

---

**ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО  
КОНКУРСНЫМ ПРОГРАММАМ РАН И СО РАН**

---

**Проекты программы фундаментальных исследований Президиума РАН**

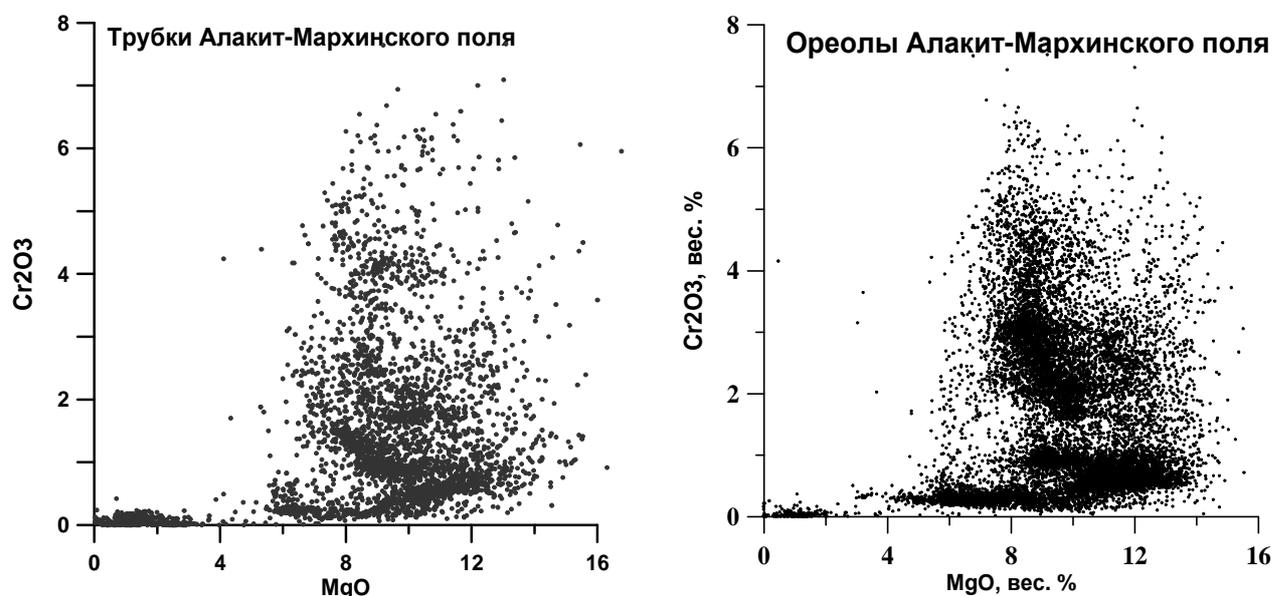
---

**№ 27.1 «Фундаментальные основы инновационных технологий прогнозирования коренных месторождений алмазов различных генетических типов для геологических условий С-В и Ю-З Сибирской платформы и оценка прогнозных ресурсов алмазов перспективных районов этих территорий)» (академик РАН Н.П.Похиленко)  
*руководитель блока д.г.-м.н. С.И. Костровицкий***

---

**Усовершенствование минералогических методов поисков путем использования паспортных данных по составу минералов-спутников уже выявленных кимберлитовых тел на примере Алаakit-Мархинского поля.**

• Сравнение обобщенных графиков  $MgO-Cr_2O_3$  для всех трубочных тел (3815 анализов) и ореолов (14440 анализов) из Алаakit-Мархинского поля показывает (Рис. 103) их достаточно хорошее подобие, а это, в свою очередь, свидетельствует о пространственной близости изучаемых ореолов от коренных источников сноса минералов. На обоих графиках оказались отраженными основные тренды, характерные для Алаakit-Мархинского поля.



**Рис. 103.** Обобщенные графики распределения состава Pt для трубочных тел и ореолов рассеяния из Алаakit-Мархинского поля.

**№ 27.2 «Высокопродуктивные этапы формирования благороднометалльного оруденения Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Au-As, Au-Sb, Ag-Sb, Ag-Hg, Ag-Ni-Co)»**

(д.г.-м.н. А.С.Борисенко, д.г.-м.н. А.М.Спиридонов)  
*руководитель блока д.г.-м.н. А.М. Спиридонов*

• Исследования по проекту направлены на определение путей поиска решения наиболее сложных проблем геохимии рудных месторождений – проблем источников рудного вещества, особенностей генезиса, поведения отдельных элементов на различных стадиях процесса рудообразования, основываясь на изучении типоморфизма и типохимизма минералов и минеральных поверхностей.

Основные результаты, полученные в ходе выполнения проекта, сводятся к следующему:

Завершено комплексное исследование типоморфизма пирита месторождения Сухой Лог с помощью объемных и поверхностных методов: рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), оже-электронной спектроскопии (ОЭС), атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в версии статистической выборки аналитических данных для монокристаллов (СВАДМ), атомно-электронной спектроскопии (АЭС).

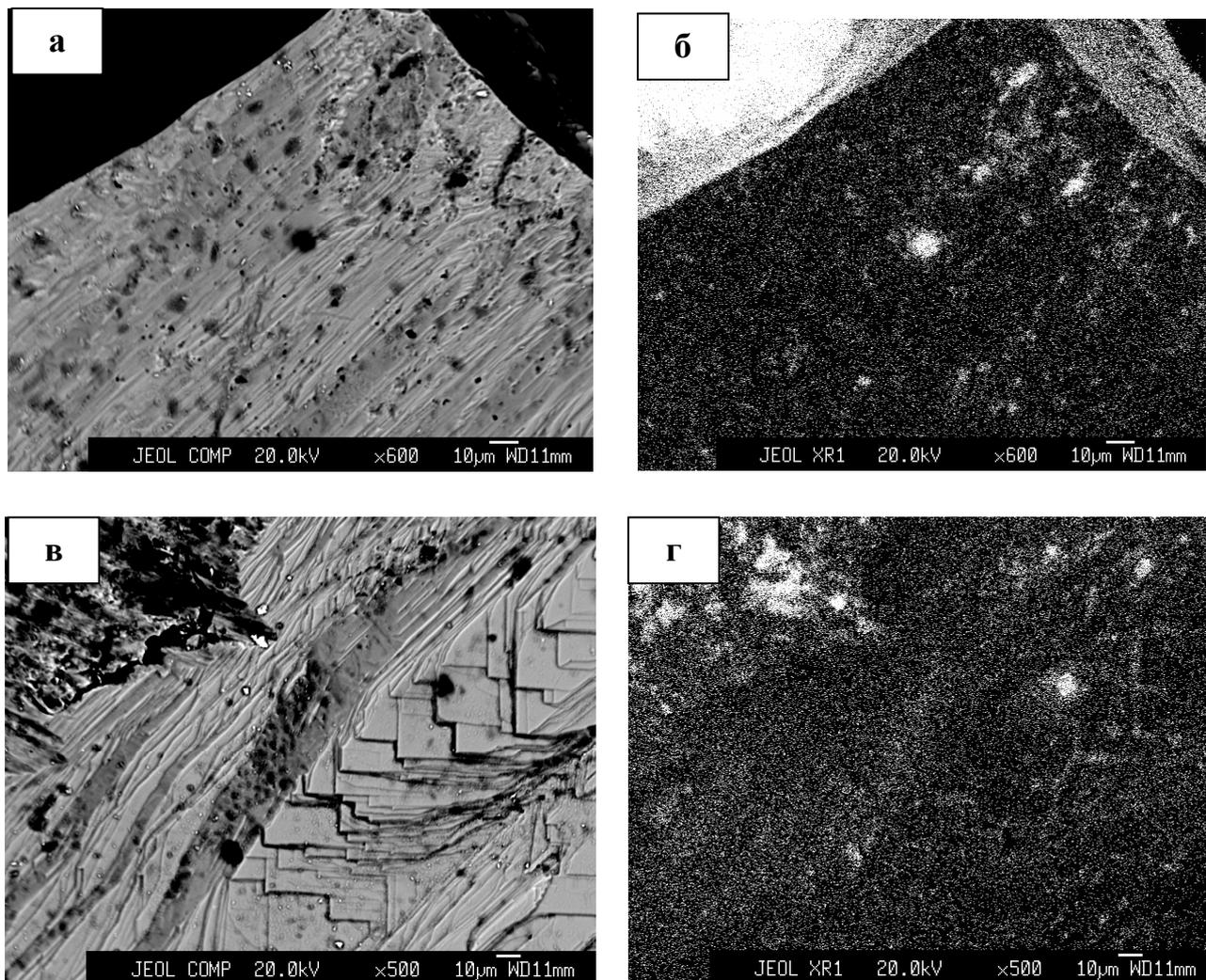
Согласно данным РФЭС С 1s, около 30 ат.% С в пирите присутствует в форме соединений углерода со связями С-NH<sub>2</sub>, С-OH, С-O-C (Табл. 7)

Таблица 7

Данные РФЭС углерода в образцах кристаллов пирита, истертых непосредственно перед съемкой

Образец	Фотоэлектронный пик	Е, эВ	П, эВ	ат.%	Отнесение пика
109p-153,8	С 1s	284.7	2.7	53	Элементный С (графит и др.), углеводороды (С-Н, С-С)
		286.4	3.5	34	Соединения со связями С-NH <sub>2</sub> , С-OH, С-O-C
		290.0	4.0	13	Карбонат
42-54	С 1s	284.6	2.2	40	Элементный С (графит и др.), углеводороды (С-Н, С-С)
		285.9	3.0	27	Соединения со связями С-NH <sub>2</sub> , С-OH, С-O-C
		288.7	4.0	33	Карбонат

Типоморфными для сухоложского пирита являются тонкопленочные образования, обогащенные O и S, а также микро- и наноразмерные включения углеродистых фаз, а также ультрадисперсный C, декорирующий дефекты кристаллов и их поверхностей (Рис. 104).



**Рис. 104.** Растровые изображения участков скола кристалла пирита (проба 42-54) в обратно рассеянных электронах (а, в) и в рентгеновских лучах углерода (б, г).  
Увеличение 600X (а, б) и 500X (в, г).

Видны включения углеродистых фаз разного размера. Микрочастицы располагаются в полости или каверне (центр снимка (в)), субмикроскопические частицы декорируют границы блоков (г).

---

**№ 4.3. «Роль новейшего вулканизма и горообразования и процессы адаптации природной среды к изменениям климата в Центральной Азии»**

**(академик РАН М.И.Кузьмин)**

***руководители блока академик М.И.Кузьмин, к.г.-м.н А.Б. Перелов***

---

**Получение новых данных о возрасте, морфологии и составе пород вулканических ареалов Южно-Байкальской вулканической области. На основе сопоставления данных о морфологии и возрасте проявлений неоген-четвертичного вулканизма оценка их индикаторной роли в процессах горообразования и изменений климата в Южном Прибайкалье и Северной Монголии.**

**• Неогеновый щёлочно-базальтовый вулканизм Дархатской впадины (Северная Монголия): новые геолого-геохимические данные.**

Неогеновые базальтоиды Дархатской впадины относятся к субщелочной и щелочной К-На серии внутриплитного геохимического типа ( $Ba/Nb = 6.1-9.4$ ). Все без исключения породы структуры имеют Ne-нормативный состав ( $Ne_N = 1.2-14.3 \%$ ). Вещественные характеристики базальтоидов первого и второго этапов магматического развития структуры существенно различаются. Гавайиты раннего этапа в сравнении с гавайитами второго этапа обладают более высокими содержаниями  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$  и элементов LILE, LREE и HFSE групп ( $La/Yb = 16.9-19.5$  против  $12.0-16.6$ ). Базальтоиды вулканического центра г. Их Эсам-уул, отнесенные нами к гавайитовой группе, имеют, тем не менее, переходные вещественные характеристики между гавайитами других участков впадины, с одной стороны, и базанитами и фонотефритами структуры, с другой. Следует отметить, что гавайиты второго этапа характеризуются в целом более высокой магнезиальностью и более высокими концентрациями Co, Cr и Ni. Фонотефриты раннего этапа среди всех других типов базальтоидов Дархатской впадины выделяются высокой суммарной щелочностью, высокими концентрациями  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  и большинства LILE, LREE и HFSE редких элементов ( $La/Yb = 20.6-22.3$ ). Трахибазальты этой возрастной группы имеют специфические вещественные характеристики. Они

выражаются не только в относительно более высокой кремнекислотности трахибазальтов, но и в значительно более низких содержаниях в них  $Al_2O_3$ , CaO и Y по отношению к гавайитам, базанитам и фонотефритам. Породы этого типа отличаются также значительно более высокими концентрациями  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ , Sr и высокой степенью фракционирования REE ( $La/Yb = 27.9-32.0$ ). Базаниты р. Хогоргын-гол характеризуются обогащением LILE, LREE и HFSE компонентами по отношению к гавайитам второго этапа.

**• Оценка различий в ландшафтах Восточного и Западного Забайкалья в связи с разделением этих регионов высокими горами возле оз. Байкал.**

Детальное исследование обилия створок диатомовых водорослей в керна скв. BDP-96 выявило отчетливую запись двух ключевых глобальных похолоданий: при переходе от плиоцена и плейстоцену – 2.82-2.48 млн л.н. и на уровне ранее существовавшей границы плиоцена-плейстоцена – 1.796 млн л.н. [Кузьмин и др., 2009<sup>37</sup>]. Сравнение полученной записи изменения природно-климатической обстановки внутриконтинентальной части Евразии с глобальным стратотипом – записью изменения  $\delta^{18}O$  в створках фораминифер из отложений Тихого океана, показало хорошее совпадение времени и особенностей проявления обоих похолоданий и подтвердило связь климатической системы Байкальского региона с глобальной системой.

Так, около 2.7 млн л.н. произошло закрытие Центрально-Американского перешейка, что оказало сильное воздействие на всю океанографию северной части Атлантики, сдвинув поступление относительно пресноводных поверхностных и субповерхностных вод Тихого океана в Атлантику [Schmidt, 2007<sup>38</sup>]. Последствием этого стала усилившаяся меридиональная циркуляция северо-атлантических глубинных вод.

В это же время, около 2.72 млн л.н. произошло и существенное поднятие

---

<sup>37</sup> Кузьмин М.И., Хурсевич Г.К., Прокопенко А.А., Феденя С.А., Карабанов Е.Б. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалам глубоководного бурения). Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 374 с.

<sup>38</sup> Schmidt D.N. The closure history of the Central American seaway: evidence from isotopes and fossils to models and molecules. In: Williams M., Haywood A.M., Gregory F.J., Schmidt D.N. (Eds.). Deep-time perspectives on climate change: marrying the signal from computer models and biological proxies. The Micropalaeontological Society, Special Publications. The Geological Society, London, 2007. P. 429-444.

Тибетской горной страны и горных систем Байкальского региона, также изменившее глобальную систему атмосферной циркуляции Северного полушария и всей Земли. Именно в это время имела место смена типов и условий осадконакопления в Лессовом Плато [Sun et al., 2006<sup>39</sup>], когда произошел переход от аккумуляции красных глин к накоплению лессово-почвенных осадочных серий, подтверждая, что у этого возрастного рубежа стала действовать атмосферная связь между климатическими системами высоких и средних широт. Начало оледенения Северного полушария около 2.7 млн л.н. подтверждают и результаты исследования изменчивости видового состава сообществ фитопланктона в субарктической части Тихого океана [Shimada et al., 2009<sup>40</sup>].

**• Результаты изучения палео-Манзурского аллювия и оценка времени формирования стока из оз. Байкал через реку Пра-Манзурка в реку Лена.**

По данным изучения осадков в дельте р. Селенга было зафиксировано два события резкого обмеления Байкала – во время изотопных стадий 5 и 3 [Urabe et al., 2004<sup>41</sup>]. Первое событие по времени совпадает с термолюминесцентной датировкой, т.е. в рамках нашей модели связано с катастрофическим спуском воды из озера через долину палео-Манзурки. Второе событие по времени близко к предполагаемому образованию Ангарского стока в результате тектонического опускания блока в районе современного истока Ангары [Mashiko et al., 1997<sup>42</sup>].

Изучение вариаций изотопных отношений стронция в осадках Байкала (как в диатомовых, так и терригенных) показало, что начиная примерно со 100 тыс лет назад изотопные отношения стронция резко скачкообразно увеличились [Кузьмин и др., 2007<sup>43</sup>]. В качестве объяснения такого скачка было предложено

---

<sup>39</sup> Sun Y., Clemens S.C., An Zh., Yu Zh. Astronomical timescale and palaeoclimatic implication of stacked 3.6-Myr monsoon records from the Chinese Loess Plateau // Quaternary Science Reviews. 2006. V. 25. P. 33-48.

