
**Интеграционные проекты СО РАН, выполняемые совместно со
сторонними организациями**

**№13. «Магматизм границ скольжения литосферных плит: изотопно-геохимические характеристики, источники, особенности эволюции»
(координаторы к.г.-м.н. А.Б. Перепелов, к.г.-м.н. Н.Н. Крук) –
руководитель блока к.г.-м.н. А.Б. Перепелов**

- Проект посвящен изучению специфики магматических ассоциаций, формирующихся в трансформных геодинамических обстановках. Конечной целью проекта являлось создание обобщенных петрологических моделей магматизма трансформных окраин континентов.

Итогом проведенных петролого-геохимических и изотопно-геохимических исследований магматизма на границах скольжения и в условиях деструкции литосферных плит для кайнозойской истории геодинамического развития активной континентальной окраины Камчатки стало выделение индикаторных магматических комплексов различных геохимических типов. К таким комплексам, фиксирующим этапы деструкции и трансформного взаимодействия континентальной и океанических литосферных плит в современной зоне перехода «океан-континент», отнесены, прежде всего, вулканические ассоциации пород переходного WPB-IAB и Mg# андезит-адакитового геохимических типов. Помимо этого, этапы смены геодинамических режимов в истории развития активной окраины отражаются в проявлениях вулканизма внутриплитного (WPB), E-MORB и калиевого щелочного (PAB) геохимических типов.

**№20. «Эволюция метаморфизма и геодинамика развития орогенных поясов в
обрамлении древних кратонов (на примере Урала, Енисейского кряжа и
Джугджуро-Становой области)» (координатор д.г.-м.н. И.И. Лиханов) –
руководитель блока д.г.-м.н. К.В. Чудненко**

- На основе привлеченных экспериментальных данных по минеральному равновесию: «Al-F сфен-флюорит-анортит» предложен сфеновый фториметр для оценки фтористости флюида по равновесию «Al-F сфен - плагиоклаз - рутил - фторсодержащий водный флюид». На графике (Рис. 87) показано выявленное закономерное возрастание концентрации CaAlFSiO_4 в твердом растворе сфена в равновесии с плагиоклазом постоянного состава, рутилом и кварцем в

зависимости от валовой фтористости флюида. По модельным расчетам установлено, что максимальная величина концентрации фтора во флюиде при образовании наиболее богатого фтором Al-F сфена в условиях температур и давлений образования метасоматических пород Березитового месторождения могла достигать величины 300 - 500 мг на килограмм водного раствора. Уровень фтористости флюида при образовании Al-F сфена на изученном месторождении вполне сопоставим с фтористостью флюида при образовании грейзенов и редкометалльных пегматитов, однако, его максимальные значения достигались только на самых заключительных стадиях формирования месторождения.

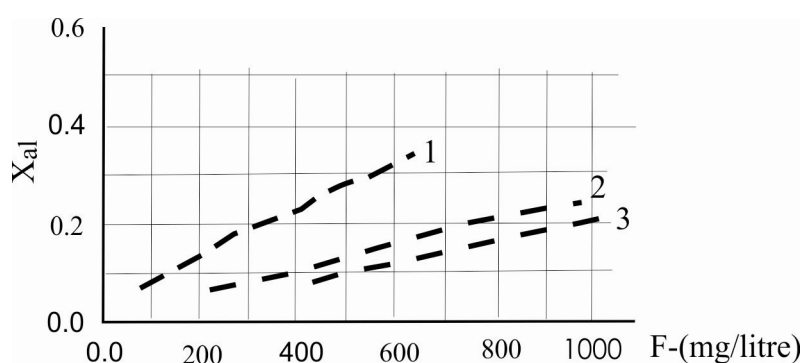


Рис. 87. Зависимость валовой фтористости водного флюида от концентрации минала CaAlFSiO_4 в твердом растворе сфена в равновесии «сфен-плагиоклаз-рутил-кварц-флюид» при 550°C и давлении 3500 бар. Каждая кривая рассчитана при постоянном содержании анортитовой молекулы в составе плагиоклаза: 1 - № 60, 2 - № 30, 3 - № 15, где номер – содержание анортитовой молекулы.

