
ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приоритетное направление 7.1. ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕЩЕСТВЕННО- СТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ТВЕРДЫХ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСАДОЧНОГО ПОРОДООБРАЗОВАНИЯ, МАГМАТИЗМА, МЕТАМОРФИЗМА И МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ.

Программа VII.54.2. МАГМАТИЗМ, МЕТАМОРФИЗМ И ФЛЮИДЫ: ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ, ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ПРОЯВЛЕНИЯ

Проект VII.54.2.3. ГЕОХИМИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ И ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИБИРСКОГО КРАТОНА И ЕГО СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ

(Пер. № 01201055604)

(научные руководители проекта д.г.-м.н. В.С. Антипин, д.г.-м.н. В.А. Макрыгина)

Блок 1. Природа, источники и геодинамические обстановки образования основных-ультраосновных комплексов Сибирской платформы и ее складчатого обрамления на основе изотопно-геохимических исследований (отв. исполнители: к.г.-м.н. С.И. Дриль, д.г.-м.н. А.Я. Медведев).

- В процессе проведенных исследований установлено, что для юго-западной части Южно-Минусинской впадины характерны базитовые и дифференцированные ассоциации от базальтов до трахидацитов. В Чаданской депрессии Тувинского прогиба, в пределах которой образовывались мощные ранне-среднедевонские вулканические толщи, сложенные лавами базальтов, кислые породы представлены субщелочными риолитами.

Обобщены результаты геохимических и Sr-Nd изотопных исследований девонских базитов быскарской серии Шунетского и Ширинского районов Чебаково-Балахтинской впадины Минусинского прогиба. Базиты близки по составу к внутриплитовым субщелочным базальтам типа ОІВ. Но по сравнению с ОІВ они обеднены высокозарядными некогерентными элементами и обогащены Ва, Sr и тяжелыми редкими землями, что типично для магматических серий активных континентальных окраин и островных дуг. Точки изотопных составов пород на графике $\epsilon\text{Sr}(T) - \epsilon\text{Nd}(T)$ группируются в линейно вытянутый

тренд, отклоняющийся от «мантийного ряда», что свидетельствует о смешении базитовых расплавов из источников с характеристиками типа PREMA и других источников с параметрами субстратов, обогащенных радиогенным стронцием (д.г.-м.н. А.А.Воронцов).

- Установлено, что литосферная мантия на северо-восточной окраине Сибирской платформы неоднородна по составу и строению. В целом, в ее составе существенным образом доминирует пироксенит-вебстеритовый парагенезис пород. Под Куойкским и Молодинским полями в литосферной мантии возрастает роль лерцолитовых пород. Хотя алмазоносные дунит-гарцбургиты практически отсутствуют в северных полях, но наличие высокохромистых лерцолитов в Куойкском и Молодинском полях дает основание для предположения об их потенциальной алмазоносности (Рис.1) (д.г.-м.н. С.И. Костровицкий).

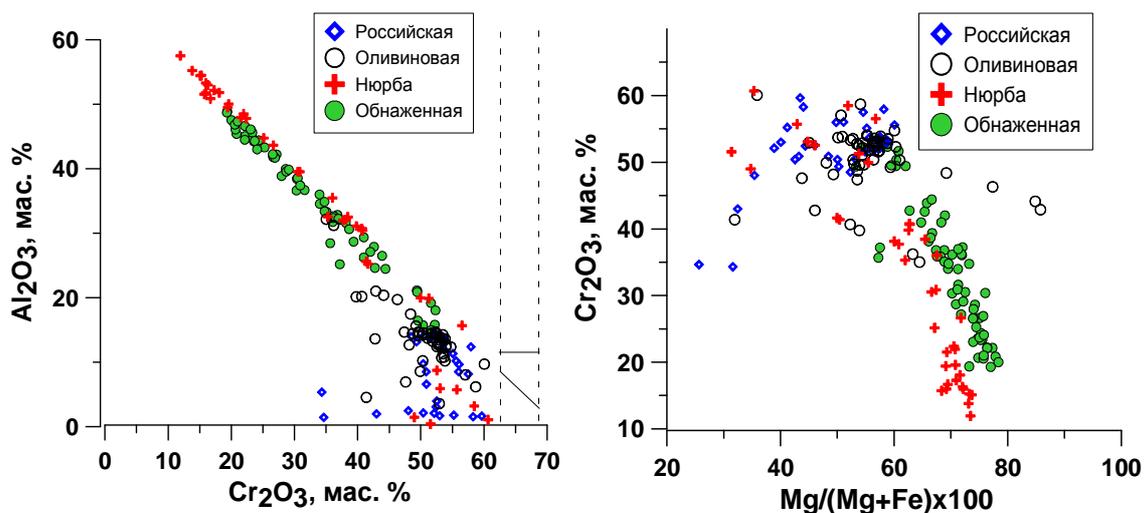


Рис. 1. График зависимости $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})\times 100\text{-Cr}_2\text{O}_3$ для шпинелидов из кимберлитов Куойкского поля.