<sup>40</sup> Shimada Ch., Sato T., Yamasaki M., Hasegawa Sh., Tanaka Yu. Drastic change in the late Pliocene subarctic Pacific diatom community associated with the onset of the Northern Hemisphere Glaciation // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2009. V. 279, № 3-4, P. 207-215.

<sup>41</sup> Urabe A., Tateishi M., Inouchi Y., Matsuoka H., Inoue T., Dmitriev A., Khlystov O.M. Lake-level changes during the past 100,000 years at Lake Baikal, southern Siberia. Quaternary Research. 2004. v. 62. P. 214-222.

<sup>42</sup> Mashiko K., Kamaltynov R.M., Sherbakov D.Yu., Morino H. Genetic differentiation among gammarid (*Eulimnogammarus cyaneus*) populations by localized topographic changes in ancient Lake Baikal // Archive fur Hydrobiology. 1997. V. 139. P. 379-387.

<sup>43</sup> Кузьмин М.И., Дриль С.И., Сандимиров И.В., Сандимирова Г.П., Гелетий В.Ф., Чуканов В.С., Калмычков Г.В., Бычинский В.А. Вариации изотопного состава Sr в осадочном разрезе оз. Байкал // Доклады академии наук. 2007. Т. 412. С. 530-534.

скачкообразное поступление берегового материала в воду из-за катастрофического землетрясения, подобного тому, что привело к формированию залива Провал. Такая интерпретация полностью согласуется с моделью катастрофического образования палео-Манзурского стока.

По результатам работ по проекту сделан вывод о времени формирования палео-Манзурского аллювия на границе среднего-позднего плейстоцена  $\sim 117 \pm 28$  тыс лет назад.

---

**Подпрограмма «Проблемы опустынивания»**

**Проект № 4.9. «Отклик ландшафтно-климатических систем Восточной Сибири на изменения атмосферной циркуляции: связь с процессами опустынивания в позднем кайнозое (по материалам озерных и торфяных отложений)»**

**(академик РАН М.И.Кузьмин)**

***руководитель блока д.г.н. Е.В.Безрукова***

---

• **Получена первая датированная запись изменения ландшафтов и климата Беклемишевской котловины в позднеледниковье и голоцене по данным палинологического анализа донных отложений оз. Арахлей.**

Озеро Арахлей находится в 70 км к западу от г. Чита на высоте 965 м н. у.м, в Беклемишевской котловине. В расходной части водного баланса озера преобладает испарение (80%), что позволяет предполагать высокую чувствительность экосистемы озера и связанного с ним осадконакопления к изменениям климата. В районе доминируют лиственничные леса из лиственницы Гмелина. Небольшие территории заняты сосной и берёзой. По берегам озёр распространены мезоксерофильные степи.

Керн озерных отложений длиной 166 см с ненарушенной последовательностью слоёв был изучен методом палинологического анализа с шагом 3 см. Возрастная модель осадочного разреза отложений озёра Арахлей базируется на трех определениях радиоуглеродного возраста методом ускоренной масс-спектрометрии, проведенном в Польше. Временное разрешение полученной палинологической записи в среднем составляет около 250 лет.

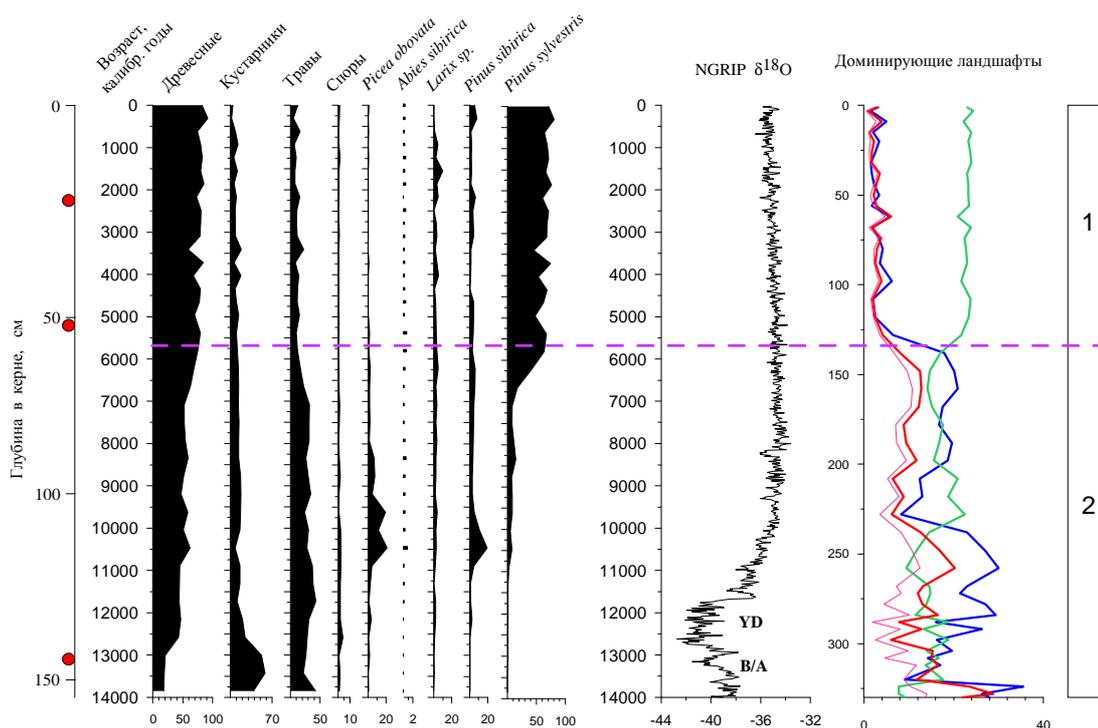
Первая палинологическая запись из донных осадков озера Арахлей, датированных AMS<sup>14</sup>C методом, позволила восстановить динамику

климатических условий, локальной и региональной растительности Беклемишевской котловины и вблизи оз. Арахлей и выделить основные рубежи её смен за последние 14500 лет. Растительный покров этой территории до 13500 л.н. характеризовался мозаичностью, сочетанием влажных заболоченных и остепненных группировок в условиях холодного климата с недостаточным атмосферным и высоким почвенным увлажнением. Последнее могло быть связано с развитием многолетней мерзлоты, которая летом была источником почвенной влаги.

С потеплением около 13500-12800 л.н. (интерстадиал Аллерёд европейской шкалы) на территории началось расселение древесной и кустарниковой растительности с преобладанием лиственницы, берёзы и участием ели. Около 12850-11750 л.н. (стадиал Поздний Дриас) в составе локальной растительности вблизи оз. Арахлей доминировали кустарниковые и травяные тундры с примесью лиственницы и ели. В составе региональной растительности преобладали березовые группировки. Сравнение характера растительности Позднего Дриаса Беклемишевской котловины с Западным Забайкальем и Прибайкальем показывает, что в Беклемишевской котловине еловые лесотундры распространились не так широко. Умеренно-теплый и влажный климат наступил после ~ 10500 л.н. и привел к распространению древесной растительности из лиственницы, ели, берёзы. Максимум развития темнохвойных лесов из сосны сибирской, ели с участием пихты имел место ~10500-9000 л.н., означая наступление регионального оптимума с мягкими и снежными зимними сезонами, высокой влажностью и почв, и воздуха. Завершение максимума темнохвойных влажных лесов в Беклемишевской котловине имело место около 9000 л.н., совпадая с его окончанием в соседних регионах.

Изменение состава реконструированной растительности 9000-8000 – 6500 л.н., когда стали преобладать лиственничные и березовые группировки с участием сосны обыкновенной, позволяет предполагать ухудшение климата Беклемишевской котловины. Около 6500 л.н. произошло резкое изменение состава доминант лесного комплекса котловины с темнохвойных на

светлохвойные и началось формирование облика ландшафтов, близкого к современному с господством сосны и лиственницы. Время экспансии сосны на исследованной территории хорошо совпадает с ее широким распространением по всему Сибирскому региону, подтверждая, что основной причиной изменчивости природной среды Беклемишевской котловины является глобальное изменение климатической системы. В целом, реконструированные изменения природной среды Беклемишевской котловины хорошо соотносятся с ее вариациями в прилегающих регионах Центральной Азии.



**Рис. 105.** Изменение обилия пыльцы древесных таксонов, формирующих определенные ландшафты в Беклемишевской котловине за последние 14000 лет в сравнении с вариабельностью содержания  $\delta^{18}\text{O}$  в глобальном стратотипе (Гренландский ледник). Красные кружки – положение датированных уровней. В шкале Доминирующие ландшафты синий цвет – тундровые ландшафты, зеленый – таежные, яркий красный – степные, яркий розовый – пустынные.

• **Изучен характер распределения С, N, P, хлорофилла-а в торфяных отложениях из южной части бассейна оз. Байкал.**

Для этого были отобраны 312 проб из колонки торфяных болот Выдрино. Установлено неравномерное распределение  $\text{C}_{\text{общего}}$ ,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  и хлорофилла-а. Размах колебаний  $\text{C}_{\text{общего}}$  составил 5.71-22.56 % сухого веса,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  – 0.01-2.43 %, хлорофилла-а – 0.03-1.19 % сухого веса, влажности – 0.12-87.8 %. Более 60%  $\text{C}_{\text{общ.}}$  составляют концентрации 10.0-15.0 %,  $\text{N}_{\text{общ.}}$  меньше 0.5 % - 99 %, около 50%

приходится на концентрацию хлорофилла-а 0.20-0.60%. Процентное содержание азота и фосфора в органическом веществе может служить качественной характеристикой этого вещества. Содержание общего азота в органическом веществе колонки 0-317см низкое: меньше 0.1% составляет 62%, 33% приходится на концентрации от 0.1 до 0.5%, что говорит о терригенном происхождении органического вещества. Следует отметить, что при расчете органического вещества использовался коэффициент 2 [Пономарева, Плотникова, 1967<sup>44</sup>].

Величины отношений C:N и C:P используются и для генетической характеристики органического вещества природных вод. Большой размах их отношений характерен для органического вещества терригенного происхождения, небольшой – для органического вещества в основном планктонного происхождения.

Отношение C:N использовалось и для определения источника вещества органических осадков (автохтонного и аллохтонного). Отношение в озерном первично автохтонном органическом материале приближается к 8-10 из-за высокого содержания протеина в водорослях, фито- и зоопланктоне. Это отношение очень велико в веществе, имеющем древесное происхождение (78-110 для листьев деревьев) из-за высокого содержания в древесине материала, не содержащего протеин. Значения отношений C:N в исследованном керне подтверждают древесное (97%) происхождение аллохтонного органического вещества.

С глубиной величины атомных отношений C:N увеличиваются, что, несомненно, связано с минерализацией аллохтонного органического вещества древесного происхождения. По пониженным величинам отношений C:N можно судить о поступлении свежего органического вещества, которое затем минерализуется, в результате чего это отношение повышается, такие ситуации по времени согласуются с влажностью. Более минерализованное органическое вещество находится на глубине 240-300 см.

---

<sup>44</sup> Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) // Почвоведение, 1967, № 7, С. 85-95.

**• Исследованы озерно-болотные отложения методом РФА СИ с применением стандартных образцов состава природных сред.**

Работы были выполнены на экспериментальной станции «Рентгенофлуоресцентный элементный анализ» в ЦКП «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения». Проведена оценка пригодности методики измерений для анализа состава озерно-болотных, в том числе и торфяных отложений, основанной на методе рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения и разработанной для анализа горных пород. Для этого использовали три стандартных образца состава элодеи канадской (ЭК-1), травосмеси (Тр-1) и листа березы (ЛБ-1). Для получения информации об элементном составе донных отложений требовался многоэлементный метод анализа, позволяющий работать с малым количеством материала, такой, как рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения (РФА СИ), получивший широкое применение при проведении палеоклиматических исследований. Ранее было установлено, что используемая методика измерений на основе РФА СИ дает достоверную информацию о составе донных отложений озер. Однако необходимо было оценить возможность применения данной методики для анализа состава торфа озерно-болотных отложений, так как они отличаются по составу от донных осадков, имеют повышенное содержание органического вещества, что делает их сходными с растительными материалами. В результате проведенного эксперимента была оценена возможность применения методики измерений. Согласованность результатов в выборке оценивали по хи-квадрат критерию, существование возможных выбросов – вычисляя статистику Граббса, правильность полученных средних результатов – по t-критерию. Методика показывает приемлемую правильность определения калия в диапазоне 0.7-3.2 млн<sup>-1</sup>, кальция в диапазоне 1.6-2.8 млн<sup>-1</sup>, железа в диапазоне 0.07-0.26 млн<sup>-1</sup>, мышьяка в диапазоне 0.2-0.8 млн<sup>-1</sup>, брома в диапазоне 3-33 млн<sup>-1</sup>, кобальта в диапазоне 0.2-1.5 млн<sup>-1</sup>, меди в диапазоне 7-11 млн<sup>-1</sup>, галлия в диапазоне 0.02-

0.08 млн<sup>-1</sup>, марганца в диапазоне 50-1000 млн<sup>-1</sup>, рубидия в диапазоне 0.3-0.9 млн<sup>-1</sup>, стронция в диапазоне 70-180 млн<sup>-1</sup>, титана в диапазоне 33-77 млн<sup>-1</sup>, иттрия в диапазоне 0.2-0.7 млн<sup>-1</sup> и цинка на уровне 90 млн<sup>-1</sup>.

Диапазоны сформированы с учетом содержания элементов в примененных для анализа ГСО состава элодеи канадской (ЭК-1), травосмеси (Тр-1) и листа березы (ЛБ-1) и результатов статистической обработки полученных данных.

Методику можно рекомендовать для получения аналитических данных при исследованиях озерно-болотных отложений с целью получения геохимической информации и аттестациях стандартных образцов растительного состава, в том числе при оценке однородности и межлабораторных экспериментах, в частности, когда аттестуемыми характеристиками являются массовые доли таких важных при палеоклиматических реконструкциях и экологическом мониторинге элементов, как бром и мышьяк.

---

**Проекты программы фундаментальных исследований  
Отделения наук о Земле РАН**

---

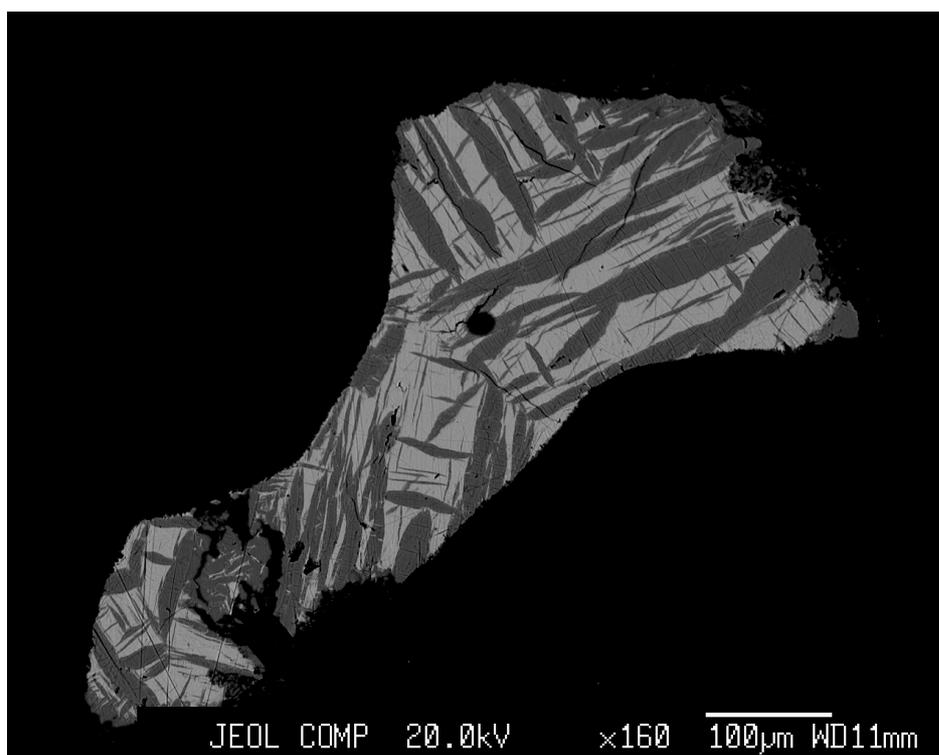
**ОНЗ-2.1. «Платино-металльные месторождения Восточно-Сибирской  
металлогенической провинции южного обрамления Сибирской платформы:  
возрастные рубежи, геолого-генетические модели и физико-химические условия  
формирования, оценка перспектив»**

(чл.-к. РАН Г.В.Поляков, д.г.-м.н. Н.Д.Толстых)

