

---

***Проект 71.1.3. Геохимия, петрология и источники вещества ультраосновных и основных магматических комплексов Сибирского кратона и его складчатого обрамления выполнены следующие исследования.***

*(научный руководитель д.г.-м.н. А.Я. Медведев)*

---

- Впервые получены данные о содержании ЭПГ в пермо-триасовых вулканитах Западной Сибири. Были исследованы базальты, трахиандезибазальты и фонолиты. Определено, что в большинстве исследованных пород изученные элементы находятся на кларковом уровне, хотя содержания платиноидов меняются в широких пределах. Наибольшие содержания элементов наблюдаются в базальтах. Все полученные данные показывают обогащение Pt и Pd относительно Os, Ir, Rh и Ru. Такой характер распределения характерен для пород магматического генезиса. Из рассмотрения поведения элементов в процессе кристаллизационной дифференциации базальтов определено, что только Ru и Ir имеют отрицательную корреляцию с содержанием магния и слабую положительную с железом. Это можно объяснить тем, что либо указанные элементы обладают большим сродством к железу, чем к магнию, либо небольшой степенью плавления мантийного субстрата. Для других ЭПГ такой зависимости не наблюдается. Во всех исследованных породах отсутствует также взаимосвязь ЭПГ с халькофильными элементами (Ni, Cu, Ag). Установлена зависимость между суммарным содержанием элементов платиновой группы и их расположением относительно палеорифтовых долин. Так, в центральной части рифта наблюдается резкое повышение концентраций элементов. По степени удаления от центра содержание ЭПГ существенно уменьшается (Рис. 63). Высказано предположение, что повышенные концентрации суммы платиноидов, платины и палладия связаны с воздействием вещества плюма (*отв. исполнитель д.г.-м.н. Медведев А. Я.*).

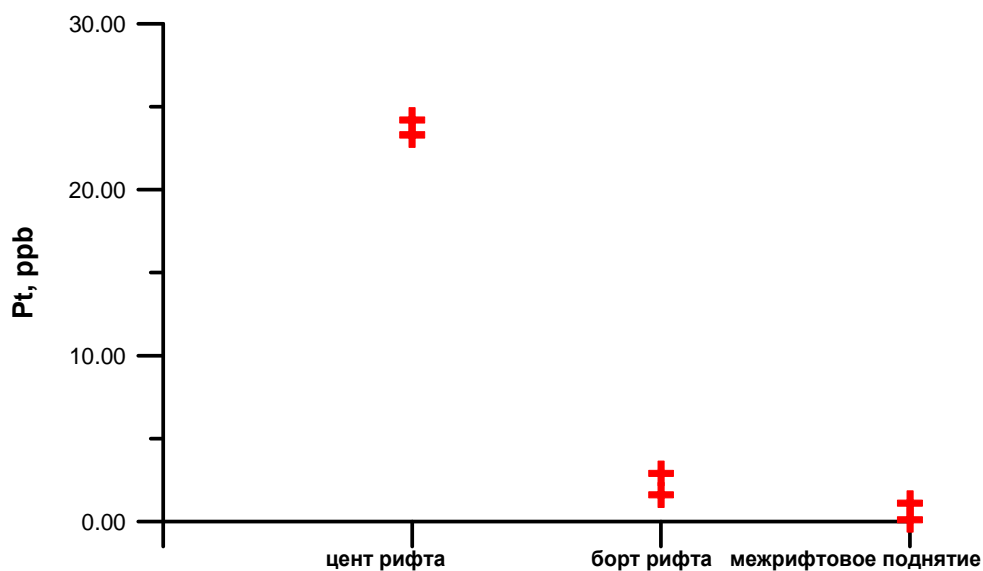
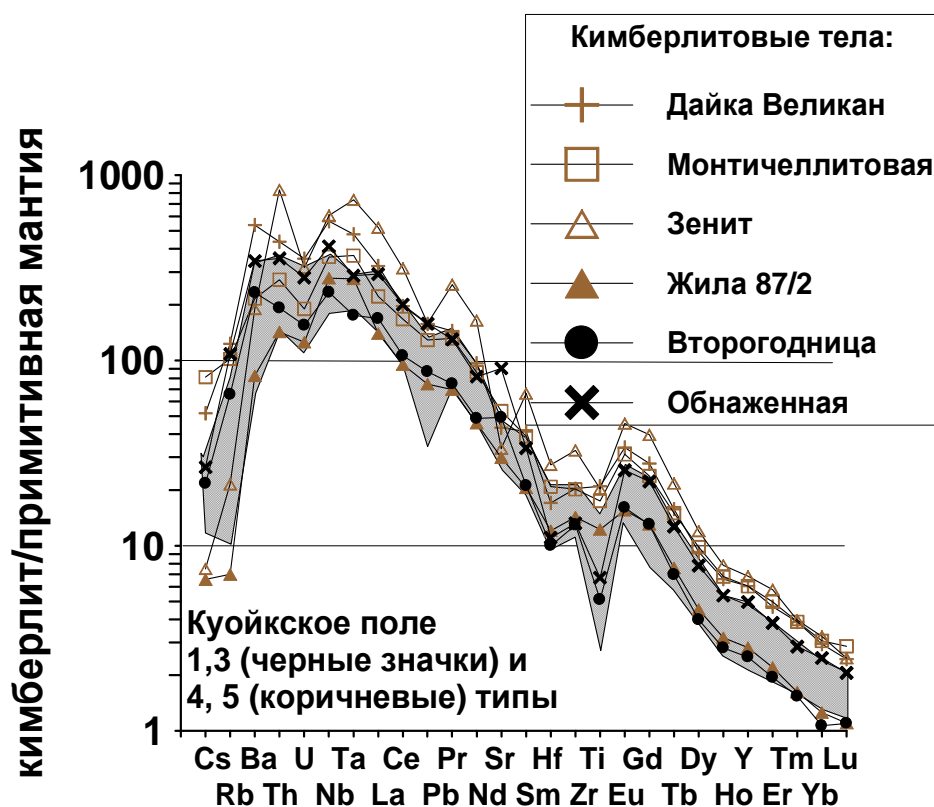