№29. «Гидротермальная и экзогенная благороднометалльная (PGE, Au, Ag) минерализация в Центрально-Азиатском, Уральском и Тихоокеанском складчатых поясах: сравнительный анализ, возрастные рубежи, физико-химические и геодинамические условия формирования, методы определения и научные основы извлечения» (координатор д.г.-м.н. С.М. Жмодик) – руководитель блока д.г.-м.н. А.М. Спиридонов

- Обоснован комплекс аналитических подходов и методов определения действительных концентраций и форм нахождения благородных металлов в углерод- и серусодержащих рудах. В битумоидах (геополимерах) из углистых сланцев Байкало-Патомского нагорья (Центрально-Азиатский складчатый пояс) изучены формы золота в процессе отделения из экстрактов элементной серы двумя методами: с помощью металлической ртути и губчатой меди. В процессах фильтрования битумоидов при отделении осадков (Hg_2S_2 , CuS) происходит

разделение форм золота на химически связанное золото (фильтрат) и «свободное» золото (фильтр).

Установлено, что золото «свободной» формы (восстановленное органическим веществом, амальгамируемое, сорбированное сульфидами, образующее кластеры и т.д.) является наиболее подвижной формой металла хлороформенных битумоидов, участвующей в процессах рудообразования. Химически связанное золото полярных битумоидов руд может служить примером транспортировки вещества в процессе катагенеза к месту его переотложения на термо-барогеохимических барьерах с образованием зон с его аномальным содержанием, вплоть до формирования месторождений.

Основными концентраторами золота в битумоидах являются фракции асфальтенов, представляющих собой высокомолекулярные геополимеры сложного состава, содержащие структуры метано-нафтеновых, ароматических и гетеросоединений. По данным рентгено-структурного анализа асфальтены состоят из расположенных неупорядочено пластин. Частицы золота могут находиться в краевых частях пластин, между пластинами. Наиболее вероятно, что микрочастицы «свободного» золота, выделяясь из пустот структур асфальтенов и обладая высокой подвижностью, могут объединяться друг с другом, образуя кластеры. Эти частицы золота оседают на фильтрах, сульфидах меди, образуют амальгамы и др. Что касается химических соединений золота (металлов) в битумоидах (асфальтенах), то они, вероятно, сосредоточены в соединениях по типу Au–O–S- и др., присутствующих, в основном, в полярных спирто-бензольных экстрактах руд. Эти данные подтверждены и результатами проделанной работы: около пятидесяти процентов золота химически связано с битумоидами (фильтратами).

Исходя из полученных результатов, следует, что битумоиды, как реликты первичного углеродистого вещества метаморфизованных сланцев, сохранили золото ноль-валентного состояния и золото, зафиксированное в химически связанной форме. Можно сделать вывод, что подвижные формы металлов («свободное» золото), образуя кластеры, или наоборот, распадаясь на мельчайшие

частишки вещества (золота), могут участвовать в предрудных и рудных процессах, являясь примесью черных сланцев [Ермолаев и др., 1999⁵⁹]. В этом случае сами битумоиды в составе флюидов можно рассматривать, как транспортеры золота, в том числе и химически связанных форм, соединения которых при смене условий процессов могут разлагаться, освобождая металл.

№37. «Крупные магматические провинции Азии: мантийные плюмы, металлогения, модели магмо- и рудообразования» (координаторы д.г.-м.н. А.С. Борисенко, чл.-к. РАН Г.В. Поляков) - руководитель блока д.г.-м.н. А.М. Спиридонов

В отчётный период исследованы магматические комплексы крупных провинций кайнозойского щелочного вулканизма активной континентальной окраины Западной Камчатки и Карийского золото-рудного узла Монголо-Охотского складчатого пояса (Восточное Забайкалье).

- На территории Западной Камчатки развитие крупных провинций щелочного вулканизма К и К-Na типа связано с этапами проявления процессов рассеянного рифтогенеза непосредственно после прекращения процессов субдукции в эоцен-олигоценное время. Изотопно-геохимические особенности щелочных пород свидетельствуют об участии в процессах магмообразования как надсубдукционного метасоматизированного мантийного вещества, так и мантийных источников DM и PREMA типов.