*руководитель блока к.г.-м.н. А.С.Механошин*

---

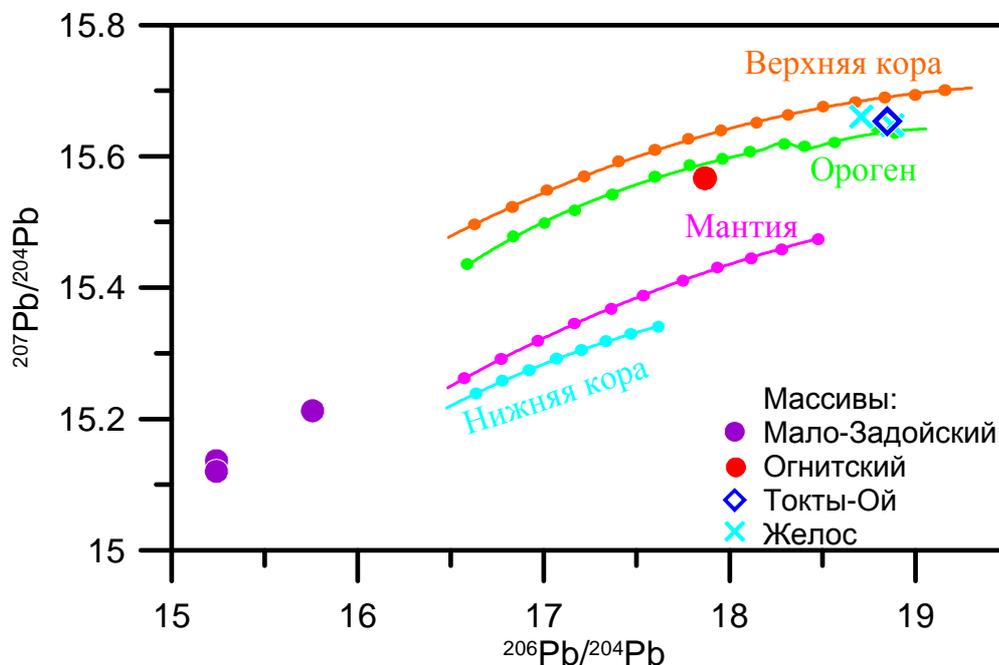
- Установлено, что сульфидные парагенезисы массивов Токты-Ой и Правохайламинского обладают характерными особенностями, обусловленными как магматическими, так и постмагматическими процессами. Существенные различия в количестве сульфидов меди в этих массивах можно объяснить кристаллизацией их фракционирующего сульфидного расплава.



**Рис. 106.** Структуры распада в виде ламелей пентландита и халькопирита в борните.

- Данные по изотопному составу свинца вкрапленных и массивных руд из ультрабазитовых массивов Алхадырского террейна и Шарыжалгайского выступа Сибирского кратона свидетельствуют о том, что наиболее примитивными изотопными составами обладают руды из Мало-Задойского (Шарыжалгайский выступ) и Огнитского (Алхадырский террейн) массивов. Сульфидные руды из

массивов Желос и Токты-Ой характеризуются более высокими содержаниями свинца и являются более радиогенными, что может быть связано с их частичной или полной ремобилизацией и перекристаллизацией гидротермальными флюидами после становления интрузий.



**Рис. 107.** Диаграмма изотопных отношений свинца для сульфидных руд ультрабазитов Восточного Саяна/ Линии эволюции изотопного состава свинца в различных резервуарах по [Zartman, Haines, 1988<sup>45</sup>], точки вдоль каждой кривой указывают на приращение возраста в 100 млн лет

<sup>45</sup> Zartman R.E., Haines S.M. The plumbotectonic model for Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs – a case for bi-directional transport // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1988, V. 52, P. 1327-1339.

---

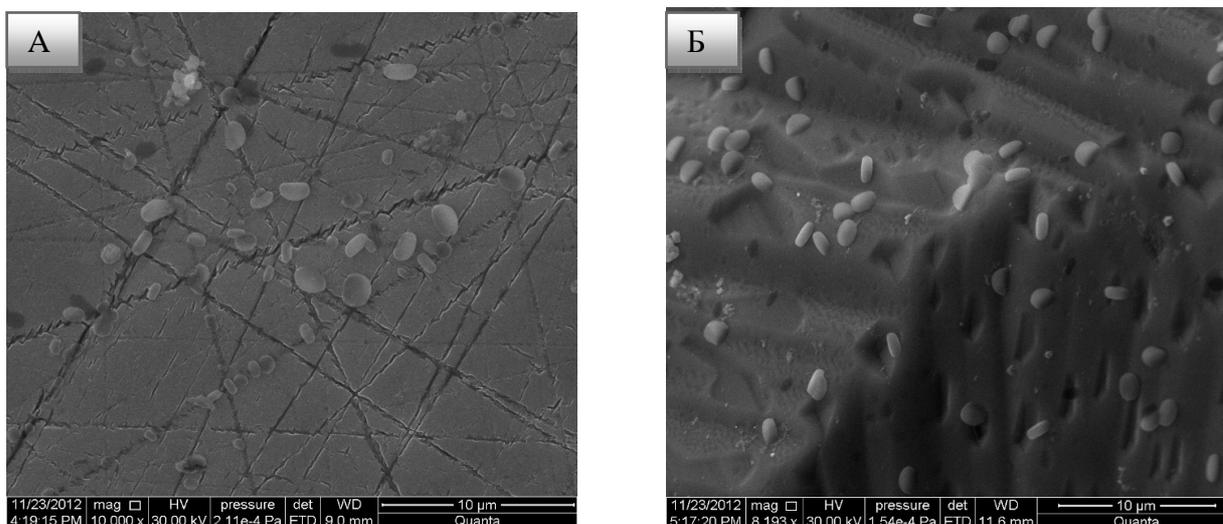
**ОНЗ-5.1. «Наноразмерные компоненты в геологических средах, процессах концентрирования благородных металлов и формирования алмаза (по экспериментальным и природным данным)» (академик РАН Н.В.Соболев)  
руководитель блока д. х. н. В.Л.Тausон**

---

Сравнительное изучение микро- и нано-морфологии поверхностей минералов, сформировавшихся при участии бактериальных процессов, и минералов, полученных экспериментально и подвергнутых воздействию микроорганизмов.

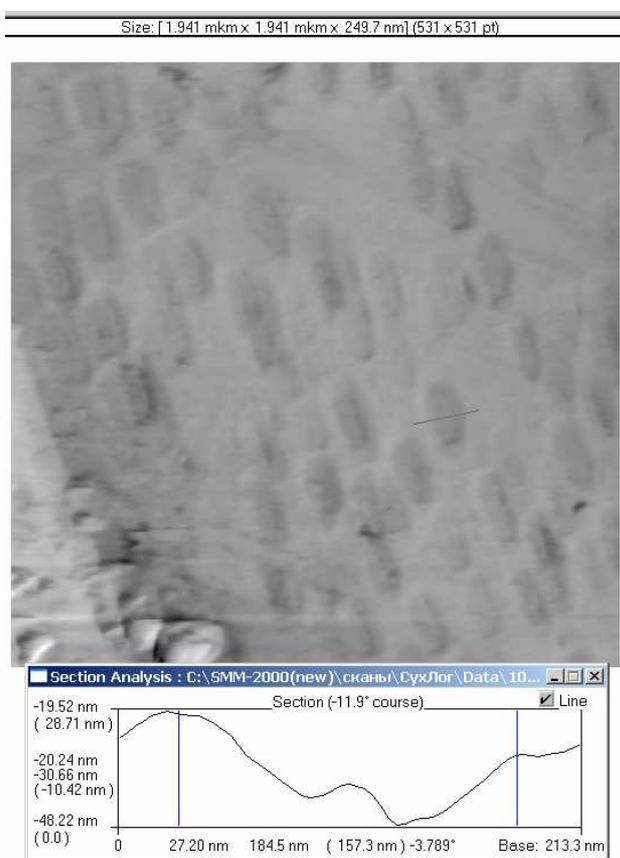
- Исходная смешанная культура *At. ferrooxidans* и *At. thiooxidans* использована в эксперименте по взаимодействию бактерий с кристаллами «гладкого» пирита и пирита с неавтономными фазами (НФ) на поверхности. Исходный пирит получен методом термоградиентного гидротермального синтеза при температуре 450°C и давлении 1 кбар.

В результате получены данные по биоокислению пирита с учётом структуры поверхности кристаллов в заданных условиях. Установлено, что поверхность полированного пирита менее подвержена бактериальному окислению, по сравнению с пиритом, содержащим неавтономную фазу. На микрофотографиях (Рис. 108 А, Б) приведены поверхности полированного пирита (шероховатость менее 5 нм) и пирита, содержащего неавтономную фазу (шероховатость более 300 нм) после двухнедельного культивирования бактерий. На поверхности кристалла с НФ видны бактерии и характерные следы взаимодействия бактерий и пирита в виде лунок разного размера, сопоставимых с размерами бактерий.



**Рис. 108 А, Б.** Морфология поверхности синтетического пирита, подвергнутого бактериальному окислению (сканирующая электронная микроскопия, увел. 10 000X): А – полированная поверхность, Б – поверхность, содержащая неавтономную фазу.

Для полированного пирита эти следы почти отсутствуют и наблюдаются только по границам царапин, оставшихся от полировки. Из этого следует, что активность бактерий связана со структурой поверхности пирита. Подобные образования (нанолунки) обнаружены при исследовании пиритов из золоторудного месторождения Сухой Лог (Вост. Сибирь). Их размеры гораздо меньше (см. Рис. 109), хотя форма и ориентировка очень похожи. По-видимому, мы действительно имеем дело на Сухом Логе со следами деятельности «карликовых» или нанобактерий, принципиально интересных объектов, роль которых во многом до сих пор неясна.



**Рис. 109.** Атомно-силовое изображение поверхности кристалла пирита месторождения Сухой Лог. Параметры лунок: ширина 100-150 нм, отношение большого и малого диаметров ~2:1, глубина 20-30 нм. Данные размеры отвечают масштабу действия микроорганизмов размером в несколько первых сот нанометров, то есть, по-видимому, нанобактерий.

К концу третьей недели культивирования кристаллы с НФ полностью покрылись бактериальными колониями и продуктами жизнедеятельности бактерий, полированный же пирит был покрыт лишь частично. На одном синтетическом кристалле обнаружены области с высоким содержанием титана. Титан является механической примесью при выращивании пирита в контейнерах из титановых сплавов. Это значит, что помимо

биовыщелачивания, бактерии активно концентрируют титан из среды на поверхность пирита с НФ. На полированном пирите таких областей не найдено. Это наблюдение является важным для интерпретации поведения титана в условиях образования пирита в гидротермальных глинах вулканических термальных полей. Будучи некогерентным для пирита элементом, титан наряду с некоторыми другими элементами, входит в состав пленочных нанофаз толщиной в несколько нанометров на поверхности кристаллов, где его содержания достигают 5 ат.% [Рычагов и др., 2012<sup>46</sup>]. Возможно, это следствие бактериальной деятельности, а не повышенной геохимической подвижности титана, которую принято считать очень низкой. (Таусон В.Л., Липко С.В., Арсентьев К.Ю. (ИГХ СО РАН), Кравченко О.С., Липко И.А. (ЛИН СО РАН)).

В гидротермальных условиях (10%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 1 кбар,  $T=500-515^\circ\text{C}$ ) получены кристаллы сульфида марганца в виде октаэдров, часто уплощенных, размером до 1.5 мм. В ЛИН СО РАН проводятся эксперименты по их бактериальному окислению. Предварительные результаты обнаруживают существенные отличия от поведения поверхности пирита, причины чего в настоящее время выясняются путем детального анализа микроморфологии и состава поверхности методами СЭМ, СЗМ и оже-электронной спектроскопии.

---

<sup>46</sup> Рычагов С.Н., Соколов В.Н., Чернов М.С. Гидротермальные глины геотермальных полей Южной Камчатки: новый подход и результаты исследований// Геохимия. 2012. № 4. С. 378-392.

**Изучение причинно-следственные связи проявлений палеопротерозойских и раннепалеозойских щелочных метасоматитов с процессами тектонического развития южной части Сибирского кратона и его обрамления.**

- Сопоставление геологического положения, этапов развития, возраста и геохимических особенностей метасоматитов и кислых магматитов вдоль южного края Сибирского кратона показало, что все изученные метасоматиты приурочены к разломам, оперяющим главную шовную зону кратона. От Бирюсинской зоны на юго-западе и далее на северо-восток, от Приморской зоны до Даванской зоны смятия и Катугино-Аянской зоны на Алдане при близком составе метасоматитов увеличивается их рудоносность. Процесс начинается с бластокатаклаза пород (безрудная стадия). На 2-м этапе вдоль зон бластокатаклазитов циркулируют калиевые рудоносные (Nb, REE, Sn, Be, Th, U, W) растворы, образуя собственно калиевые метасоматиты ранней щелочной стадии метасоматоза, которая проявляется как субщелочная гранитизация. Следующий этап магматический, который на фоне продолжающихся тектонических движений приводит к образованию рапакивиподобных гранитов, богатых теми же элементами. Мелкозернистые граниты второй фазы свидетельствуют о декомпрессии и потере расплавом фтора и воды, которые образуют рудоносные растворы кислотной и поздней щелочной натриевой стадии метасоматоза с формированием рудоносных грейзенов. В это же время вдоль края кратона формируется крупнейший вулканоплутонический пояс, объединивший все геохимические особенности магматитов. Возраст всех этих образований укладывается в интервал 1.9-1.6 млрд лет. Редкометалльные месторождения этого возраста, также относимые к приразломным метасоматитам, развиты на Русской платформе, на Канадском щите и других кратонах, но там все они имеют натриево-урановый профиль, в отличие от ярко выраженной калиево-редкометалльной специфики метасоматитов и магматитов Сибирского кратона.

№ 5. Минеральные источники Байкало-Монгольского региона:  
гидрогеохимическая паспортизация и перспективы практического  
использования (бальнеология, геотермальное энергоснабжение, извлечение  
полезных компонентов)

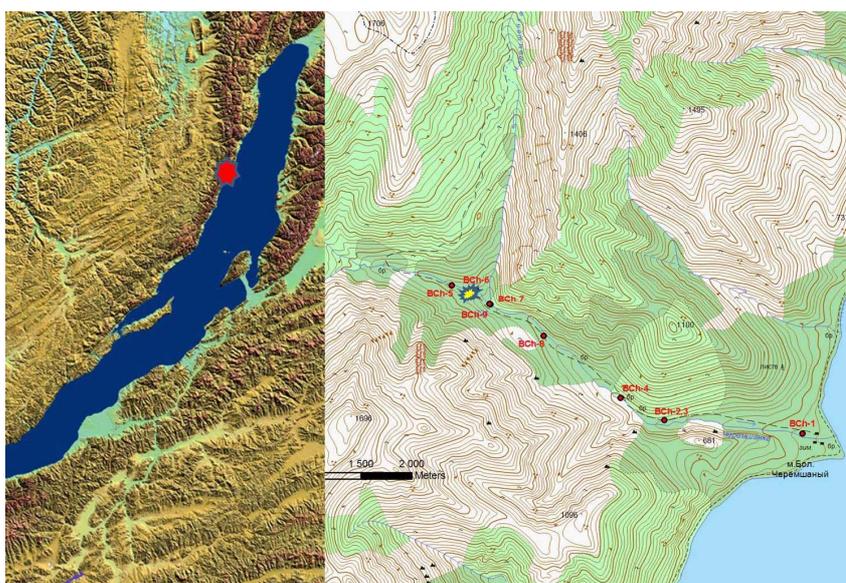
*руководитель к.г.-м.н. О.А Склярова*

---

• В Северо-Западном Прибайкалье был обнаружен холодный минеральный источник, который является единственным проявлением кислых вод в Байкальской рифтовой зоне. Выход подземных вод обнаружен в левом борту р. Большая Черемшанная, в ее среднем течении (Рис. 110), у подножия крутого склона речной террасы, сложенной крупноглыбовым курумом с отдельными скальными выступами.

Источник представляет собой линейную разгрузку подземных вод в полосе около 25 м, расположенной под острым углом к реке.

Температура воды составляет  $2.4^{\circ}\text{C}$ , минерализация –  $330 \text{ мг/дм}^3$ . Вода кислая ( $\text{pH}=3.57$ ,  $E_h=342 \text{ mv}$ ), сульфатная магниево-кальциевая. Вода источника характеризуется очень высокими содержаниями таких элементов, как Al, Mn, Co, Ni, REE, причем отмеченные элементы находятся во взвешенной форме. Концентрации этих элементов в речной воде в приустьевой части превышают содержание таковых в байкальской воде на 2-3 порядка.