Рис. 63. Зависимость содержания платины от положения относительно рифтовой долины.

Куойкское поле является одним из крупнейших по площади и одним из самых насыщенных трубками полей в Якутской провинции. В настоящее время здесь известно 99 кимберлитовых тел, в том числе, 62 трубки и 27 даек. Кимберлиты Куойкского поля представлены типичными для Якутской провинции структурно-текстурными разновидностями – кимберлитовыми брекчиями и порфиоровыми кимберлитами с массивной текстурой. Но в отличие от южных алмазоносных полей в Куойкском поле преобладают гипабиссальные массивные кимберлиты. Кимберлиты Куойкского поля характеризуются широкими вариациями химического состава. В пределах этого поля получили распространение петрохимические типы, встречаемые как в южных алмазоносных полях, так и в северных. Жильные и дайковые тела выполнены преимущественно высоко-Fe и высоко-Ti кимберлитами. Демонстрируемые графики показывают, что если когерентные элементы (например, Ni, Co) значимо корреляционно связаны с силикатной составляющей, то большинство некогерентных элементов (в частности, Sr, REE, U, Th, Sc) тесно связаны с карбонатной компонентой. CaO+CO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> образуют парагенетически связанную группу оксидов, с которой связан перенос большинства некогерентных элементов. Еще с одной группой оксидов (FeO<sub>total</sub>, TiO<sub>2</sub> и, возможно, K<sub>2</sub>O) генетически связаны такие микроэлементы, как V, Sc, Zr, Nb, Cu, Zn.

Спайдерграмма распределения редких элементов, построенная для кимберлитов Куойкского поля (Рис. 64), показывает, что с полем составов относительно магниальных кимберлитов (1-й и 3-й петрохимические типы) совпадает поле распределения редких элементов, характерных для алмазоносных кимберлитов из южных полей Якутской провинции. Спайдерграмма для кимберлитов с повышенным содержанием  $\text{FeO}_{\text{total}}$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (4-й и 5-й петрохимические типы) характеризуется в целом более высоким уровнем содержания некогерентных элементов. Общее снижение уровня содержания некогерентных элементов для магниальных кимберлитов связано с увеличением в этих кимберлитах относительного объема силикатной компоненты и связанным с этим падением содержания карбоната – одного из основных минералоносителей некогерентных элементов (исполнители д.г.-м.н. Костровицкий С.И., к.г.-м.н. Яковлев Д.А., Калашикова Т.В., Эсенкулова С.А).