В провинции базальтоидного вулканизма К-Na типа широко проявлены серии даек, штоки щелочных базальтов, эссексит-диабазов и кринанитов. Возраст дайкового комплекса по $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ методу инструментального датирования соответствует 45.2-44.6 млн лет (средний эоцен). По геохимическим признакам базальтоиды ареала отличаются от составов базальтов Камчатки островодужного типа и наиболее близки к базальтоидам E-MORB.

В провинции калиевого щелочного базальтоидного вулканизма обнаружено более 200 субвулканических тел щелочных пород (трахибазальтов, шонкинитов, сиенитов). Субвулканические тела формировались во временном диапазоне

⁵⁹ Ермолаев Н.П., и др. Механизмы концентрирования благородных металлов в терригенно-углеродистых отложениях, Москва: Научный мир, 1999. - 124 с.

поздний эоцен-ранний олигоцен (35-29 млн лет $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$). Породы характеризуются высокой калиевой щелочностью и значительным обогащением Rb, Ba, Pb, Sn, Be, F, Zr, U, Th, REE, наряду с повышенной магниальностью и высокими концентрациями Ni, Co, Cr. Исходные магмы калиевых щелочных пород близки по составам к трахибазальтам.

- В пределах Карийского рудного узла отмечается четкий магматический контроль золоторудной минерализации. На изученном участке Амурская дайка получили развитие габбро-диориты, адакиты и гранитоиды вмещающего магматического комплекса, прорывающие их дайки гибридных порфиров и гранитоиды Кара-Чачинского массива, эндоконтактные части которого также сложены гибридными порфирами.

Абсолютный возраст габбро-диоритов соответствует $183 \pm 2,6$ млн лет (амананский комплекс), гибридных порфиров $156,2 \pm 2$ млн лет (сретенский комплекс) и гранитов Кара-Чачинского массива $155,9 \pm 1,8$ млн лет (сретенский комплекс). Анализы выполнены $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ методом в ИГМ СО РАН (аналитик А.В.Травин).

По геохимическим характеристикам габбро-диориты вмещающего магматического комплекса соответствуют высокониобиевым базитам (NEB), часто сопровождающим адакитовый магматизм. Обнаружение адакитов позволяет по-новому взглянуть на источник Au в регионе. Адакитовые магмы являются геохимически специализированными и сопровождаются промышленными месторождениями Au, Cu и других элементов [Gonzalez-Partida, 2003⁶⁰]. Появление в районе базитов NEB в ассоциации с адакитами свидетельствует об образовании в раннеюрское время в субконтинентальной литосферной мантии геохимически специализированного источника.

Гибридные порфиры и гранитоиды Кара-Чачинского массива имеют как между собой близкие геохимические характеристики, что свидетельствует о их генетическом единстве, так и с адакитами района, что позволяет предположить в

⁶⁰ Gonzalez-Partida E., Levresse G., Cheilletz A., Gasquet D., Jones D. Paleocene Adakite bearing Au-Fe intrusive rocks, Mezcala, Mexico: Evidence from geochemical characteristics // Journal of Geochemical Exploration, 2003., 4105, P. 1-16.

качестве источника первичных магм гибридных порфиров тот же специализированный домен, сформированный в раннеюрское время при воздействии адакитовых магм на породы субконтинентальной литосферной мантии. Гранитоиды Кара-Чачинского массива образовались при взаимодействии первичных магм с кислым коровым расплавом.

Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что истинной причиной металлогенической специализации магматических образований рудного района было рециклированное вещество океанической литосферы – адакиты. Это подтверждается уровнями концентрации Au в адакитах, достигающими 0,012 г/т, и в продуктах плавления геохимически специализированного источника – гибридных порфирах, равными 0,010 г/т, что в три раза выше кларка для средних магматических пород.

**№87. «Геохимия и источники вещества термальных вод Сибири и Дальнего Востока» (координаторы д.г.-м.н. С.Л. Шварцев) –
руководитель блока д.г.-м.н. К.В. Чудненко.**

- Было проведено исследование физико-химических взаимодействий системы «вода–гранит» в рамках термодинамической модели на примере взаимодействий гранита Ниловой Пустыни с химически чистой водой, а также с дождевой и родниковой водами. Сопоставление полученных результатов показывает их хорошее соответствие. Различие состава исходных растворов практически нивелировано в процессе их взаимодействия с породой. Несмотря на существенные различия температуры, геохимическая среда растворов является достаточно близкой. В растворах резервуарной модели кальций, фтор, хлор и сульфаты проявили тенденцию накопления, а содержание калия уменьшилось в несколько раз (Рис. 88). Содержание карбонатных ионов сопоставимо с их концентрацией в растворе родниковой воды. В растворах резервуарной модели существенно уменьшилось содержание силикатного и гидроксид ионов и кремнекислоты. Значительную трансформацию растворы приобретают при открытии их к атмосфере. При этом исчезает

гидросульфидный ион, уменьшается содержание силикатного и гидроксид ионов и резко увеличивается концентрация гидрокарбонатного иона.