**Рис. 110.** Положение Молочного источника (Vch6) и точек опробования р. Б. Черемшанная (Vch1, Vch3, Vch5, Vch8, Vch9) и ее притоков (Vch2, Vch4, Vch7). На врезке слева звездочкой отмечена р. Большая Черемшанная.

---

**№ 28. Новые полифункциональные фторидные, оксифторидные и оксидные кристаллические материалы**  
*руководитель д.ф.-м.н. А.И.Непомнящих*

---

- Выращены крупногабаритные кристаллы фторида бария с подавленной медленной компонентой в свечении. Для подавления медленной компоненты в кристалл добавлялось 3-5%  $\text{LaF}_3$ . Размер выращиваемых монокристаллов позволял получать цилиндрические детекторы размером 63 мм в диаметре и 63 мм высотой с временным разрешением 650 ps (Рис. 111). Скорость роста кристалла составляла 1 мм/ч. При данной скорости роста достигается оптическая однородность кристалла. Рост кристаллов производился методом Стокбаргера в графитовых тиглях в вакууме. Механическая прочность кристалла достигалась подбором режима охлаждения кристалла и отжигом. Скорость охлаждения кристаллов не должна превышать 40°C/ч. Отжиг кристалла производится не менее 12 часов в минимально градиентной зоне при температуре 1100-1150°C. После отжига вновь продолжается охлаждение кристалла со скоростью не превышающей 40 °C/ч.



**Рис. 111.** Кристалл  $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3$  размером 63×63 мм

---

**№ 34. «Цикличность в биогеологических седиментационных системах  
Центральной Азии на абсолютной временной шкале голоцена: глобальный  
отклик солнечно-земных связей»  
руководитель к.г.-м.н. В.А. Бычинский**

---

Основной задачей данного этапа было выявление закономерности изменения общего минерального состава в ледниковые и межледниковые эпохи. Для этого был проведен рентгеноструктурный анализ донных отложений озера Шира, показавший, что осадок сложен кварцем, плагиоклазом, слюдами, карбонатами, кальцитом и моногидрокарбонатом (МГК), в светло-серых слоях преобладает доломит. Требовалось рассчитать физико-химические параметры карбонатонакопления в донных отложениях оз. Шира, отличающегося существованием стратификации водной толщи и окислительно-восстановительным барьером на глубине около 13 м.

Сформированная физико-химическая модель образования карбонатов в воде озера Шира позволила рассчитать состав озерной воды и равновесных с ней минеральных фаз для 6 температур в условиях, открытых по отношению к атмосфере. Рассматривались условия существования поверхностных вод в зависимости от сезона года. Установлено, что в условиях, когда температура выше 5-7 °С сосуществуют доломит и стронцианит, при температуре воды ниже 5 °С образуются нахколит ( $\text{NaHCO}_3$ ), шенит ( $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_6$ ) и кальцит (Рис. 112 а). Взаимосвязь изменения минерализации водного раствора (солености) и образования аутигенных минералов рассмотрена в модели испарения. Подтверждено, что при испарении до 60% воды фазовый состав осадка качественно не меняется. Увеличивается содержание стронцианита, а на завершающей стадии испарения (80%) возможно образование брусита (Рис. 112 б). Однако, согласно результатам определения минерального состава донных отложений, такие условия на оз. Шира не возникали.

Влияние живого вещества на фазовый состав химогенного осадка оценивалось введением в воды озера фульвокислоты. Это приводит к изменению окислительно-восстановительных условий, рН водного раствора снижается,

образуется  $\text{CaCO}_3$ , стронцианит растворяется. С помощью физико-химической модели удалось установить, что содержание органического вещества в воде приводит к увеличению растворимости Sr, вследствие чего образование стронцианита снижается. Нарастание льда, наоборот, приводит к увеличению минерализации воды, количество стронцианита в минеральном парагенезисе возрастает. Понижение температуры воды способствует повышению содержания растворенного кальция, что приводит к образованию МГК во льду оз. Ши́ра.

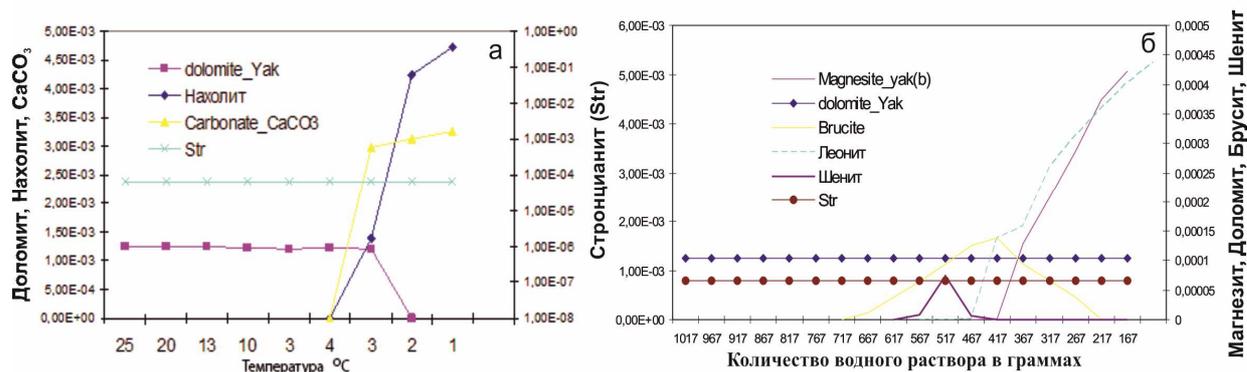


Рис. 112. Образование минеральных фаз из поверхностных вод оз. Ши́ра.  
а – в зависимости от температуры; б – в условиях интенсивного испарения.

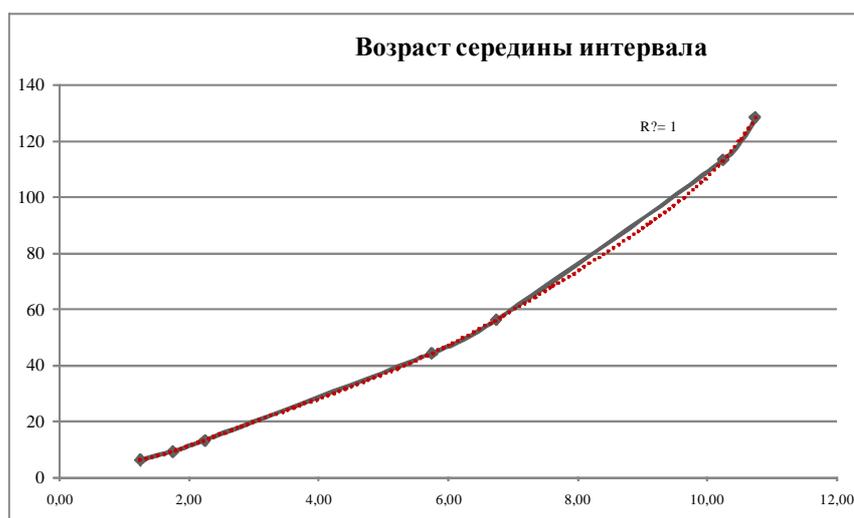
Наши расчеты показали строгую взаимосвязь образования аутигенных минеральных парагенезисов с изменениями состава и свойств озерных вод. Минерализация, щелочность, количество растворенного органического вещества оказывают решающее влияние на формирование минералов из водной толщи. Значения этих параметров надежно обоснованны как натурными наблюдениями, так и термодинамическими и статистическими расчетами.

- В годовом осадочном цикле оз. Ши́ра существуют все предпосылки для формирования устойчивого периодического геохимического сигнала ( $\text{Ca/Sr}$ -отношения), который выявляется при детальном анализе керна. Ранее при анализе тонкослоистых интервалов в терригенных осадках величина  $\text{Sr/Rb}$  использовалась как годичный сигнал – показатель зимне-летнего контраста турбулентности воды в придонных условиях. Формирование сантиметровых карбонатных интервалов в изученном типе осадков с большой вероятностью определяется теми же внешними условиями, но уже на многолетней шкале. Здесь решающими параметрами, как показала физико-химическая модель, являются процесс испарения и изменения минерализации озерных вод.

**№ 53. «Эволюция природной среды и климата в четвертичном периоде Сибири, реконструируемая на основе синтеза геологических, археологических, дендроклиматических данных, ее влияние на развитие человека, его культуру и региональный прогноз природно-климатических изменений на ближайшее будущее»**

*руководитель академик М.И. Кузьмин*

- Получена возрастная модель для верхнего слоя донных отложений оз. Халльское методом свинцово-цезиевого датирования в г. Новосибирске.



**Рис. 113.** Возрастная модель для верхнего 12-см интервала донных отложений оз. Халльское.

Величина достоверности аппроксимации (Рис.113) (*красная пунктирная линия полиномиального тренда шестой степени*) оставляет 1, демонстрируя логичность определения возраста и полученной возрастной модели.

Ранее возраст этого керна был определен только методом AMS<sup>14</sup>C датирования. Самый молодой возраст при этом был определен для слоя с глубины 24.5 см и составлял 186 лет, а возраст верхней толщи оставался неопределенным. Но именно в это время в экосистеме озера и его водосборном бассейне происходили серьезные перестройки (Рис. 114). Получение точной, а не расчетной модели для отложений последних 150 лет и повышение временного разрешения пыльцевых и иных записей, становится очень важным для понимания взаимоотношения человека и вмещавшего его ландшафта, характер их взаимодействия. Новая пыльцевая запись, которая будет получена к концу года, позволит получить подобные результаты впервые для этого района, особенно богатого своей археологической историей.

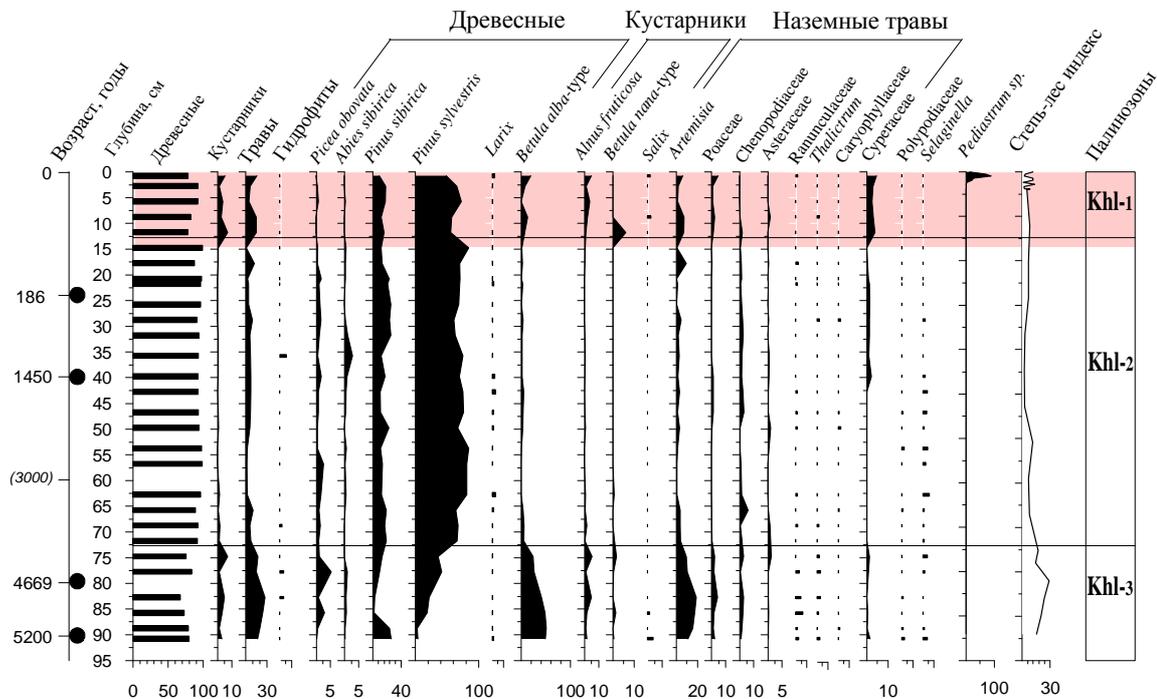


Рис. 114. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза донных отложений оз. Халльское. Розовым цветом выделен верхний 12-см интервал, для которого получена точная, а не расчетная возрастная модель методом датирования по неравновесному свинцу.

- Отработана методика определения и определено содержание биогенного кремнезема в торфяных отложениях (312 образцов). Изучена динамика концентрации биогенного кремнезема, позволяющая дополнить и уточнить информацию о палеоэкологии торфяных массивов региона.

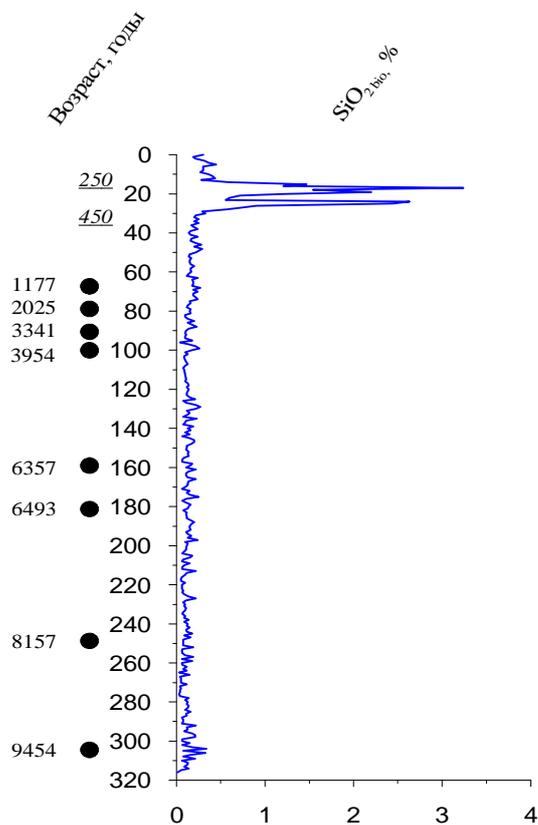


Рис. 115. Изменение концентрации биогенного кремнезема в отложениях торфяника «Выдринное», с южного берега оз. Байкал. Черные кружки – датированные  $^{14}\text{C}$  методом уровня. Цифры прямым шрифтом – полученные  $^{14}\text{C}$  даты, курсивом – расчетные даты.

---

**№ 82. «Глубинная биота осадочной толщи Байкала в зонах разгрузок  
углеводородов»  
руководитель к.х.н. Г.В.Калмычков**

---

- Продолжено изучение углеводородных газов (УВГ) из осадков Посольской банки (озеро Байкал). Основное внимание было уделено участкам, где происходит разгрузка газа со дна озера. В настоящее время закончены работы по изучению компонентного состава УВГ и проведены изотопные исследования.

Основной компонент газа из осадков Посольской банки – метан. Характерной его особенностью является высокая (0.28 ÷ 9.9 об.% в пересчете на углеводородные газы) примесь этана в газе. Пропан присутствует в следовых количествах, а бутан без предварительного концентрирования ни в одной пробе смешанного газа обнаружить не удалось. Среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  метана из осадков Посольской банки составляет -50.77‰ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{min.}} = -68.60\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}_{\text{max.}} = -42.60\text{‰}$ ), а  $\delta^{13}\text{C}$  этана = -25.52‰ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{min.}} = -26.70\text{‰}$ ;  $\delta^{13}\text{C}_{\text{max.}} = -20.80\text{‰}$ ). Полученные данные свидетельствуют о том, что в осадках Посольской банки содержится метан как смешанного, так и термогенного генезиса.

Газ смешанного (бактериальный+термогенный) генезиса достаточно широко распространен в Центральной котловине Байкала. Метан из осадков Посольской банки по изотопным характеристикам и компонентному УВГ ( $\delta^{13}\text{C} = -68.6\text{‰} \div -52.6\text{‰}$ ;  $\text{C}_1/\text{C}_2 = 20 \div 352$ ) практически полностью соответствует этой разновидности байкальского метана.

Термогенный газ из осадков Посольской банки по изотопным характеристикам похож на термогенный метан нефтегазопроявления Горевой утес, расположенного в Центральной котловине Байкала (среднее значение  $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_1 = -46.6\text{‰}$  и  $-46.07\text{‰}$  соответственно). Однако по компонентному составу УВГ они резко различаются. Метан газонефтепроявления содержит в качестве примеси полный набор гомологов ( $\text{C}_2 \div \text{C}_4$ ), а, как показано выше, газ Посольской банки состоит практически из метана и этана. На наш взгляд, такой газ не может образоваться в результате только термогенной переработке

органического вещества. Скорее всего, он является продуктом неких постгенетических преобразований (биodeградация гомологов метана, сегрегация при перемещении от источника в верхние горизонты осадка), которые существенным образом меняют компонентный состав УВГ.