**Рис. 64.** Спайдердиаграмма распределения редких элементов для кимберлитов из Куойкского поля Якутской провинции. Заштрихованное поле соответствует составам алмазоносных кимберлитов из южных полей Якутской провинции [Костровицкий, 2007<sup>5</sup>].

<sup>5</sup> Костровицкий С.И., Морикино Т., Серов И.В., Амиржанов А.А. Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы. Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 350-371.

- Обобщены результаты исследований девонского магматизма Минусинской котловины, которая является одним из крупнейших элементов Алтае-Саянской рифтовой области (АСРО). На основе геологических данных, геохимических и изотопных (Sr, Nd) параметров вулканических ассоциаций Минусинской котловины рассмотрены основные закономерности развития ее вулканизма, охарактеризован состав магматических источников и реконструированы геодинамические механизмы их вовлечения в рифтогенез.

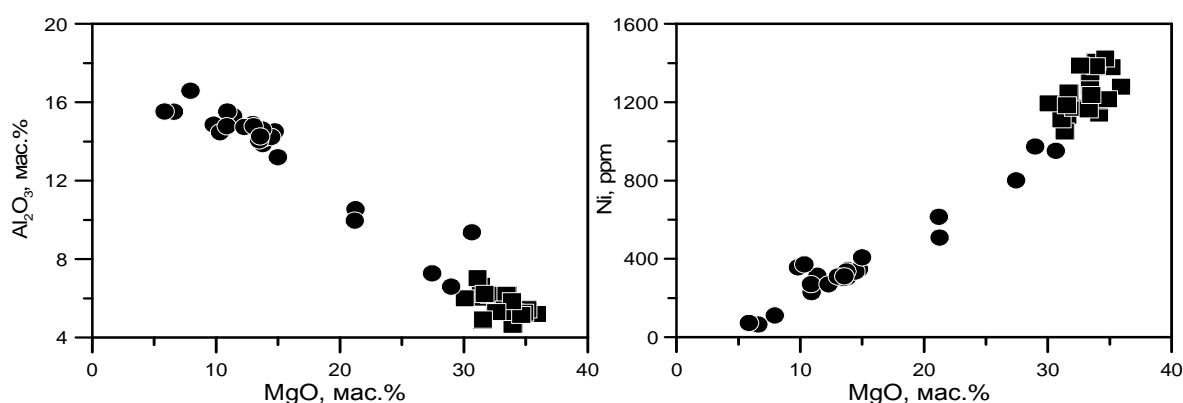
Породы с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 43 до 53 мас.% обогащены редкими литофильными элементами и близки по составу к внутриплитным базальтам типа OIB. В то же время они характеризуются положительными аномалиями Ba (для некоторых пород – Sr), резкими минимумами Nb, Ta и Ti, менее выраженными минимумами Rb и Th, а также слабой обогащенностью тяжелыми редкими землями ( $7 < (\text{La}/\text{Yb})_N < 17$ ), что является признаком флюидонасыщенных магм, образующихся в надсубдукционных условиях. В отличие от магматических ассоциаций других сегментов АСРО, в Минусинской котловине отсутствуют высокотитанистые (более 2 мас.%  $\text{TiO}_2$ ) базиты. Изотопные составы Sr и Nd для этих базитов отклоняются от мантийного ряда в сторону составов с повышенными содержаниями радиогенного стронция. Характер зависимостей между редкими несовместимыми элементами свидетельствует о ведущей роли кристаллизационной дифференциации при формировании пород с содержанием  $\text{SiO}_2$  от 53 до 77 мас.%. Вулканисты с содержанием кремнезема более 53 мас.%, вероятно, были образованы при комбинации процессов ассимиляции расплавами вещества коры и кристаллизационной дифференциации магм основного состава. Предложена модель формирования первичных расплавов Минусинской котловины при одновременном участии источников магматизма двух типов: плюмовых и водонасыщенных надсубдукционных, располагающихся под активной континентальной окраиной.