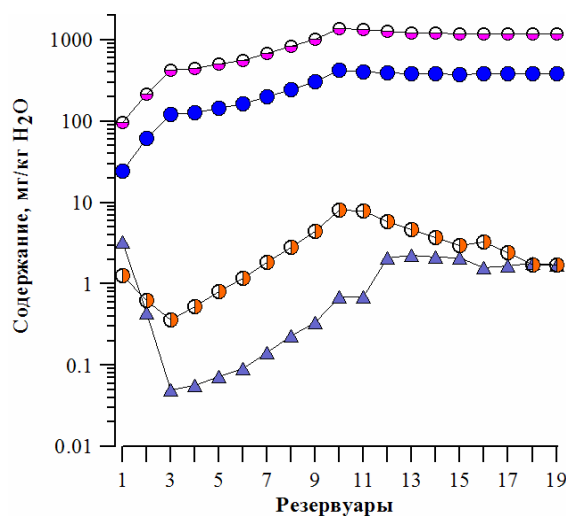


Рис. 88. Изменение минерализации и катионов в модельном растворе Ниловой Пустыни (мг/кг H₂O). 1 – минерализация; ионы: 2– натрий, 3 – калий, 4 – кальций.

Проведенное исследование достаточно надежно и аргументировано подтверждает гипотезу формирования азотных терм в рамках системы «вода-порода». Предложенная резервуарная модель позволяет более полно учесть влияние изменения термодинамического режима на процесс формирования термальных вод. Хорошая сходимость составов моделируемых растворов и реальных термальных вод достигается обоснованным согласованием состава вмещающих пород и учетом закономерностей изменения термодинамических параметров системы на пути движения растворов от области питания к области разгрузки.

№95. «Изучение ко-адаптации в системе «продукт-консумент» на примере диатомовых водорослей и их потребителей в пресноводных экосистемах»
(координатор д.б.н. Е.В.Лихошвай) –
руководитель блока д. х. н. В.Л.Таусон

- Выполнены измерения прочности панциря диатомей *Aulacoseira baikalensis* и *Cyclotella baicalensis*. Использовался нанотвердомер Platform Base 5-100X (США). Определение прочности панциря было выполнено методом динамического индентирования на основании измерения и анализа зависимости нагрузки при вдавливании в поверхность материала от глубины

введения индентора. Величина силы, при которой панцирь *Aulacoseira baikalensis* сломался, составила 3.3 мН, а для *Cyclotella baicalensis* – 2.7 мН. Величина слома определена в тот момент, когда произошло резкое изменение силы. По методу Оливера-Фарра определен модуль Юнга и твердость панциря.

№117. «Динамика сквозькорových гидротермально-магматических систем островных дуг» (координатор д.г.-м.н. Н.С.Жатнуев) – руководитель блока д.г.-м.н. К.В.Чудненко

- Методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) изучена морфология поверхности кристаллов пирита из термальных полей Камчатки. По предварительным данным, поверхность кристаллов (на ровных участках) имеет низкую шероховатость (~5-7 нм) и максимальную высоту объектов ~30-100 нм, что значительно меньше, чем было ранее установлено для пиритов эпитеpmальных и мезотермальных месторождений. В поверхности видны линейно выстроенные округлые частицы размером около 100 нм (Рис. 89), возможно, указывающие на коллоидный механизм роста кристаллов. Кристаллы часто имеют пористую поверхность с порами разного размера и глубины, размеры всех пор меньше одного микрона. Удельный объем пор, по данным измерений на приборе Сорбтометр-М, невелик и составляет ~1-3 мм³/г.