Ранее на основании изотопных данных было показано, что основной причиной практически полного отсутствия в байкальском смешанном газе пропана и бутана является процесс их биodeградации. Аналогичная ситуация, скорее всего, наблюдается и на Посольской банке.

---

**№ 87. «Формирование крупных магматических провинций Сибири в результате плюм-литосферных взаимодействий (на основе изотопно-геохимических данных, геодинамического и теплофизического моделирования)»**  
*руководитель к.г.-м.н. С.И.Дриль*

---

- Обобщены опубликованные вплоть до 2013 г. в зарубежной и отечественной литературе сведения о мантийных источниках на основе изотопно-геохимических (Sr-Nd-Pb) характеристик эталонных внутриплитовых магматических комплексов Африканского и Тихоокеанского горячих полей мантии и внесены в геохимическую базу данных ИГХ СО РАН для последующего сопоставления с данными по эталонным внутриплитовым магматическим комплексам Северо-Азиатского кратона и его складчатого обрамления. Уже на первом этапе работы четко обозначилось варьирование изотопно-геохимических характеристик мантийных источников или доменов в пространстве.

- На основе проведенной интерпретации геохимических и изотопных данных ордовикских и девонских базальтоидов Минусинской котловины Алтае-Саянской области установлено, что рассматриваемые базальты характеризуются промежуточными геохимическими параметрами между внутриплитовыми породами типа OIB и окраинно-континентальными типа IAB и в то же время проявляют четкие различия между собой по уровню содержаний литофильных элементов. Ордовикские базальты по сравнению с девонскими обогащены Rb, Ba, Th, U, K, Nb, Ta, Zr, Hf, легкими редкими землями относительно тяжелых.

Среди базальтов ордовикского возраста по величине  $\epsilon_{Nd}(460MA)$  выделены две группы пород. Одна из них имеет  $\epsilon_{Nd}(460MA)=+8.6$ , что соответствует источнику DM, а другая  $\epsilon_{Nd}(460MA)=+(0.3-0.8)$ , что свидетельствует о практически неистощенном источнике вещества. Девонские базальтоиды характеризуются постоянством величины  $\epsilon_{Nd}(395MA)=+(3.7-4.7)$ , что указывает на слабо деплетированный источник. Сравнение изотопных характеристик палеозойских внутриплитовых базальтоидов Минусинской

котловины с позднемезозойскими и кайнозойскими внутриплитовыми базальтоидами Центрально-Азиатского складчатого пояса показывает, что в палеозое источником базальтоидов служил истощенный домен мантии, позднее во внутриплитовый процесс были вовлечены умеренно-истощенный источник, а также обогащенные источники типа EM-I и EM-II.

Различия в составе между ордовикскими и девонскими базальтами четко увязываются с различиями в их геологической позиции и типах ассоциаций и могут быть обусловлены большей степенью влияния плюмовых процессов на состав надсубдукционных флюидонасыщенных источников в ордовикское время.

- Выявлен предполагаемый источник Биту-Джидинского массива редкометалльных гранитов, расположенного на границе России и Монголии, имеющего возраст  $311 \pm 10$  млн лет (Rb/Sr метод). Полученные изотопные характеристики гранитоидов 1-ой и 11-ой интрузивных фаз массива, а именно  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$  (0.705312-0.706187),  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(t)}$  (0.512088-0.512290) согласуются с моделью формирования инициальных гранитоидных расплавов на уровне нижних горизонтов континентальной коры. Вполне вероятно, что вещество нижней коры могло иметь состав обогащенных литофильными редкими элементами относительно мантии биотитсодержащих гранулитов, частичное плавление которых было обусловлено подъемом астеносферного мантийного диапира (плюма). Состав и изотопно-геохимические особенности предполагаемого магмообразующего субстрата вполне отвечают характеристикам древней докембрийской континентальной коры Южного Прибайкалья со средним модельным возрастом  $T_{DM2} = 1260$  млн лет и максимальным – 1600 млн лет. Эти выводы согласуются с результатами редкометалльных Li-F гранитов других регионов Центральной Азии [Коваленко и др., 1999<sup>47</sup>].

---

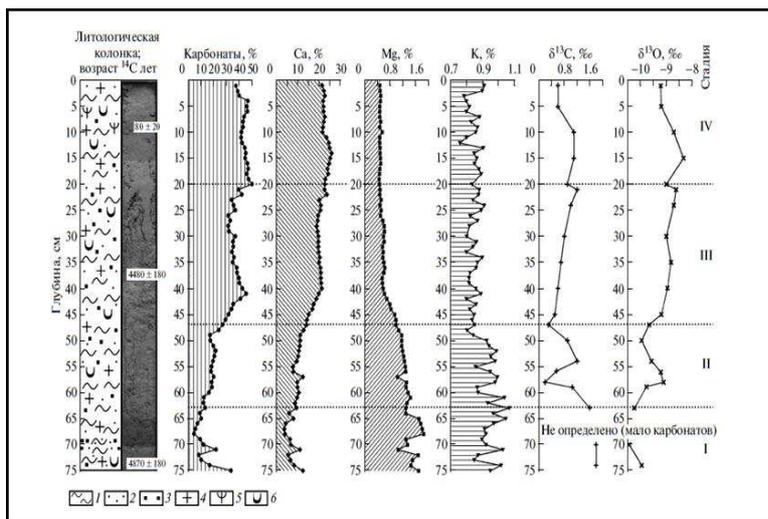
<sup>47</sup> Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. и др. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометалльных Li-F гранитов // Петрология. 1999. Т.7. № 4. С.401-429.

**№ 110 «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий:  
рудогенерирующий потенциал, новые технологии комплексной переработки,  
экологическая безопасность»  
руководитель к.г.-м.н. О.А Склярова**

• В пределах Баргузинской впадины выделены системы малых озер, характеризующиеся разной гидрогеохимической спецификой. Для этих систем прослежены основные тренды геохимической эволюции и рассмотрены особенности накопления микроэлементов.



**Рис. 116.** Положение озера Большое Алгинское.



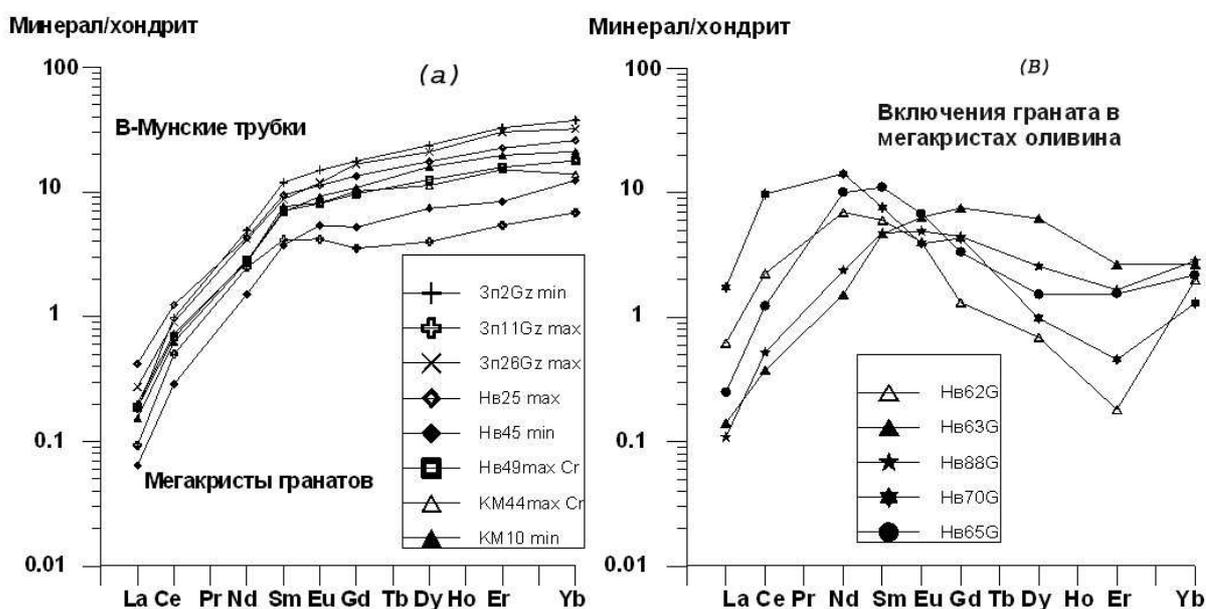
**Рис. 117.** Литологическая колонка голоценового разреза осадков Большое Алгинское, возрастная модель.

*Распределение карбонатных минералов, содержание Ca и Mg, значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . 1 – пелит; 2 – алеволит; 3 – неаммит; 4 – дистомей; 5 – растительные остатки; 6 – раковина моллюсков.*

• В результате проведенных исследований комплексом методов из осадочного разреза оз. Большое Алгинское (Рис. 116) получена новая летопись климата голоцена Западного Забайкалья за последние 4900 лет. Сопоставление карбонатной записи с данными литологического анализа, результатами определения стабильных изотопов  $^{18}\text{O}$  и  $^{13}\text{C}$  и распределением некоторых геохимических индикаторов климатических изменений (Рис. 117) позволило воссоздать сложную историю эволюции озера, определяемую климатом региона от конца атлантического периода до современности.

**№ 115. «Кимберлиты среднепалеозойского возраста, их алмазы, особенности строения литосферы вмещающих террейнов Сибирской платформы и причины различий дисперсии их продуктивности в разных полях»**  
*руководитель д.г.-м.н. С.И. Костровицкий*

• Изучение особенностей распределения РЗЭ в макрокристаллах граната показало, что графики (Рис. 118) очень сходны между собой и не зависят от их состава, принадлежности к разным группам. И высокотитанистые, и высокохромистые макрокристаллы демонстрируют кривую распределения РЗЭ в макрокристаллах граната, характерную для минералов магматического происхождения. Графики распределения РЗЭ для включений граната из макрокристаллов оливина характеризуются синусоидальной формой, типичной для включений граната из алмазов. Подобная форма графиков объясняется метасоматической природой соответствующего мантийного источника. Разный характер распределения РЗЭ указывает на совершенно разную природу образования макрокристаллов граната и оливина.



**Рис. 118.** Графики распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) в макрокристаллах граната (а) и во включениях гранатов из макрокристаллов оливина (в).

---

**№ 123. «Элементы-примеси в редкометалльных и полиметаллических рудно-магматических системах: минералогия и микроминералогия, новые технологии механохимической переработки руд, переоценка редкоэлементного потенциала месторождений»**

*руководитель д.г.-м.н. В.Е.Загорский*

---

**Проведение опробования хвостохранилища Забайкальского ГОКа с целью выделения типов техногенных руд.**

- За полувековой период эксплуатации Забайкальским ГОКом литиеносных пегматитов Завитинского месторождения накопились большие объемы «хвостов» обогащения редкометалльных руд, которые при использовании современных технологий извлечения редких элементов могут служить их дополнительным источником, выступая в роли техногенного месторождения.

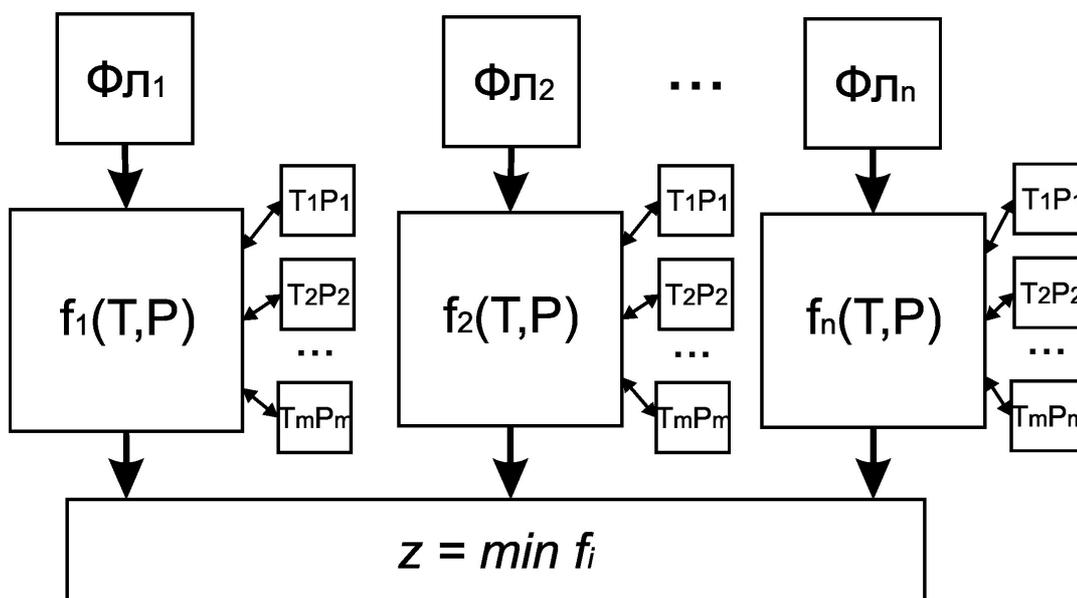
Комплекс хвостохранилища представляет собой «каскад» из трех площадок в долине ключа Левый, каждая из которых ограничена с севера насыпью (плотиной) высотой до 40 метров, перегораживающей долину ключа в субширотном направлении. Общая площадь двух наиболее крупных хвостохранилищ (нижнего и среднего) составляет около 2 км<sup>2</sup>. Площадка верхнего хвостохранилища в настоящее время полностью залита водой и недоступна для опробования. Большая часть нижнего и среднего хвостохранилищ сильно заболочена и покрыта густыми зарослями ивы, что резко ограничивает возможности опробования их по равномерной сети. Южная и западная части среднего хвостохранилища, напротив, подвержены ветровому воздействию с образованием песчаных барханов.

Всего отобрано 36 проб «хвостов» обогащения руд, представляющих собой тонко-мелкозернистую песчаную массу, сложенную в основном кварц-полевошпатовым материалом, который соответствует по составу граниту-лейкограниту. Вес проб до 7.5-8 кг. Глубина отбора проб – от 0.3 до 2.5 метров. По предварительным данным, с учётом предполагаемых объемов «хвостов» (12-15 млн. кубических метров) и содержаниям в них Li<sub>2</sub>O (0.2-0.5 мас %), хвостохранилища Забайкальского ГОКа могут рассматриваться как потенциальное техногенное месторождение лития среднего масштаба, требующее дальнейшего более детального изучения.

№ 12. «Континентальный рифтовый и коллизионный метаморфизм орогенных поясов и палеозон перехода океан-континент (на примере Урала, Енисейского кряжа и Джугджуро-Становой складчатой области)»

руководитель д.г.-м.н. К.В. Чудненко

• Предложен способ оценки условий образования минеральных ассоциаций метаморфических пород на основе решения обратной задачи термодинамического моделирования. Входные данные задачи включают химический состав породы, параметры минералов, возможные сценарии изменения состава внешнего метаморфогенного флюида и интервалы P-T условий минералообразования (Рис. 119). Основным критерием поиска оптимального решения является нахождение максимального приближения наблюдаемого и рассчитанного минерального парагенезиса по всему набору заданных идентифицирующих параметров.



**Рис. 119.** Схема алгоритма расчета параметрических условий формирования метаморфической породы.  $\Phi_{Лi}$  – метаморфогенный флюид;  $f_i(T, P)$  – блок расчета T-P параметров при взаимодействии флюида  $\Phi_{Лi}$  с породой;  $i=1, n$ ;  $n$  – количество сценариев с участием флюидов различного состава;  $m$  – количество расчетных T-P точек;  $z$  – определение оптимального состава внешнего флюида и T-P условий формирования метаморфической породы.

---

**№ 17. «Субсинхронное формирование разнотипных гранитоидов: петрогенезис, природа источников магм, геодинамика»**  
*руководитель д.г.-м.н. В.С.Антипин*

---

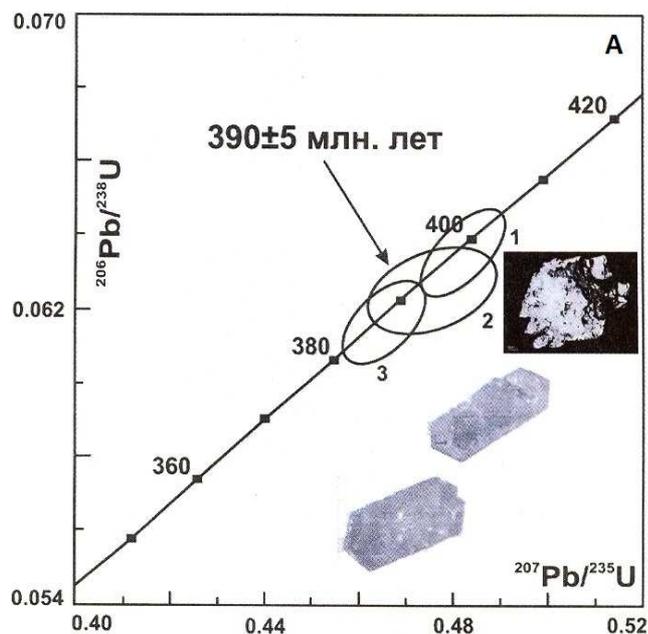
- В соответствии с заданием 2013 года продолжены исследования магматических образований Прибайкалья – хребта Хамар-Дабан и острова Ольхон. Получены следующие результаты.