Блок 2. Источники магм, изотопно-геохимическая систематика и эволюция гранитоидных и гранитно-пегматитовых систем в истории геодинамического развития складчатого обрамления Сибирского кратона (отв. исполнители д.г.-м.н. В.С. Антипин, д.г.-м.н. В.Е. Загорский)

- На основе геохимических данных (ICP MS) показано (Рис. 2 а и б), что на острове Ольхон синколлизийный (PZ₁) шаранурский комплекс представлен гранитоидами с широкими вариациями состава, среди которых выделены различные геохимические типы: 1) мигматиты и плагиограниты Na-щелочности,

2) известково-щелочные К-На гранитоиды, 3) субщелочные граносиениты и кварцевые сиениты, 4) щелочные сиениты. Впервые на Ольхоне установлен геохимический тип 5) пегматоидных редкометалльных гранитов с высокими концентрациями Rb, Cs, Be, Ta, Nb, Sn, W и проявлением Ве минерализации.

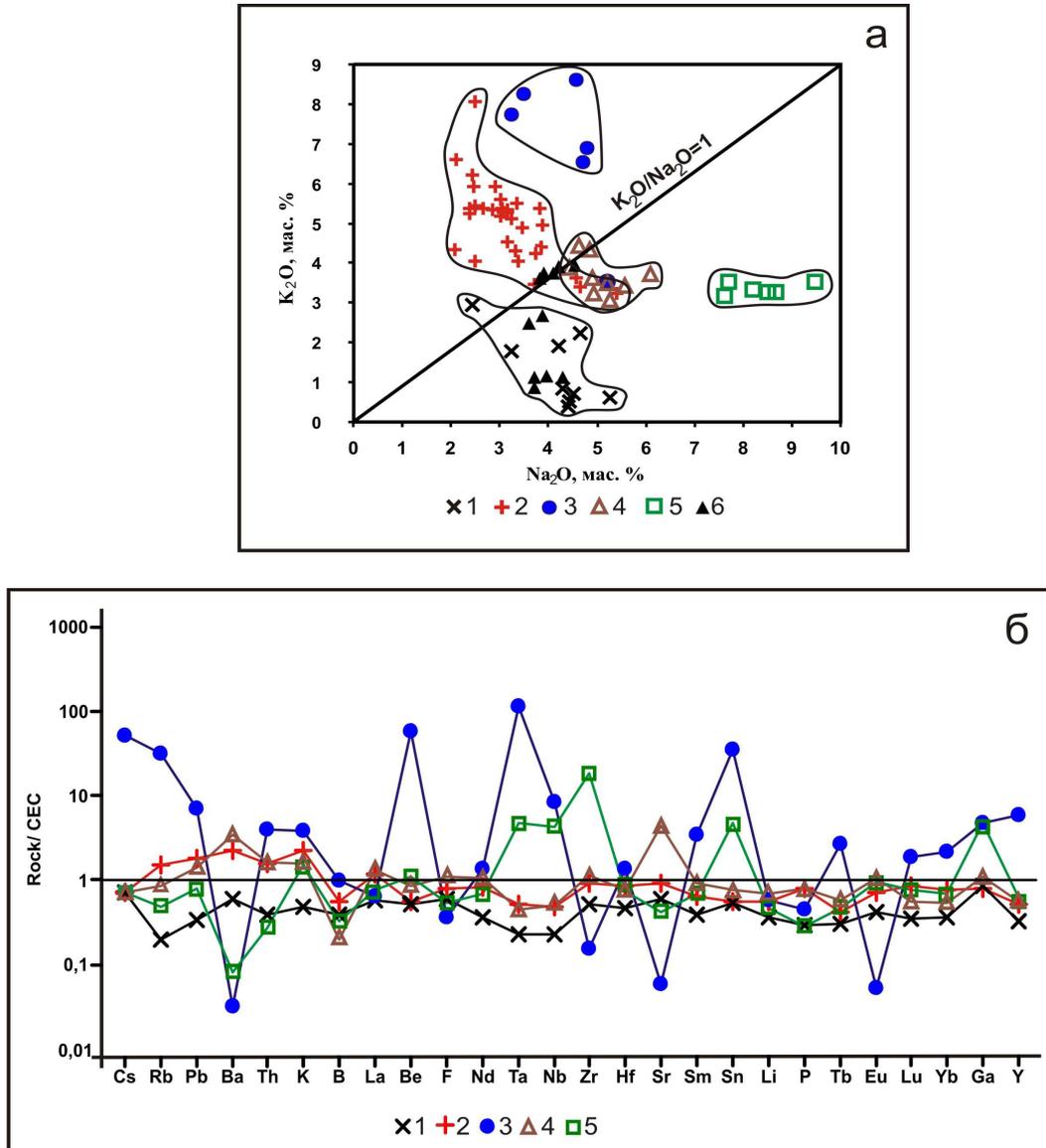


Рис. 2. Интрузивные породы шаранурского комплекса острова Ольхон.

1 - плагиограниты, мигматиты, 2 – К-На-гранитоиды, 3 - редкометалльные микроклин-альбитовые граниты, 4 - граносиениты, кварцевые сиениты, 5 - щелочные сиениты, 6 – гнейсы.

- Первые два типа наиболее близки к среднему составу континентальной коры и формировались при анатектическом плавлении гнейсового субстрата Ольхонского террейна. Гранитоиды и щелочные породы связаны с разными магматическими источниками, которые будут исследоваться изотопно-геохимическими методами (*д.г.-м.н. В.С. Антипин*).

- В северо-западной части Восточно-Саянского пегматитового пояса, в пределах Елашского грабена, являющегося частью Тагул-Туманшетской подвижной зоны, расположены Вишняковское и Александровское поля петалитовых редкометалльных пегматитов. Пегматиты пространственно ассоциируют с Елашско-Тенишетским массивом амфибол-биотитовых гранодиоритов и низкощелочных гранитов саянского комплекса, а также с Топорокским массивом и дайкообразными