означенному выше стратиграфическому диапазону. Кроме того, в девонской и нижнекаменноугольной частях разреза восточного склона Урала присутствуют многочисленные лавовые потоки и рвущие осадочные серии субвулканические тела, материал которых также, может быть, привлечен для изотопного датирования. Это одно из направлений изотопных исследований. Несомненно важной геологической новостью для Урала является открытие многочисленных слоев пепловых туфов в башкирско – кунгурских отложениях западного склона Урала и Предуральского краевого прогиба, а также и на восточном склоне Урала в башкирско – московских морских отложениях.

II. Второе направление связано с изучением поведения стабильных изотопов С и О в толстостенных раковинах брахиопод при наличии в них, в примакущечной части раковины слоя радиально – лучистого кальцита. Эмпирически установлено, что в радиальном кальците чаще всего сохраняется прижизненные содержания изотопов названных элементов. К этой паре изотопов в настоящее время добавлен еще стронций.

В 2004 г. закончены исследования в нижне-среднекаменноугольном интервале разреза на западном склоне Урала и Русской платформе. Подобные исследования параллельно проводились в том же стратиграфическом диапазоне на территории Мидконтинента США. Весь материал проходит лабораторную обработку в Геохимической лаборатории А&М Университета (штат Техас).

Институт геологии и геохимии УрО РАН не имеет современной аппаратуры для таких исследований, поэтому все лабораторные работы ведутся за границей, в США, обсуждается

возможность проведения аналогичных работ в Германии, для ускорения выполнения ширококомандной программы датирования важнейших биостратиграфических рубежей в интервале девон – пермь. Лаборатория стратиграфии и палеонтологии ИГГ УрО РАН имеет в настоящее время два соглашения с университетами США.

1. Соглашение по программе «Точная изотопная калибровка верхнекаменноугольной – нижнепермской временной шкалы для глобальной корреляции, установления продолжительности геологических процессов» с Международным институтом по изучению пермской системы штата Айдахо (США) при Геологическом департаменте Университета Бойсе пролонгировано на 2005 – 2007 гг. Под эту программу получен грант Национального научного фонда США. В обязанности сотрудников Лаборатории стратиграфии и палеонтологии ИГГ входит: представление материала для изотопных исследований из хорошо изученных в биостратиграфическом отношении разрезов, организация полевых исследований, биостратиграфическое обоснование положения отобранных проб в разрезе, первичная обработка материала для получения цирконовых концентратов.

Полевые работы, во время которых был собран обширный материал для изотопного датирования важнейших биостратиграфических рубежей, были проведены в 2002-2003 гг., небольшие сборы были продолжены в 2004-2005 гг. Туфовый материал был отобран 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 в работе.

По первой программе: «Точная изотопная калибровка...» к настоящему времени и в течение 2005 г. получены результаты, приведенные в табл. 1.

В отчетном году была поставлена важная региональная задача определения изотопного возраста большой группы силлов и даек гранит – порфиров, широко распространенных на территории восточного склона Урала и контактирующих с породами нижнего и среднего карбона на восточном склоне Урала. С этой целью в полевой сезон 2005 г. была отобрана небольшая серия из шести крупных (до 25 кг) проб на западном склоне Среднего Урала. Гранит – порфиры, судя по их геологической позиции, представляют заключительную стадию па-