Установлено, что вулканисты Минусинской котловины обладают рядом

особенностей. Главными из них являются отсутствие высокотитанистых (более 2 мас.%  $TiO_2$ ) базитов, слабые геохимические различия в породах по площади котловины и близкие изотопные составы Sr и Nd для пород из разных сегментов котловины, удаленных друг от друга на значительные (десятки и сотни км) расстояния. Подобные особенности состава базитов, характеризующих материнские источники, объяснимы тем, что Минусинская котловина не принадлежит ни к одной из ветвей тройного соединения, удалена от него на значительное расстояние (от 300 до 500 км) и, следовательно, состав первичных магм под ней в минимальной степени зависит от влияния «головы» мантийного плюма на формирование источников первичных расплавов. Этот же фактор является причиной нетипичного для рифтогенных структур площадного прогибания литосферы в условиях регионального ее растяжения. По своим изотопно-геохимическим характеристикам базиты близки к тем первичным расплавам, которые образуются в водонасыщенной надсубдукционной мантии, предварительно обогащенной редкими литофильными элементами. Заражение радиогенным Sr базальтов является результатом ассимиляции материнскими расплавами древних карбонатсодержащих осадков, проникших в область магмообразования в ходе субдукции (*исполнители д.г.-м.н. Воронцов А.А., к.г.-м.н. Андрющенко С.В.*).

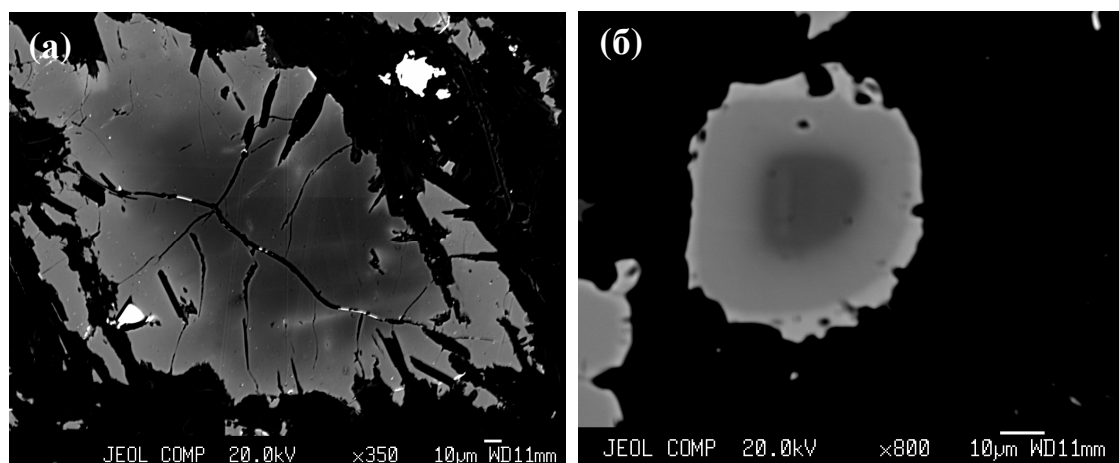
Исследованы массивы ультрабазитов Приморского хребта, занимающие секущее положение по отношению к комплексам выступа фундамента Сибирского кратона, сложенным вулканогенно-осадочной толщей сарминской серии нижнего протерозоя и прорывающими ее приморскими гранитоидами возраста 1.86 млрд лет, которые широкой полосой выходят вдоль западного берега озера Байкал. Среди многочисленных тел нами детально изучены два массива: Улан-Хан и Морянский. Они представляют собой линзообразные крутопадающие тела, ширина выходов которых на поверхность составляет 50-200 м при протяженности до 2 км. Массив Улан-Хан сложен дифференцированным рядом пород, меняющих свой состав от пикритов до

пикродолеритов, а Морянский – порфиroidными пикритами. Породы изменены в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма и в большинстве случаев первичные минералы сохранились только в виде реликтов. В краевых зонах ультрабазиты превращены в тальк-хлорит-серпентиновые сланцы. В наименее измененных породах сохраняется до 50 % первичных минералов, представленных оливином, хромдиопсидом и, реже, бронзитом. Практически во всех породах сохраняются хромшпинелиды. Внутри массивов нами обнаружена сульфидная вкрапленность, иногда с платиноидами.



**Рис. 65.** Состав ультрабазитов Приморского хребта.  
Массивы: Улан-Хан (круг) и Морянский (квадрат).

По уровню содержаний щелочей породы обоих массивов относятся к нормальнощелочному подотряду. Для массива Улан-Хан характерен значительный разброс содержаний петрогенных элементов (Рис. 65), а для пород Морянского массива присуще компактное расположение точек и максимальные содержания магния, никеля и хрома.