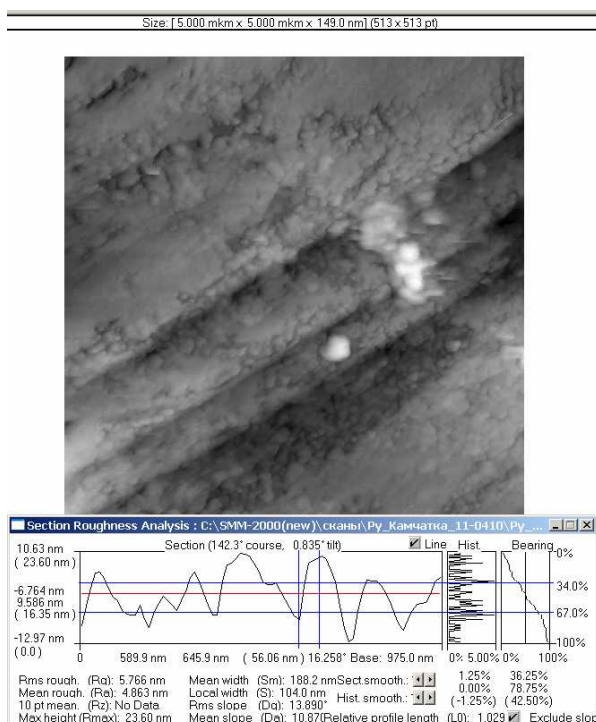


Рис. 89. Двумерное изображение поверхности пирита в АСМ. Видны округлые частицы, выстроенные в ряды и формирующие полосы. Структура участками напоминает фрамбоидальный пирит, но размеры элементов много меньше микрона и находятся в размерном интервале коллоидных частиц.

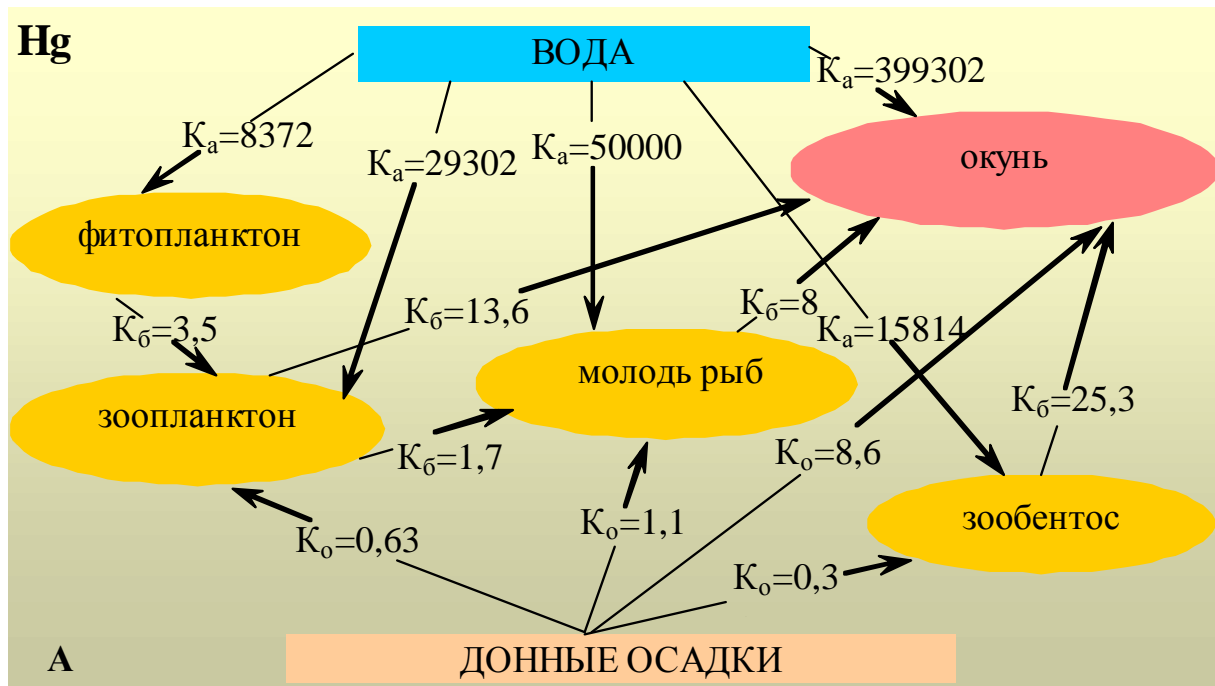
Выполнены экспериментальные исследования по распределению РЗЭ между силикатными фазами и щелочным гидротермальным раствором при 500°C и 1 кбар. Содержания РЗЭ определялись ИСП-МС, в эксперименте использовался внутренний пробоотбор. Результаты показывают зависимость K_D от окислительно-восстановительного потенциала среды. Коэффициенты распределения КППШ/Ni-слюда сохраняют приблизительное постоянство по всему ряду РЗЭ, но зависят от концентрации РЗЭ. В ходе экспериментов синтезированы новые фазы силиката европия и калия с ячейкой пеллиита.