телами гранитов-рапакиви елашского комплекса, однако геохронологические данные свидетельствуют об огромном (380-300 млн лет) временном разрыве между пегматитами (1480 млн лет) и названными гранитами (1860-1780 млн лет). Главным фактором, определяющим положение пегматитовых полей, является контроль их зонами глубинных разломов.

Вишняковское поле (с одноименным крупным месторождением Та) относится к комплексному геохимическому ряду петалитовой подформации редкометалльной формации пегматитов, а Александровское – к фосфор-тантал-литиевому ряду. Для наиболее крупных жил характерно участковое асимметрично-зональное строение с резкой дифференциацией минерального и химического составов, особенно по соотношению щелочей: например, $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$ в различных зонах жил Вишняковского поля изменяется от 0,14 до 10. Очень широко варьируют также содержания SiO_2 , F, Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sn. При этом наблюдается отчетливое накопление Rb, Cs, Ta и Nb и рост Ta/Nb-отношения от внешних зон к внутренним. Литий концентрируется в основном в участках блокового петалита, а также в обогащенных лепидолитом участках. Для изученных пегматитов характерно отсутствие европиевого минимума в спектрах РЗЭ.

В процессе формирования петалитовых пегматитов выделяется три этапа – раннемагматический, позднемагматический (кристаллизация из остаточного флюидизированного расплава) и аутометасоматический. Уже на раннемагматическом этапе образуются петалит, лепидолит и колумбит-(Mn), на

позднемагматическом – лепидолит, сподумен, эвкрипит, литиофилит, монтебразит, танталит-(Mn), воджинит, микролит и иксиолит, на автометасоматическом – танталводжинит и микролит. Среди танталониобатов, в том числе и на раннемагматическом этапе, резко преобладают разновидности с преобладанием тантала над ниобием (Рис. 3).