Позднепалеозойский ареал магматизма хребта Хамар-Дабан характеризуется развитием на его периферии субщелочных гранитоидов и редкометалльных гранитов интрузивно-субвулканического комплекса, которые являются постколлизийными образованиями и фиксируют переход к внутриплитному магматизму. Ранние фазы интрузий образованы биотитовыми, обычно флюоритсодержащими гранитами, которые на позднем этапе сменяются типично редкометалльными топазсодержащими иногда с флюоритом амазонит-альбитовыми гранитами. В субвулканической фации Уругудей-Утуликского пояса мощные дайки субщелочного состава (монзонит-порфиры, гранит-порфиры, эльваны) сменяются серией маломощных даек онгонитов, топазовых риолитов и топазитов, которые иногда служат цементом в эруптивных и флюидно-эксплозивных брекчиях. С этим интрузивно-дайковым комплексом ассоциирует рудная минерализация олова и вольфрама

На о-ве Ольхон в зоне гранулитовой фации встречены небольшие тела эндербитов и чарнокитов с возрастом  $505-495 \pm 6$  млн лет и массивы гранатовых лейкогранитов. В юго-восточной части острова обнаружена цепочка мелких тел амфиболовых и биотит-амфиболовых граносиенитов в ассоциации с крупными ксенолитами амфиболитов и мраморов. Они имеют устойчивый макро- и микрохимический состав, признак интрузивного генезиса. Однако возраст их близок к началу кристаллизации параавтохтонных К-На гранитов  $\square 495 \pm 6$  млн лет.

В северной части о-ва Ольхон нами обнаружено жильное тело бериллоносных редкометалльных пегматоидных гранитов, имеющих возраст  $390 \pm 5$  млн лет (Рис. 120), т. е. они значительно моложе и не принадлежат

шаранурскому комплексу, возраст гранитов которого оценивается по цирконам в 505-475 млн лет, а вероятнее всего относится уже к новому этапу внутриплитного тектогенеза. Редкометалльные пегматоидные граниты о. Ольхон отличаются от берилл-мусковитовых и сподуменовых пегматитов Хамар-Дабана, что связано с обогащением литием гнейсов хамардабанской серии по отношению к ольхонской толще. Имея резко повышенные концентрации Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn, W и ассоциирующую Be минерализацию, они могли, судя по всем геохимическим характеристикам, сформироваться из глубоко дифференцированных остаточных расплавов. Однако в связи с крайне низкими концентрациями в них фтора и бора роль флюидной составляющей в этом процессе была незначительной.



**Рис.120.** U-Pb диаграмма с конкордией для циркона редкометалльного пегматоидного гранита с бериллом (падь. Ташкиней) –  $390 \pm 5$  млн. лет (проба ШРН-65, В.С.Антипин).

В целом, в Ольхонском регионе наблюдается продолжительный процесс мигматизации и гранитообразования, тесно связанный с этапами сложной тектонической истории от ранней аккреции отложений задугового бассейна и собственно коллизии кратона, Гранитоидные выплавки сопровождали все этапы этого процесса, длившегося 10-15 млн лет.

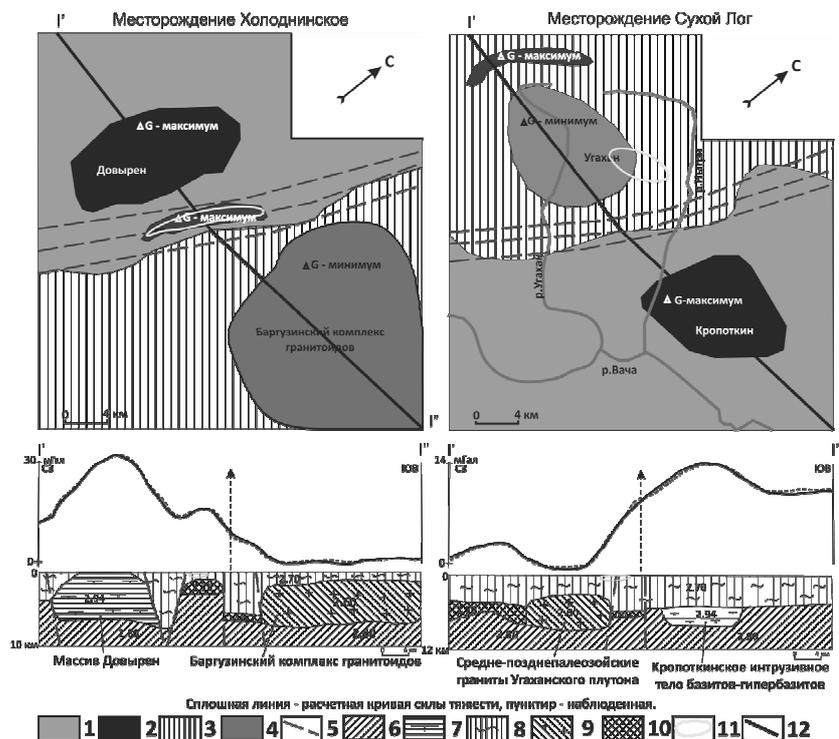
**№ 31. «Создание и сравнительный анализ геолого-геофизических моделей золоторудных провинций, узлов, полей и месторождений Сибири и Северо-Востока России»**

*руководители д.г.-м.н. А.М. Спиридонов, к.г.-м.н. А. Е. Будяк*

• Проведено изучение опубликованных и фондовых материалов, выполнены полевые геологические, геофизические, геохимические и минералогические исследования на территории крупных золоторудных узлов Восточной Сибири): **Байкальская горная область (месторождения Сухой Лог и Холоднинское).**

На этапе 2013 г. была скорректирована геолого-геофизическая модель Олокитского синклинория с определением корреляции геодинамической обстановки Олокитского и Бодайбинского синклинориев.

В пределах Байкальской горной области выделяются «гранитоидный» с минимумами ( $2.60-2.70 \text{ г/см}^3$ ) и «базитоидный» с максимумами ( $2.80-2.90 \text{ г/см}^3$ ) гравитационного поля типы коры (Рис. 121).



**Рис. 121.** Сравнительная схема распределения гравитационного поля в районе месторождений Холоднинское и Сухой Лог. 1 – Область повышенных значений  $\Delta g$ ; 2 – Область максимума значений  $\Delta g$ ; 3 – Область пониженных значений  $\Delta g$ ; 4 – Область минимума значений  $\Delta g$ ; 5 – предполагаемое тектоническое нарушение; 6 – Преимущественно метаморфические, высокой плотности и основности породы; 7 – Интрузивное тело базитов-гипербазитов; 8 – Позднепротерозойские осадочные метаморфизованные породы; 9 – Локальное тело позднепалеозойских гранитоидов; 10 – Метаморфические частично гранитизированные породы; 11 – Территория месторождения; 12 – Профиль геолого-геофизической интерпретации гравитационного поля

Обращает на себя внимание связь месторождений Сухой Лог и Холоднинское с гравитационными максимумами, характеризующими внедренные ультраосновные массивы соответственно Кропоткинский (15-20 мГал) и Йоко-Довыренский (20-30 мГал), относящимися к полосе положительных гравитационных аномалий с плотностью пород 2.85-2.90 г/см<sup>3</sup>. Эти высокоплотностные зоны, вероятно, связаны с океаническими комплексами позднего рифея, возникшими в результате тектонической активизации Юга Сибирской платформы.

Верхний слой Бодайбинского синклиория сложен метаморфизованными терригенно-карбонатными породами с плотностью 2.70 г/см<sup>3</sup>, а подстилающий является метабазальтовым с плотностью 2.80 г/см<sup>3</sup>. В верхней части подстилающего слоя выделен Кропоткинский гравимаксимум, соответствующий базит-гипербазитовому интрузивному телу ( $\rho=2.94$  г/см<sup>3</sup>), что идентично с гравитационными данными Йоко-Довыренского массива дунит-троктолит-габбрового состава ( $\rho=2.90-3.19$  г/см<sup>3</sup>). Оба массива имеют сопоставимый верхнерифейский возраст [Орсоев и др., 2012<sup>48</sup>]. Подстилающий слой Олокитского прогиба представлен такими же метабазальтами с плотностью 2.82 г/см<sup>3</sup>.

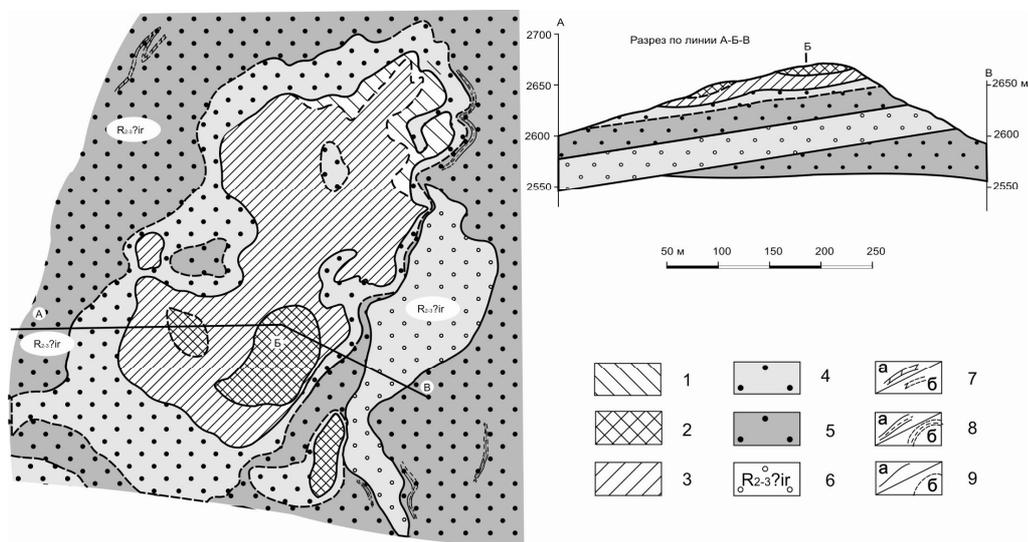
По мнению авторов подстилающий слой, насыщенный телами базит-гипербазитового состава, мог служить источником рудного вещества еще на стадии седименто- и диагенетических процессов формирования дальнетайгинского - жуинского горизонтов, к которым приурочены руды рассматриваемых месторождений.

---

<sup>48</sup> Орсоев Д.А., Булгатов А.Н., Гордиенко И.В., О природе платиновой минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы. Материалы Всероссийской научной конференции с межд. участием. XV чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012.С. 195-197.

**№ 33. «Фундаментальные проблемы условий формирования и технологий обогащения кварцевого сырья различных генетических типов для наплава кварцевого стекла, изготовления кварцевых тиглей и получения кремния для солнечной энергетики»**  
*руководитель д.ф.-м.н. А.И. Непомнящих*

• В пределах Восточно-Саянской кварцитоносной провинции выделяется около десятка проявлений микрозернистых белых и светло-серых метасоматических кварцитов. Среди них особое место занимает месторождение Бурал-Сарьдаг. Оно находится в юго-восточной части Восточного Саяна в пределах водораздельного хребта р.р. Оки и Урика. Площадь месторождения представляет собой подковообразный горный массив Бурал-Сарьдаг с высотной отметкой вершины 2788 м. В привершинных частях этого массива известно несколько изолированных выходов на поверхность белых кварцитов, в совокупности составляющих Бурал-Сарьдагское месторождение. Кварциты месторождения представляют собой прослой мощностью в первые сотни метров в основании рифейских сланцево-карбонат-кварцитовых образований, широко развитых в северном и северо-западном обрамлении ядра Гарганской глыбы архей-нижнепротерозойского возраста.



**Рис. 122.** Геологическая схема месторождения Бурал-Сарьдаг (по материалам В.П.Табинаева, С.Д.Цуцара и др., 2003 с дополнениями и изменениями). 1-3 – метасоматиты по кремнистым породам: 1 – «песчанистые» кварциты – продукты выветривания метасоматических кварцитовых образований, 2 – «суперкварциты», 3 – светло-серые мелкозернистые кварциты; 4-5 – иркутская свита (R<sub>2-3</sub>), кварциты и микрокварциты разного состава, горизонты, линзы, желваки окремненных, часто мергелистых доломитов: 4 – серые и светло-серые микрокварциты, 5 – черные кремневидные микрокварциты с прослоями доломитов и мраморов; 6 – песчаники, алевролиты, гравелиты субаркозового, полимиктового составов, горизонты, линзы красноцветных псаммитовых доломитов, песчаников и углеродисто-глинистых сланцев; 7-8 – маркирующие горизонты и линзы, а – достоверные, б – предполагаемые: 7 – доломиты окремненные, глинистые до мергелей, 8 – углеродисто-глинистые сланцы; 9 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые.

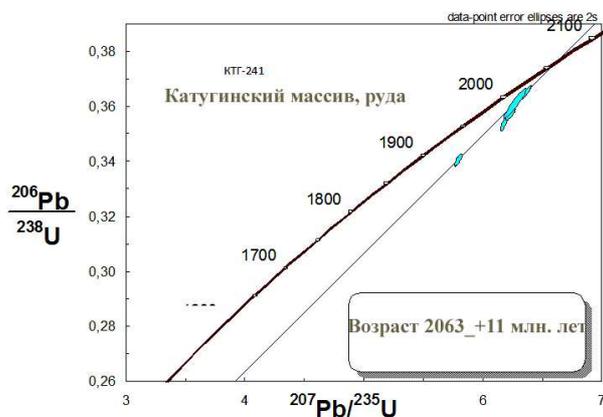
Полученные в ходе выполнения проекта данные показывают, что такие нетрадиционные генетические типы кварцевого сырья, как месторождения кварцитов, в первую очередь Бурал-Сарьдаг, обладающие весьма крупными, по сравнению с жильными типами, запасами и выдержанностью качественных характеристик во всем объеме продуктивной толщи представляют собой перспективные объекты для получения особо чистых кварцевых концентратов, кварцевой керамики и кремния для солнечной энергетики.

---

**№ 47. «Флюидный режим, мантийные источники, вещественные характеристики и возраст щелочных комплексов обрамления платформ, щитов и складчатых зон в связи с их рудоносностью»**  
*руководитель д. г.-м.н. Н.В.Владыкин*

---

- Получены новые надежные возрастные характеристики по цирконам для рудных гранитов Катугинского массива, равные 2063 млн лет, выполненные в ИГиГД РАН. (Рис. 123).



**Рис. 123.** Возраст рудных цирконов Катугинского массива.

- Проведенные термобарогеохимические исследования цирконов из рудоносных образований показали присутствие в них расплавных включений, что подтверждает ранее сделанный нами по геологическим наблюдениям вывод о магматическом происхождении гранитов и руд Катугинского массива. Детальные геохимические исследования, основанные на полученных новых данных по редким элементам (ICP-MS анализ) показали близкие конфигурации линий на спайдеровских диаграммах и кривых спектров TR для гранитов и рудных образований (Рис. 124).