Обобщена схема формирования различных типов парогидротерм Южной Камчатки в рамках шестнадцатирезервуарной модели, в которой учтен подъем флюида по проницаемым зонам, вскипание водного раствора с образованием парогидротерм в области перехода «пар-вода», интенсивное смешение восходящих глубинных гидротерм и их конденсата с более холодными подземными и метеорными водами. На основе предложенной модели было проведено исследование форм нахождения вещества в гидротермальном растворе в различных термодинамических обстановках гидротермальных систем, характерных для Курило-Камчаткой островной дуги.

**№122. «Геохимические и биологические факторы миграции химических элементов в геосистемах» (координатор д.г.-м.н. А.Б. Птицын) –
руководитель блока д.г.-м.н. В.И. Гребенщикова**

- Исследованы закономерности биоаккумуляции ртути в пищевых цепях окуня (*Perca fluviatilis L.*) из двух водохранилищ Ангарского каскада ГЭС с разной степенью техногенной нагрузки: Братского водохранилища – техногенно загрязненный ртутью водоем и Иркутского водохранилища – водоем, слабо подверженный техногенной эмиссии ртути. Для определения степени накопления ртути гидробионтами и объективной оценки возможности контроля состояния водных экосистем рассчитаны коэффициенты биологического накопления ртути, выражающие отношение концентрации ртути в живых организмах различных трофических уровней к ее содержанию в воде (K_a) и в донных осадках (K_o).

Оценку концентрирования ртути гидробионтами по мере ее продвижения по пищевым цепям, от низших трофических уровней к высшим, проводили путем расчета коэффициентов биомагнификации (K_b) (Рис. 90). Как видно из рисунка, все исследуемые гидробионты обоих водохранилищ в значительной степени концентрируют в своих организмах ртуть по отношению к водной среде. Однако, фитопланктон, первичное звено пелагических пищевых цепей, аккумулирующий ртуть только из воды, играет наиболее важную роль в изъятии этого ксенобиотика из водной среды и передаче на более высокие трофические уровни. Коэффициент биоаккумуляции ртути планктонными водорослями превышает несколько тысяч раз, в то время, как коэффициент биомагнификации на последующих трофических уровнях, в которых основной поток ртути идет из потребляемой пищи, составляет лишь единицы и десятки. Следовательно, именно фитопланктон, обладающий огромной биомассой, имеет решающее значение во введении ртути в пищевые цепи гидробионтов.