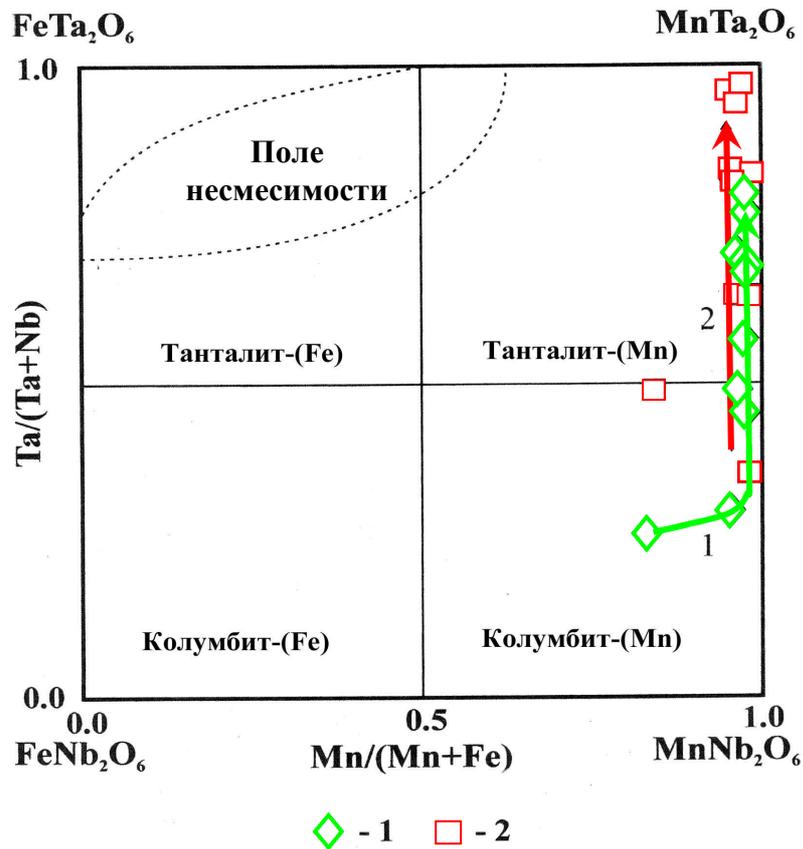


Рис. 3. Тренды изменения состава тантало-ниобатов группы колумбита в пегматитах Александровского (1) и Вишняковского (2) полей.

При построении петрологической модели формирования петалитовых пегматитов региона необходимо учитывать: 1) отсутствие в пределах грабена гранитов, которые можно было бы предположить в качестве «материнских» для редкометалльных пегматитов; 2) отсутствие зональности пегматитовых полей относительно массивов гранитоидов; 3) контроль положения пегматитовых полей зонами глубинных разломов; 4) очень неравномерное распределение как петрогенных, так и редких элементов в объеме пегматитовых тел; 5) изначально высокую степень обогащения пегматитовых расплавов редкими элементами (Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Be, Sn) и летучими компонентами (H_2O , F, и P); 5) отсутствие

европиевого минимума в спектрах РЗЭ пегматитов. Перечисленные особенности согласуются с метамагматической моделью образования пегматитов, согласно которой ультраредкометалльные пегматитовые расплавы являются результатом процесса флюидно-магматического преобразования обычной гранитной магмы в глубинных очагах под воздействием мантийных и/или нижнекоровых флюидов, обогащенных гранитофильными элементами. Высокая степень эволюционного развития таких расплавов достигалась в надликвидусных условиях до начала процессов кристаллизационного фракционирования [Zagorsky, 2009¹]. Внедрение пегматитовой магмы по глубинным разломам в верхние горизонты земной коры сопровождалось её гетерогенизацией по составу на путях внедрения, что обусловило высокую степень вещественной гетерогенности расплавов. Последующее фракционирование флюидизированного гетерогенного расплава в процессе его кристаллизации приводило к еще большему концентрированию редких металлов в отдельных зонах и участках пегматитовых тел (д.г.-м.н. В.Е. Загорский, к.г.-м.н. В.М. Макагон).

Блок 3. Происхождение, эволюция и рудоносность вулкано-плутонических щелочных и карбонатитовых комплексов Сибирского кратона и его складчатого обрамления (отв. исполнитель д.г.-м. н. Н.В. Владыкин)

- Объектами исследования были: 1) четвертичные вулканиты Италии о. Пантеллерия (лавы и стекла щелочных базальтоидов, щелочных трахитов и пантеллеритов) и комендиты о. Сардиния; 2) юрские вулканиты Монголии карбонатитового комплекса Мушугай Худук, в том числе и церусситовые туфы и флюорит-барит-кристобалитовые породы и для сопоставления брались их интрузивные аналоги – карбоновые щелочные граниты и пегматиты Хан-Богдинского массива, пермские сиениты и карбонатиты Лугингольского массива, шонкиниты Борун Хасар Улы, палеозойские шонкиниты и карбонатиты Маунтин-Пасс (США). Среди них не рудоносными являются только вулканиты Италии. Из петрохимической диаграммы щелочи-кремнезем (Рис. 4) видно, что все выбранные объекты образуют гомодромные тренды составов от

¹ Zagorsky V.Ye. On emplacement of compositionally heterogenous pegmatite melts: petrogenetic implications // Estudios Geológicos, 2009, V. 19(2), P. 365-369.