Результаты 2005 г. и полученные за предыдущие годы

Разрез	Стратиграфический уровень	Изотопный возраст, млн. лет	Лаборатория, где проводились изотопные исследования	Прибор
«Усолка»	Основание ассельского яруса пермской системы, подошва конодонтовой зоны <i>isolatus</i>	298,3±0,2	Технологический центр, Массачузетс (США), 2005 г.	
«Усолка»	Основание сакмарского яруса фузулинидовой зоны <i>Pseudofusulina moelleri</i>	290±0,3	Технологический Центр, Массачузетс. 2005 г.	
«Сим» г.Сим	Кровля сакмарского яруса; верхняя часть зоны <i>Pseudofusulina urdalensis</i>	280,3±2,6	Геологический институт при Университете г. Канберра, Австралия, 1995	SHRIMP - II
«Сирять» р. Белая	Подошва артинского яруса; основание зоны <i>Pseudofusulina concavutas</i>	280,3±2,3	Геологический институт при Университете г. Канберра, Австралия, 1995	SHRIMP - II
Разрез «Дальний Тюлькас»	Московский ярус верхнего карбона ниже границы с касимовским ярусом	В 0,7 м ниже кровли яруса – 305,4±0,2	Технологический центр, Массачузетс	
		2,3 м ниже верхнего уровня 307,3±0,2		

леозойского (?) магматизма и определение их возраста представляет особое значение.

Исследования по программе «Стабильные изотопы кислорода и углерода в раковинах брахиопод девона, карбона и нижней перми» ведутся с 1995 г. в содружестве с Лабораторией геохимии Геологического департамента А&М университета штата Техас. К настоящему времени можно считать завершенными работы по нижнему-среднему карбону [Horn-Sheng-Mi, 2001; Grossman et al., 2002]. В предшествующие годы были сделаны сборы брахиоподовых раковин по разрезу верхнего карбона и по всем ярусам нижнего отдела пермской системы. Проведенные исследования показали перспективность материала, но дальнейшее планомерное изучение потребовало более обстоятельного отбора образцов.

Сборы брахиопод для указанной цели проведены во время полевых работ летом и ранней осенью 2005 г. с участием сотрудников Лаборатории стратиграфии и палеонтологии ИГГ УрО РАН и проф. Т. Янси (Thomas Yancey) из Геологического департамента А&М Университета штата Техас. Исследования велись в рамках вновь сформулированной совместной программы: «Раннепермское климатическое событие: определение палеогеографических и палеоклиматических факторов, ответственных за быстрое потепление».

В течение полевых работ были опробованы отложения гжельского яруса верхнего карбона, все ярусы нижнего отдела пермской системы. В ряде случаев сборы были сделаны из нескольких фациальных зон. Общее число собранных раковин брахиопод, которые являются

основным материалом для изотопных определений, превысило 300 экземпляров. Вся коллекция предварительно рассмотрена с позиций пригодности материала для изотопных исследований, выполнены таксономические определения, и вывезена в США. В некоторых случаях, где разрез представлен глубоководными отложениями без брахиопод, были отобраны образцы пелитоморфных карбонатов.

Предполагается на палеонтологическом материале выполнить также серию методических разработок. Прежде всего, все изотопные исследования будут производиться по раковинам с точно определенным (до вида) таксономическим положением. Кроме того, сборы сделаны из пород разных фациальных зон. Сравнение результатов должно дать ответ на вопросы: влияет ли на способность накопления и сохранения изотопов С, О, Sr таксономическая и фациальная принадлежность раковин брахиопод?

Эта сторона изотопных исследований, по обоснованному замыслу, с одной стороны, послужит источником дополнительной информации для сопоставления последовательностей карбонатных пород разных седиментационных бассейнов планеты, а с другой стороны, предоставит сведения относительно вариаций климата Земли.

О финансировании исследований на 2006 г. В отчетном году на изотопные исследования Лаборатория стратиграфии и палеонтологии получила 20 тыс. рублей. Ничтожность этой суммы показывает сравнение затрат. На лабораторное обоснование границы карбона и перми по четырем пробам затраты составили 30 тысяч долларов США. Организация и проведение полевых исследований, трудоемкие работы по отбору валидных проб, по той и другой программам, и первичная их подготовка потребуют затрат, которые можно скромно оценить в 120-150 тыс. руб.