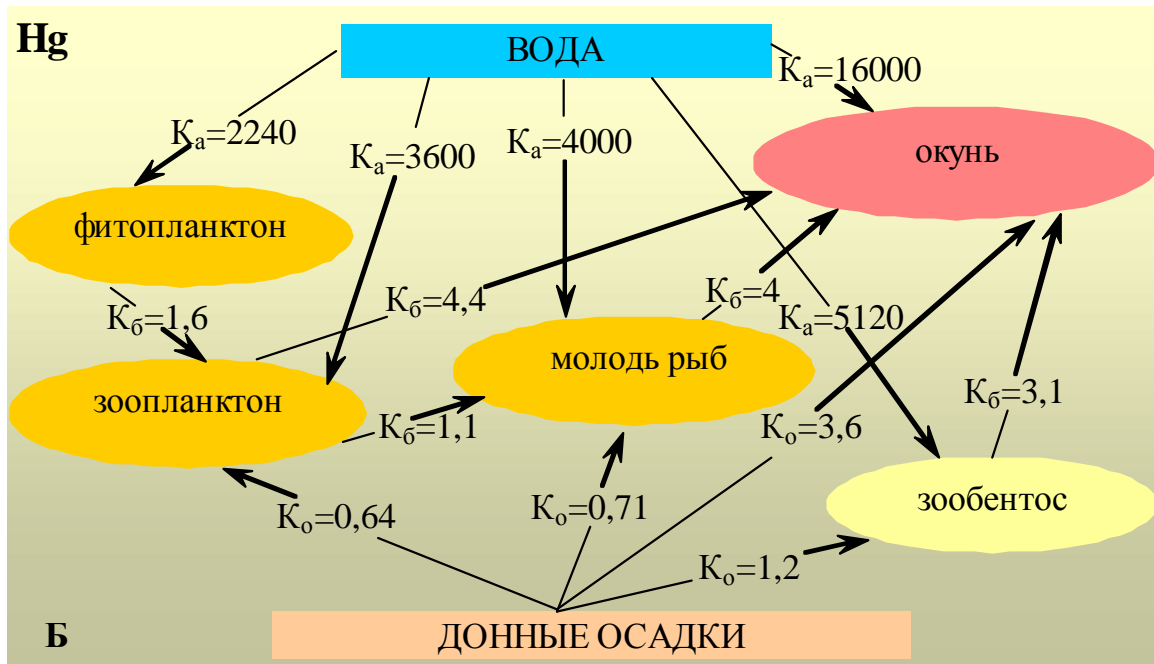


Рис. 90. Биоаккумуляция и биоматрификация ртути в пищевых цепях окуня Ангарских водохранилищ. **А** – верхняя часть Братского водохранилища; **Б** – Иркутское водохранилище. $K_a = C_{Hg (r)} / C_{Hg (в)}$; $K_o = C_{Hg (r)} / C_{Hg (до)}$, где $C_{Hg (r)}$, мг/кг сырого веса, - концентрация ртути в гидробионтах; $C_{Hg (в)}$, мг/л – то же в воде, $C_{Hg (до)}$, мг/кг сырого веса - то же в донных осадках. $K_b = C_{Hg (к)} / C_{Hg (п)}$, где $C_{Hg (к)}$, мг/кг сырого веса, - концентрация ртути в консументах; $C_{Hg (п)}$ – то же в пищевых объектах.

Следует отметить, что окунь в Братском и Иркутском водохранилищах имеет одинаковые пищевые цепи: 1) фитопланктон – зоопланктон – окунь; 2) фитопланктон – зоопланктон – молодь рыб – окунь; 3) бентос – окунь. Основные компоненты питания – зоопланктон, бентос и молодь частичковых рыб составляют близкий по процентам вклад в пищевой рацион окуней. Сравнительный анализ бионакопления ртути в водных экосистемах, с резко отличающимся уровнем техногенной нагрузки, показал значительные различия в коэффициентах биоаккумуляции, особенно в верхних трофических уровнях. Так, например, в окуне Братского водохранилища коэффициент биоаккумуляции ртути относительно ее содержания в воде почти в 22 раза превосходит таковой Иркутского водохранилища, определяясь числом более, чем в 300000 раз. В других звеньях пелагических трофических цепей коэффициенты биоаккумуляции также были заметно выше – в фитопланктоне в 3 раза, в зоопланктоне – в 6,7 раз, в молоди рыб – в 10,5 раз. Коэффициент бионакопления в бентосе по отношению к донным осадкам в Братском водохранилище был значительно ниже 1, а по

отношению к воде он составлял более 10000, но не превышал значения таких же коэффициентов в пелагической цепочке водных животных. Обратная картина наблюдается в Иркутском водохранилище, где аналогичный бентосный коэффициент был выше 1, а коэффициент бионакопления по отношению к воде превосходил таковые для других звеньев пищевой цепи, кроме окуня. Низкие значения коэффициента передачи ртути из донных осадков в бентос говорят в первую очередь, не о слабых ртутных потоках в бентосной цепочке, а указывают на существенное загрязнение донных осадков неорганическими формами ртути, которые имеют слабое сродство с белками и липидами и незначительно накапливаются в живых организмах. В связи с чем, мы получаем невысокий коэффициент биологического накопления $C_{\text{Hg (бентос)}} / C_{\text{Hg (до)}}$.