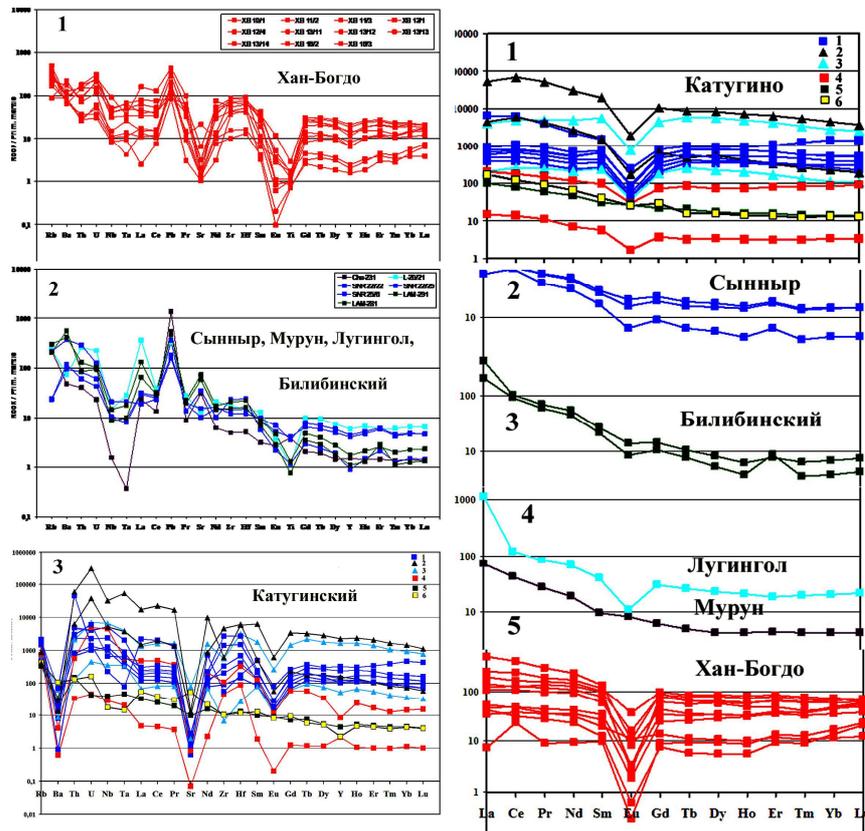


Рис. 124. Графики спектров TR и спайдер-диаграммы для гранитов Центральной Азии.

• Проведено сопоставление распределения редких элементов в гранитах Катугинского массива с гранитами К-щелочных комплексов Центральной Азии (массивы Сынный, Билибинский, Лугингол и Мурунский) и Нарудоносным агпаитовым гранитным массивом Хан-Богдо, Монголия. Имеются как общие тенденции в поведении редких элементов, так и значительные различия, что, вероятно, связано с различным геодинамическим расположением массивов (в складчатых зонах и на щитах). В безрудных гранитах почти не наблюдается европиевой аномалии, которая резко выражена в рудоносных Катугинских и Хан-Богдинских гранитах. Резкие различия рудных минеральных ассоциаций в обоих рудоносных гранитах объясняется различным коэффициентом агпаитности. Для Хан-Богдинского массива он более 1.2 и поэтому образуются цирконосиликаты (эльпидит-армстронгит), а в гранитах Катугинского массива близок к единице и поэтому кристаллизуется циркон.

Получены новые данные по минералогии криолитсодержащих пород Катугинского массива, в которых, кроме алюмо- и TR- фторидов криолита и

гагаринита, обнаружено 15 редких и редкометалльных минералов, некоторые из которых могут быть новыми. Из-за высоких концентраций фтора в этих породах более 10% расплавных включений в них состоят из твердых минералов.

Впервые получены данные по изотопному составу стабильных изотопов (С, О, Н) в 11 минералах силикатных пород и карбонатитов Белозиминского массива, Вост. Саян.

По углероду они отвечают мантийным меткам. Порядок обогащения  $^{18}\text{O}$  минералов из силикатных пород выглядит следующим образом (средние значения, ‰): апатит (2.5), магнетит (2.9), флогопит (3.4), пироксен (4.1), амфибол (4.7), ПШ (5.2), нефелин (7.1), кальцит (7.8). В карбонатитах порядок обогащения  $^{18}\text{O}$  минералов прослеживается от пирохлора (-0.1 ‰) к апатиту (0.9 ‰), магнетиту (1.2 ‰), флогопиту (4.1 ‰), пироксену (4.6 ‰), кальциту (7.1 ‰), доломиту и анкериту (7.4-7.8 ‰) и бастнезиту (12.7 ‰).

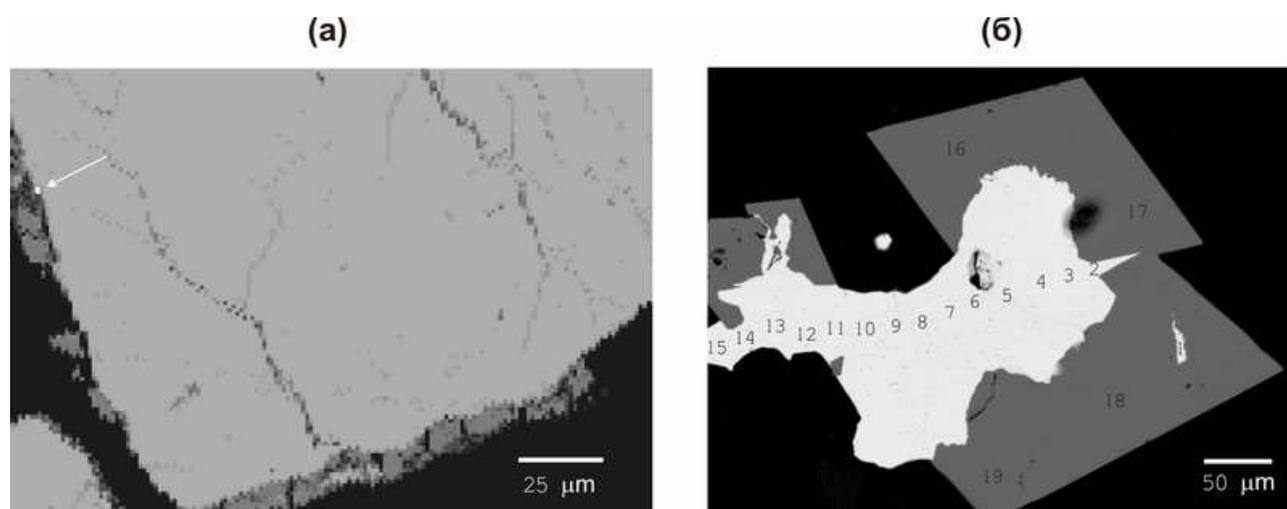
1. Силикаты, оксиды, фосфаты из различных типов пород комплекса характеризуются более легкими значениями изотопного состава О и Н, по сравнению с мантийными метками, что может быть связано с возможным взаимодействием с метеорными или формационными подземными водами.

2. В анкеритовых карбонатитах тренд обогащения тяжелыми изотопами О и, отчасти, С, относительно кальцитовых карбонатитов и мантийных меток, может быть объяснен низкотемпературным изотопным обменом между породой и водным флюидом.

3. Причина облегчения изотопного состава О в апатитах и магнетитах и утяжеления в силикатах от ранних образований к поздним и порядок обогащения минералов  $^{18}\text{O}$  вероятно обусловлена изотопной неравновесностью системы.

**№ 48. «Типоморфизм, типохимизм и условия образования самородного золота месторождений Северо-Востока России»**  
*руководитель д.г.-м.н. Р.Г.Кравцова*

• Методом СВАДМ и ЛА-ИСП-МС впервые в арсенопиритах золоторудного месторождения Наталкинское выявлено существование двух основных неминеральных форм нахождения (ФН) равномерно распределенных Au, Pt и Pd – структурной и поверхностно-связанной. Установлено, что природа высоких концентраций неминеральных ФН Au, Pt и Pd в арсенопирите, в основном, поверхностная. Собственных минеральных форм Pt и Pd не обнаружено, тогда, как для Au самородная форма является основной (рудный микроскоп, СЭМ, РСМА). Зерна самородного золота разного размера в основном мелкие, образуют сростки с арсенопиритом и кварцем, встречаются в них в виде тонкодисперсных включений (Рис. 125). Пробность изученных золотин изменяется незначительно, от 770 ‰ до 800 ‰. Иначе обстоит дело с Pt и Pd. Арсенопирит для этих элементов является, если не единственным, то, вероятнее всего, основным минералом-концентратором. Собственных минеральных форм Pt и Pd не установлено. Предполагается, что для золотоносных арсенопиритов существует единый механизм поглощения примеси (Au, Pt, Pd и др.), связанный с активной ролью поверхности кристалла и поверхностных дефектов.



**Рис.125.** а – фрагмент кристалла арсенопирита (серое) с включением тонкодисперсного золота (яркая белая точка размером 1-2 мкм) на грани зерна (показано стрелкой), б – тонкодисперсное включение золота (т. 1) и крупное самородное золото (т. 2-15) в ассоциации с кристаллами арсенопирита (т. 16-19). Изображение дано в обратно-рассеянных электронах (микроанализатор JXA-8200, JEOL Ltd, Япония).

- В отчетный период проведены изотопно-геохимические исследования эклогитов и вмещающих пород Северо-Муйской глыбы. Эклогиты характеризуются широкими вариациями La/Yb (1.7-14.6) и Sm/Nd (0.18-0.31) отношений. На графике распределения редкоземельных элементов часть эклогитов демонстрирует незначительный подъем от тяжелых к легким РЗЭ. У некоторых эклогитов наблюдается слабая отрицательная европиевая аномалия. Резко выделяется образец Му 12-2. У него наблюдается крутой отрицательный наклон от европия к лантану ( $La/Eu_N - 7.5$ ). На мультиэлементных диаграммах эклогиты демонстрируют отрицательные аномалии по титану, стронцию, ниобию и танталу и положительную аномалию по свинцу. Геохимические особенности свидетельствуют либо о контаминации базальтов породами континентальной коры, либо об источнике протолитов эклогитов в мантийном клине над зоной субдукции.

О контаминации эклогитов коровым компонентом свидетельствуют и результаты изотопных исследований. Эклогиты характеризуются широкими вариациями отношения  $Sr^{87}/Sr^{86}$  (Рис. 126). Большинство эклогитов имеют отрицательные значения  $\epsilon_{Nd}$ . Значения модельного возраста варьируют от 1.36 до 2.98 млрд лет. Эти данные свидетельствуют о палеоархейском компоненте в источнике протолитов эклогитов. В то же время модельный возраст вмещающих эклогиты пород не превышает 1.6 млрд лет. Следовательно, вмещающие породы не могут рассматриваться в качестве источника контаминации протолитов эклогитов. Определение возраста цирконов вмещающих пород U-Pb методом показало, что возраст кристаллизации цирконов не превышает 850 млн лет. [Шацкий и др., в печати]. В то же время исследование изотопов гафния свидетельствует, что отдельные образцы вмещающих пород представляют переработанную кору палеоархейского возраста. Следовательно, мы можем предполагать, что в зоне континентальной

субдукции были совмещены породы земной коры с палеоархейским и неопротерозойским компонентами.

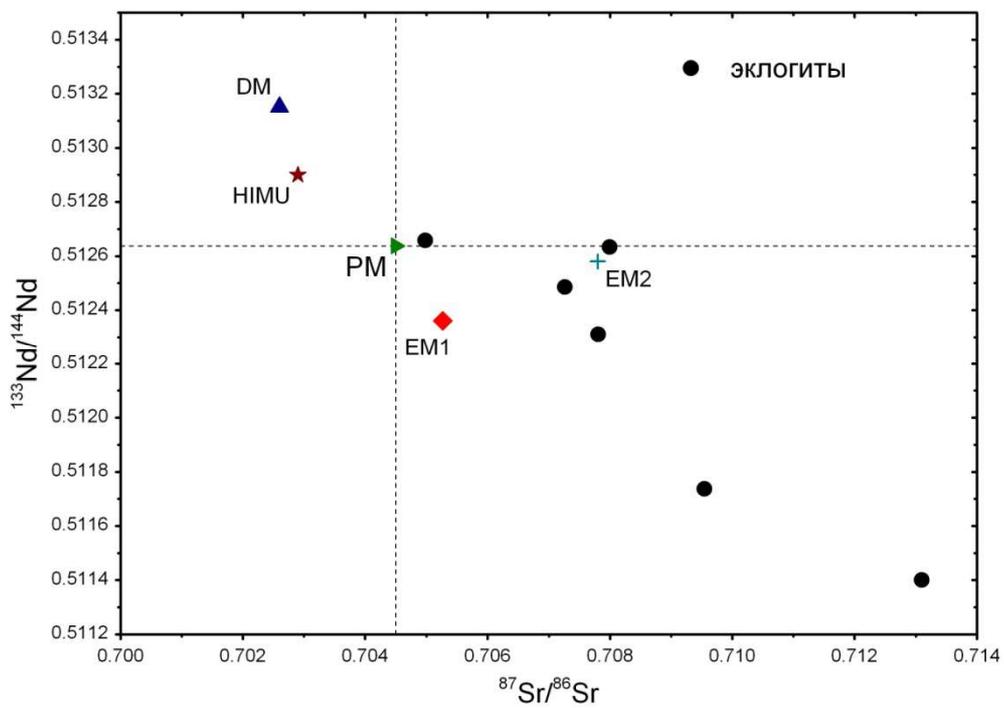
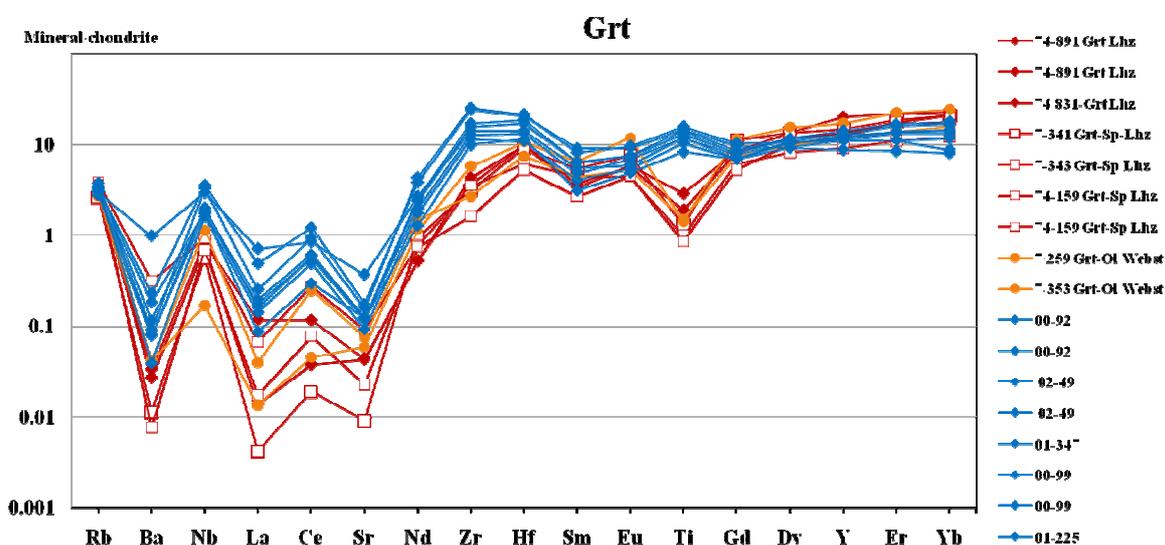


Рис. 126. Изотопные составы неодима и стронция в эклогитах Северо-Муйской глыбы.

**№ 59. «Эволюция состава перидотитов нижних частей литосферной мантии Сибирской платформы: геохимические аспекты и связь с этапами тектоно-магматической активизации платформы»**

*руководители д.г.-м.н. С.И. Костровицкий, д. г.-м.н. Н.В.Владыкин*

• Наиболее примечательной особенностью распределения редких несовместимых элементов в гранатах и клинопироксенах зернистых мантийных ксенолитов из трубки Обнаженная является сходство с распределением редких элементов для соответствующих минералов из крупнопорфировых деформированных гранатовых лерцолитов трубки Удачная-восточная (Рис. 127).



**Рис. 127.** Спайдерграмма распределения редких несовместимых элементов для гранатов из разных парагенезисов трубок Обнаженная (линии красного цвета) и гранатов из деформированных крупнопорфировых лерцолитов трубки Удачная-восточная (линии синего цвета).

• Редкоземельная минерализация в трахитах Камчатки.

Для Курило-Камчатской островодужной системы минералы группы чевкинита впервые обнаружены в щелочных трахитах Камчатки. Крупное субвулканическое тело щелочных трахитов площадью до 1.5 км<sup>2</sup> исследовано в юго-восточном секторе разрушенного позднеплиоцен-раннеплейстоценового вулкана Большой в вулканическом поясе Срединного хребта Камчатки (N56°24'10" E157°56'45"). Установлен раннеплейстоценовый возраст субвулканического тела (2.06-2.03 млн лет). Редкоземельные силикаты обнаружены среди микролитов завершающей стадии кристаллизации трахитового расплава.

Расчеты кристаллохимических формул редкоземельных силикатов из трахитов вулкана Большой показывают соответствие их составов формуле чевкинита  $(Ca, La, Ce, Nd, Th)_4(Fe^{2+})_1(Ti, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Zr, Nb)_2Ti_2Si_4O_{22}$ . При этом в сравнении с составами минералов группы чевкинита из щелочных пород различных геодинамических обстановок, чевкиниты исследуемых трахитов отличаются более высокими концентрациями Nb и Zr по отношению к РЗЭ (Рис. 128). Эти особенности могут быть связаны как с вариациями условий кристаллизации щелочных расплавов, так и с уровнями концентраций в них HFSE и РЗЭ компонентов.