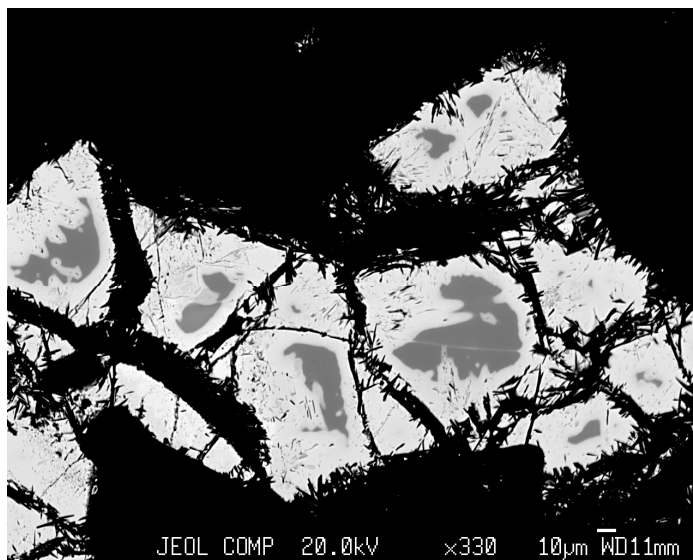
**Рис. 66.** Зональность в минералах массива Улан-Хан: а – оливин, б – хромшпинелид.  
Изображение в обратно-рассеянных электронах.

Оливины в Морянском массиве однородны ( $\text{Fa}_{25-26}$ ), а в Улан-Хане с четко выраженной зональностью, характеризующейся изменением фаялитового компонента от 17 до 28 % (Рис. 66 а). Ортопироксены представлены бронзитом с повышенными содержаниями хрома, алюминия. Клинопироксены – хромдиопсиды. Состав хромшпинелидов является одной из особенностей ультрабазитов Приморского хребта. Они относятся к низкоглиноземистым разновидностям (9-10 мас.%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), характеризуются низкими содержаниями магния, алюминия, и высокими – марганца (до 3 мас.%) и цинка (до 1 мас.%), что роднит их с коматиитами Австралии. В них наблюдается как магматическая, так и метаморфическая зональность (Рис. 66 б).

Сульфидные минералы представлены ассоциацией халькопирит-пирротин-пентландит, в которой пирротин и пентландит находятся в равных соотношениях и на них приходится ~ 80 %. Минералы элементов платиновой группы присутствуют в виде мелкой вкрапленности, размером 3-4 микрон, локализуемой в сульфидах, и по составу отвечают висмито-теллуридам палладия (*исполнители к.г.-м.н. Мехоношин А.С., к.г.-м.н. Колотилина Т.Б., к.г.-м.н. Бенедюк Ю. П., к.г.-м.н. Дорошков А.А.*).

- Проведено исследование состава пород и минералов Хара-Нурского и Улан-Сарьдагского перидотитовых массивов офиолитовых комплексов обрамления Гарганской глыбы (Восточный Саян). Выявлены закономерности изменения состава хромшпинелидов в зависимости от степени серпентинизации пород. Шпинель становится неоднородной, по краю образуется зона прорастания хромита или магнетита с серпентином, содержащим алюминий, или с хлоритом. От центра к краю зерна наблюдается уменьшение концентраций  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и увеличение –  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ , при этом магнезиальность шпинели закономерно понижается, а хромистость – растет до момента образования магнетита в краевой оторочке. Наиболее чувствительными индикаторами изменения состава хромшпинелида являются цинк и марганец. Крупные зерна хромшпинелида даже при полной серпентинизации пород

сохраняют участки с первичным составом (Рис. 67), что позволяет использовать его для петрологических реконструкций. Установлен петрогенный и редкоэлементный состав перидотитов (РФА, ICP-MS). Получены первые данные



**Рис. 67.** Неоднородность состава шпинели в серпентините s12-9. Снимок сделан в режиме обратно-рассеянных электронов на рентгеновском микроанализаторе JXA-8200 (JEOL Ltd).

о содержании элементов платиновой группы в ультрамафитах (методом изотопного разбавления с масс-спектрометрическим окончанием), изучены микрочерта сплавов ЭПГ в хромититах (JEOL-JXA8200). Полученная информация позволяет предположить образование перидотитов как реститов высоких степеней (~ 20-30%) плавления мантийного вещества с последующим преобразованием их расплавами, вероятно, в надсубдукционных зонах (исполнители д.г.-м.н. Горнова М.А., д.г.-м.н. Медведев А.Я., Беляев В.А., Каримов А.А.).