В стабильной экосистеме Иркутского водохранилища с фоновыми содержаниями ртути в абиотических и биотических компонентах окружающей среды коэффициенты биомагнификации на всех трофических уровнях невысокие и не изменяются более чем в 4 раза. Напротив, в Братском водохранилище, находящемся под сильным воздействием техногенного ртутного загрязнения, разброс значений коэффициентов биомагнификации может быть выше одного порядка, что говорит о нестабильности экосистемы водоема.

Резюмируя вышесказанное, отметим, что использование коэффициентов биоаккумуляции и биомагнификации в оценке накопления и путей миграции ртути по трофическим цепям дает нам возможность более объективно сделать заключение о поведении этого металла в водных экосистемах, определить характер и масштабность ртутного загрязнения, дать важные дополнительные сведения к вопросу о биогеохимических циклах тяжелых металлов.

№142. «Позднекайнозойская эволюция литосферы и орогенция Центральной Азии и их влияние на изменение окружающей среды и климата: по данным изучения внутриплитового вулканизма и глубоководных осадочных кернов озер Байкал и Хубсугул» (координатор академик М.И. Кузьмин, К.Л. Ванг, Institute of Earth Sciences, Academia Sinica (Taiwan)) – руководители блока академик М.И. Кузьмин, к.г.-м.н А.Б. Перепелов

- Проект направлен на изучение состава литосферы, процессов

континентального рифтогенеза и закономерностей геохимической эволюции сопряженного с ним вулканизма с установлением их роли в изменении окружающей среды и климата. В ходе реализации проекта на основе изотопно-геохимических исследований кайнозойских магматических комплексов и осадочных бассейнов (мантийные ксенолиты, базальты и озерные осадки) проводится оценка связей между кайнозойскими процессами орогенеза, вулканизмом, эволюцией литосферы и мантии с целью определить их совместную роль в формировании климата Центральной Азии.

Изучены вопросы происхождения орогенических поясов, проблемы аккреции при формировании составных континентов, в частности Азиатского континента, центральное место в котором занимает Центрально-Азиатский складчатый пояс. Изучены процессы образования сложных террейнов, которым в том числе является остров Тайвань. Принадлежность террейнов к крупным континентальным массивам изучены на основании датирования цирконов из базального осадочного горизонта толщи Тувино-Монгольского микроконтинента (террейна). Показано, что первоначально он не был составной частью Сибири, а был сочленен с Гарганским блоком. Показана перспективность Nd-Sr систематики гранитоидов для решения вопросов отнесения различных малых континентальных массивов, которые были аккретированы островными дугами, к определенным орогенным поясам. Рассмотрен внутриплитовый магматизм Сибири, что позволяет нам утверждать, что в течение всего фанерозоя Сибирский континент дрейфовал над Африканским горячему полю мантии. Эти данные свидетельствуют о том, что формирование геодинамических обстановок, развивавшихся согласно теории тектоники плит, усложняется в связи с взаимодействием их с плюмами. Продолжены исследования позднекайнозойского внутриплитового магматизма Байкальского региона. Большое значение имеют результаты работ по литосферной мантии Центрально-Азиатского складчатого пояса на основании данных по Re-Os изотопной систематике. Получены первые данные по этой провинции, которые показывают наличие здесь литосферной мантии разного

возраста от архея до протерозоя. Показана перспективность использования нетрадиционных изотопных систем: Ca, Fe, Zn, Cd и др. для изучения палеоклимата по Байкальским осадкам.

Поведен сравнительный анализ климатических изменений позднего кайнозоя Прибайкалья с палеоклиматическими записями из ключевых разрезов Северо-Атлантического региона и Центральной Азии. Показано, что возраст горных систем Хангая и Саян в целом является молодым. Поднятие этих гор произошло около 3 млн лет назад. Начало процессов горообразования в пределах Хангая и Саян хорошо согласуется со временем зарождения горных систем Алтая, свидетельствуя, что новейшее горообразование, охватившее соответствующую часть Центральной Азии, было инициировано практически одновременно по всей этой гигантской территории в интервале времени между 4 и 3 млн лет назад. Этот процесс совпал со временем активизации вулканической деятельности в регионе, что не может быть случайным и свидетельствует об активности мантийных плюмов, контролирующей вулканическую деятельность в регионе.