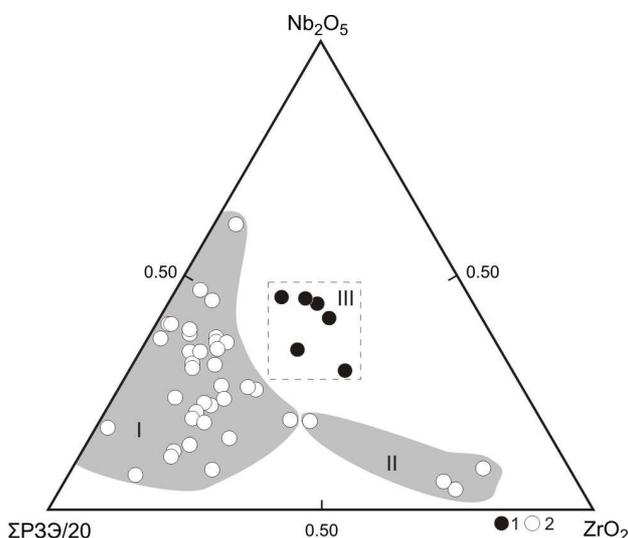


Рис. 128. Составы минералов группы чевкинита на диаграмме  $\Sigma РЗЭ/20-ZrO_2-Nb_2O_5$  (мас.%).

Условные обозначения. Точки составов:

1 – чевкиниты из трахитов вулкана Большой, 2 – чевкиниты и перреириты из субщелочных и щелочных магматических пород различных геодинамических обстановок и рудных месторождений.

Поля составов: I – чевкиниты из трахитовых и риолитовых туфов, риолитов, сиенитов, щелочных гранитов, пегматитов и руд; II – перреириты из керсантитов, пегматитов и руд;

III – чевкиниты из трахитов вулкана Большой.

• В связи с постоянным присутствием азота в различных его соединениях, как в рудных минералах, так и в растворимом и нерастворимом углеродистом веществе (НУВ), выделенном из пород и руд изучаемых месторождений, была предпринята попытка его более детального изучения.

Активное участие соединений азота в геохимических реакциях определяется его валентностью, которая может приобретать значения от -3 до +5 и способствовать образованию множества различных форм ( $N_2$ ,  $NO^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ).

В результате полученных экспериментальных данных обозначилась зависимость скорости выщелачивания благородных металлов от степени насыщенности раствора азотистой кислотой и по всей вероятности, от состава породы, из которой происходит вынос металла. Даже минимальное содержание 0,02 моль  $NaNO_2$  в растворе, резко увеличивает скорость выщелачивания платины от содержаний ниже предела обнаружения до 0,024 г/т и противоположная зависимость наблюдается для выщелачивания из породы Au (Рис. 129).

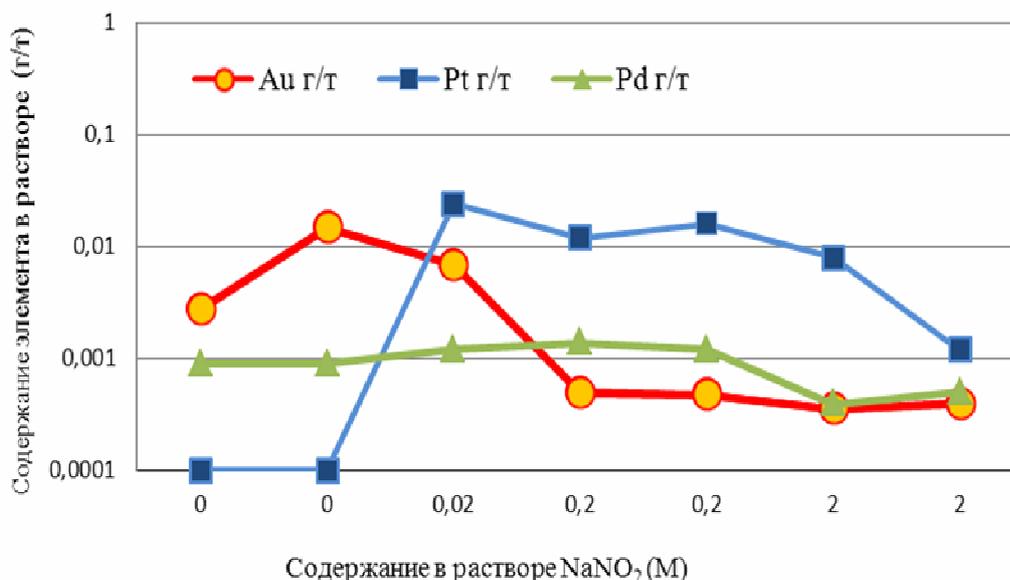


Рис. 129. Степень выщелачивания тяжелых металлов из рудных пород месторождения Сухой Лог (проба СЛ 42-54, содержание золота в пробе 34 г/т) раствором с различными концентрациями  $NaNO_2$ .

Подобное устойчивое поведение объясняется тем, что на месторождении Сухой Лог содержания ЭПГ в основном приурочены к НУВ, а золото к сульфидам. Соответственно при температуре, соответствующей условиям катагенеза, раствор в присутствии азотистой кислоты легко выщелачивает металл из органической матрицы, однако разложение сульфидной составляющей, вероятно, блокируется поверхностными реакциями, а соответственно и содержание Au в растворе не увеличивается.

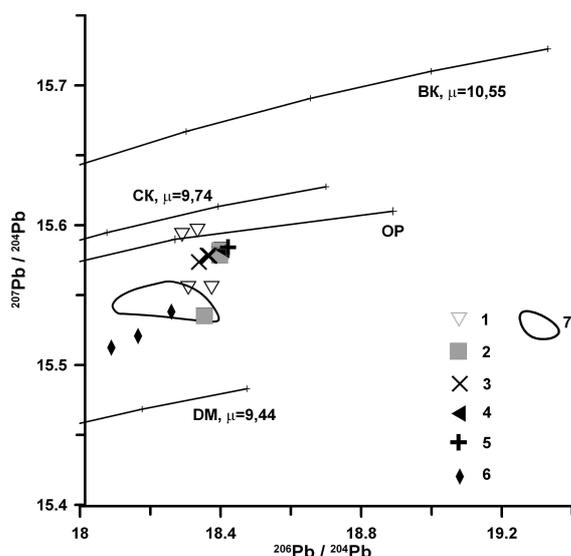
Подобная трактовка полученных результатов подтверждает предположение о каталитическом влиянии азота на степень выщелачивания тяжелых металлов (Au, Ag, ЭПГ) из породы в процессе катагенетических преобразований. Соответственно данные выводы можно интерполировать и на другие области с черносланцевыми толщами, имеющими сидеро-халькофильную специализацию.

**№ 99. «Рудно-магматические системы Монголо-Охотского пояса: хронология процессов магматизма и рудообразования, флюидный режим, факторы рудопродуктивности»**

*руководитель д.г.-м.н. А.М. Спиридонов*

• Изотопный состав свинца пиритов золоторудных месторождений Восточного Забайкалья (Карийская и Апрельковско-Пешковская рудно-магматические системы), расположенных в пределах Монголо-Охотской сутурной зоны, варьирует в довольно широких пределах. На диаграмме в координатах  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  –  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (Рис. 130) фигуративные точки составов лежат между трендами изотопной эволюции свинца в истощенной мантии (DM) и средним составом континентальной коры, группируясь в области изотопной эволюции свинца «орогена» и пород трахибазальтовой серии Восточного Забайкалья. При этом руды Апрельковско-Пешковской РМС имеют отчетливо менее радиогенный и более мантийный состав свинца по сравнению с таковым Карийской РМС.

В качестве корового источника свинца руд как Апрельковско-Пешковской, так и Карийской рудно-магматических систем могут выступать породы аккреционного клина Монголо-Охотского пояса (МОП), служившие главной составной частью протолита для выплавления гранитоидов амуджикано-сретенского комплекса, а в качестве мантийного источника – базальтоиды трахибазальтовой серии Восточного Забайкалья ( $J_3-K_1$ ), проявленные в близости от Апрельковско-Пешковской и Карийской рудно-магматических систем.



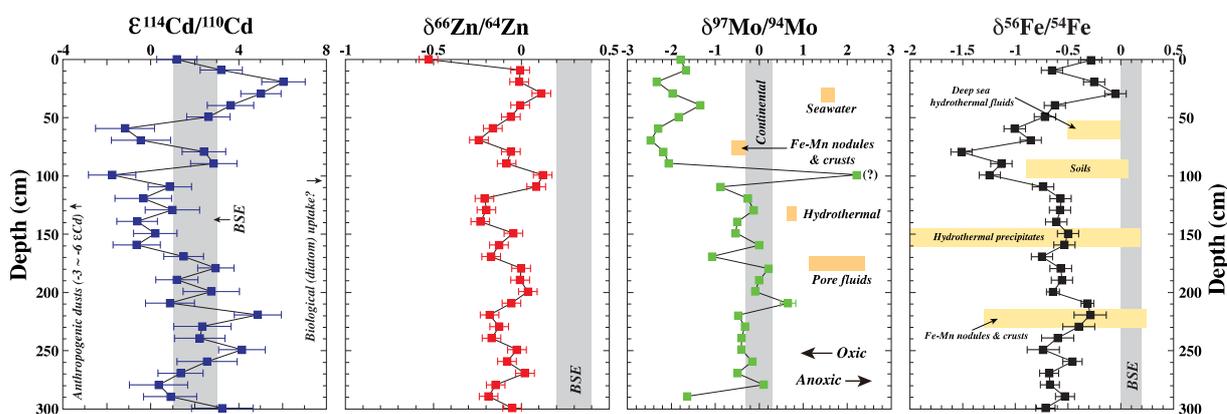
**Рис. 130.** Диаграмма зависимости  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  от  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  для сульфидных минералов Карийской и Апрельковско-Пешковской РМС Восточного Забайкалья: 1 – Амурской дайки; 2 – Сульфидного; 3 – Дмитриевского; 4 – Богоча; 5 – Пильного; 6 – Погромного. Контуром показана область составов пород трахибазальтовой серии  $J_3-K_1$  Восточного Забайкалья. Линия эволюции изотопного состава Pb для истощенной мантии (DM) дана по [Zartman, Haines, 1988<sup>45</sup>], а для «орогена» – по [Дюу, Стейси, 1982<sup>49</sup>]; СК и ВК – линии изотопной эволюции свинца в средней и верхней континентальной коре даны по модели Стейси-Крамерса.

<sup>49</sup> Дюу Б., Стейси Дж.С. Обзор исследований по применению изотопов свинца для решения проблем происхождения руд и оценки возможности поисков рудных месторождений. В кн.: Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. Под ред. Смирнова В.М. – М.: Мир, 1977. С. 11-57.

**Проекты фундаментальных исследований, выполняемые СО РАН  
совместно с организациями Тайваня**

**№ 11. «Роль эндогенных и экзогенных процессов в формировании вулканогенно-осадочных комплексов рифтовых структур Центральной Азии»  
руководители блока академик М.И.Кузьмин, к.г.-м.н А.Б. Перепелов**

• Исследованы вариации стабильных изотопов Fe, Zn, Mo и Cd в аутигенной части осадков скважины GC-99 озера Байкал с целью выявления источников поступления металлов в озеро. Для выделения аутигенной составляющей осадка использовалось не затрагивающее терригенную часть выщелачивание. Для измерения изотопного состава металлов разработана методика двойного изотопного разбавления. Полученные результаты показали, что во всех 4 изотопных системах наблюдаются значительные вариации изотопного состава, который в целом не совпадает с BSE (валовым составом силикатной части Земли).  $\delta^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$  варьируют от 0 до -1,5‰, а большинство образцов показывают величину  $\sim -1$  ‰. Для изотопов цинка величина  $\delta^{66}\text{Zn}/^{64}\text{Zn}$  значительно легче, чем BSE, и варьирует от -0.6 до 0‰ в верхних 50 см (Рис. 131). Общий тренд изменения  $\epsilon^{114}\text{Cd}$  похож на изотопную систему Zn. В верхних 50 см осадка  $\epsilon^{114}\text{Cd}$  варьирует от +2 до +6‰, и наблюдаемое +6‰ вызвано скорее всего биоактивностью (диатомовые). Для верхних 50 см керна наблюдается положительная корреляция изотопных отношений Fe, Zn и Cd, по-видимому, обусловленная протекающими в осадке биологическими процессами. Ниже по разрезу скважины эта корреляция исчезает. В отличие от других металлов изотопные отношения Mo являются, скорее всего, индикаторами окислительно-восстановительных условий осадкообразования. Полученные результаты свидетельствуют о высокой роли биологических процессов в формировании изотопного состава Fe, Zn, Mo и Cd.



**Рис. 131.** Изотопные данные по Cd, Zn, Mo и Fe для керна GC-99, скорость осадконакопления рассчитана для точки бурения BDP-99 и составляет 5-15 см/тыс лет.

---

**Проекты фундаментальных исследований, выполняемые Сибирским  
отделением РАН, Академией наук Монголии и  
Министерством образования, культуры и науки Монголии**

---

*«Эволюция литосферы, магматизм, металлогения и изменения  
окружающей среды и климата монголии» (координаторы академик М.И.Кузьмин,  
Томуртогюо Ононгийн, академик АНМ) –  
руководители блока академик М.И.Кузьмин, к.г.-м.н А.Б. Перепелов*

---

- Проведено изучение прецизионными методами анализа пород офиолитовых комплексов Адацагской и Джидинской зон (окрестности горы Нармандал-Обо) Центрально-Азиатского складчатого пояса. Установлено, что базальты и андезитобазальты Адацага имеют особенности состава, характерные для толеитов островных дуг. Вулканиды комплементарны к присутствующим в разрезе реститовым гарцбургитам, геохимические особенности которых свидетельствуют об образовании при степенях частичного плавления 20-25%. В Нармандалском серпентинитовом меланже выявлено две группы вулканидов. Вулканиды первой представляют собой дифференцированную серию, наиболее магнезиальные члены которой имеют вкрапленники шпинели с хромистостью  $\sim 0.70-0.79$  и геохимические особенности высококальциевых бонинитов. Присутствующие в меланже пироксениты могли кристаллизоваться из высококальциевого бонинитового расплава, судя по магнезиальности ортопироксена (0.87) и клинопироксена (0.91), низким содержаниям титана в минералах и редкоэлементному составу рассчитанного по коэффициентам распределения равновесного к клинопироксену расплава. Бониниты комплементарны к наиболее деплетированным перидотитам Нармандалского меланжа с геохимическими характеристиками надсубдукционных перидотитов со степенями плавления  $\sim 30\%$ . Вулканиды второй группы по содержанию петрогенных, уровню концентраций и распределению редких элементов подобны островодужным известково-щелочным базальтам. Формирование бонинитов могло происходить в надсубдукционных зонах спрединга в результате декомпрессионного плавления астеносферной лерцолитовой мантии, как в современной Идзу-Бонин-Марианской островодужной системе. Базальты, по-видимому, формировались так же, как известково-щелочные

вулканиты SR Камчатской островной дуги на больших глубинах в результате плавления деплетированных перидотитов мантийного клина, обогащенных субдукционным компонентом. Таким образом, в Нармандалском серпентинитовом меланже присутствуют тектонически совмещенные породы, формировавшиеся на разных стадиях развития палеостровной дуги.

В 2013 году проведены экспедиционные работы в районе хребта Бага-Хэнтай, где развиты небольшие интрузии редкометалльных лейкогранитов и амазонит-альбитовых гранитов, с целью их более детальных минералогеохимических исследований и получения надежных геохронологических датировок. В результате проведенных работ было выполнено дополнительное картирование в районе проявления выходов редкометалльных гранитов и изучены их взаимоотношения. Хэнтайский массив редкометалльных гранитов на современном эрозионном срезе представлен двумя выходами: Северным (около 3 км<sup>2</sup>) и Южным (1км<sup>2</sup>), положение которых ориентировано субмеридионально вдоль слоистости вмещающей сланцево-песчаниковой толщи кремнисто-терригенной хэнтайской серии девонско-каменноугольного возраста, в которой наблюдаются мелкие субвулканические и интрузивные тела и дайки палеозойских гранодиоритов. К геохимическим особенностям пород Хэнтайского массива, помимо высоких концентраций Li, Rb и F, следует относить и повышенные концентрации радиоактивных элементов – U и Th.