По программе Отделения наук о Земле РАН № 9 «**Прогноз развития окружающей среды в России в условиях современных природных и антропогенных изменений**» коллективом сотрудников ИГГ УрО РАН в 2005 г. выполнены исследования по проекту «Создание базовой экогеохимической модели для прогнозирования формирования ландшафта на техногенном субстрате (на примере отвального медеплавильного шлака)» (руководитель В.Ф. Рябинин, исполнители: А.Л. Котельникова, М.С. Леонтьев

и Ю.И. Ковалик), направленные на изучение мобилизационных свойств медеплавильных шлаков как в лабораторных условиях, так и в условиях почв Среднего Урала. В рамках поставленной задачи было реализовано три направления исследований. Это, во-первых, длительный эксперимент по определению подвижности компонентов размолотого медеплавильного шлака при комнатной температуре и атмосферном давлении в условиях: а) кислотного выщелачивания (серная кислота разной концентрации); б) водного выщелачивания (дистиллированная вода). Установлено, что условия среды во всех случаях обуславливали подвижность химических элементов из шлака, получены количественные оценки. Показано, что сорбция металлов, в том числе токсичных, гелеобразными гидроксидами железа, алюминия, кремния и смешанослойными силикатами – продуктами химического выветривания шлака обуславливает низкую концентрацию токсичных компонентов в близейтральных водных растворах, получены количественные оценки. Выяснено, что компоненты шлака способны нейтрализовать слабокислые растворы серной кислоты, обычно образующиеся в природных условиях. Установлено также, что накопление продуктов разложения шлака в исследованной системе тормозит и, в конечном итоге, останавливает процесс миграции вещества шлака в окружающую среду. Выполнено начальное описание динамики выщелачивания компонентов шлака в нейтральной водной среде и в условиях различной закисленности среды. Во-вторых, ранее, в 2003-2004 гг., начат эксперимент по контролируемой эмиссии вещества медеплавильного шлака в плодородный слой дерново-подзолистых (ДПП) и серых лесных (СЛП) почв Свердловской области, удаленных от техногенных влияний. Выполнен отбор и анализ материала почвенных профилей и почвенного раствора, а также сбор растительности на них. Сделан анализ геохимических и агрохимических параметров обоих типов почв. Затем в горизонт А1 обоих почвенных профилей был внесен измельченный материал медеплавильного шлака.

В 2005 г. эксперимент продолжен. После годичного выдерживания выполнен повторный отбор материала почв и почвенных растворов, заключавших материал шлака. Сделан последующий анализ динамики геохимических и агрохимических параметров в условиях стресса, вызванного вмешательством. Установлено, что в первый год после внесения материала шлака

в почвы обнаруживается подщелачивание почвенной среды в случае ДПП и значительное подкисление среды в СЛП, снижается сумма поглощенных оснований в обеих почвах, гидролитическая кислотность растет во всем профиле СЛП, но снижается в ДПП, В ДПП возрастает количество гумуса в горизонтах А1 и А2, а в СЛП оно возрастает только в А2, снижаясь в А1. К настоящему моменту сформировано первое представление о возникновении типовых различий почв в первый – шоковый период взаимодействия с материалом шлака. Дана первая оценка реакции почв: ДПП реагирует повышением своих агрохимических качеств, СЛП – снижением, и сближением с характеристиками ДПП.

В настоящее время продолжается анализ полученных данных по распределению изучаемых в ходе эксперимента металлов – Cu, Zn,

Cd, в почвенном растворе, а также валового содержания более широкого круга компонентов в материале почв.

В-третьих, в целях обеспечения контрольной (и/или сравнительной) эмпирической базы для намеченной к созданию теоретической (термодинамической) модели выветривания медеплавильного шлака, выполнен сбор материала древних шлаков. Создана база данных по опубликованным в интернете исследованиям химизма и минералогии древних шлаков. Выполнены первые минералогические (петрографические) и химические исследования собранных образцов древних шлаков. Сделаны микронзондовые анализы стекол и отдельных минералов. Следующим этапом намечен сбор образцов почв, сформировавшихся на телах древних шлаков.