Конфигурации кривых спайдердиаграмм от U до Lu так же однотипны, с некоторыми вариациями отношений Zr и Hf. Соотношения Ba, Th и U несколько различаются. Оба спектра редких элементов для шонкинитов Борун Хасар Ула и Маунтин Пасс совершенно аналогичны как по соотношениям, так и по концентрациям элементов (Рис. 5d).

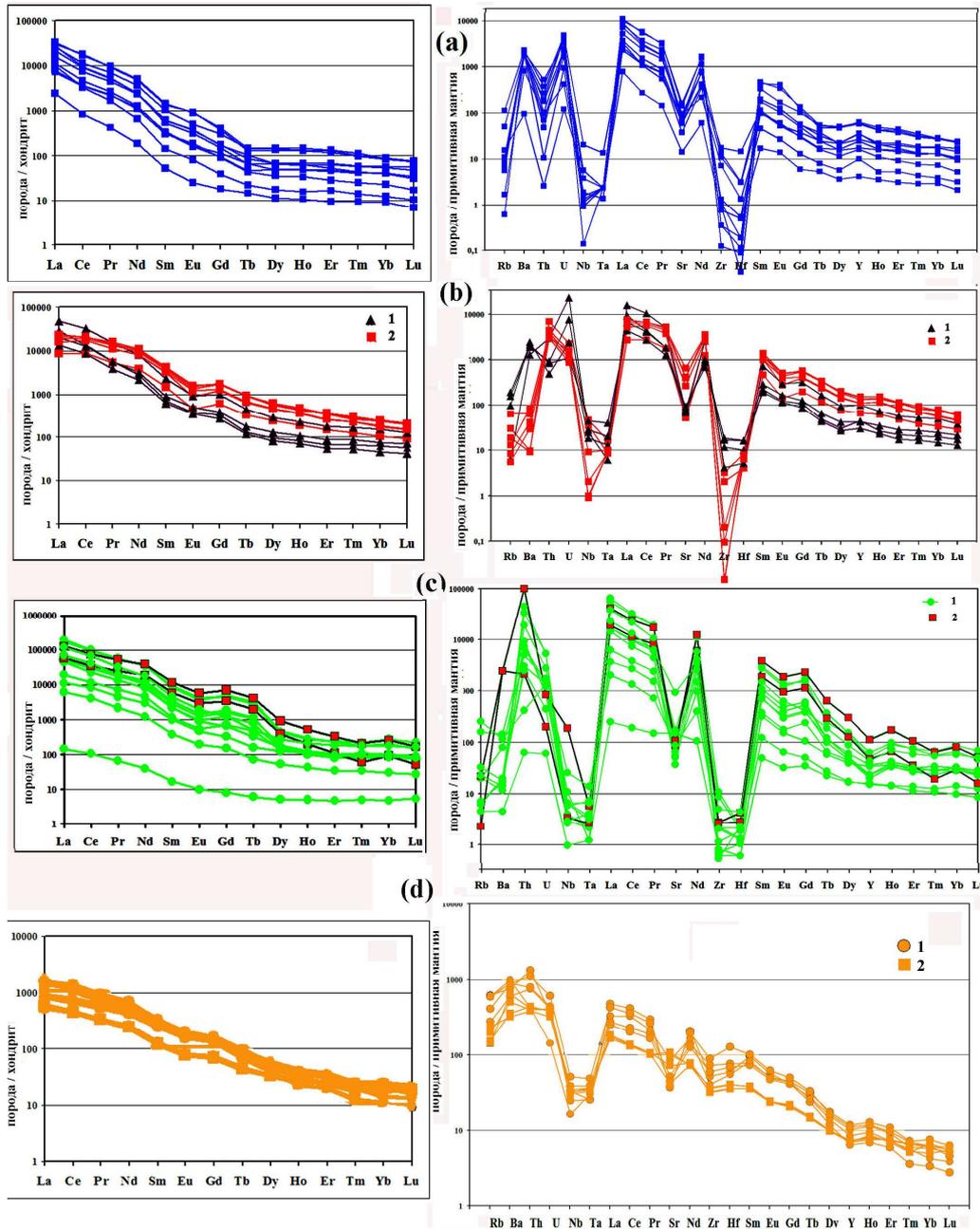


Рис. 5. Диаграммы спектров РЗЭ (слева) и спайдердиаграммы (справа).

(а) вулканогенные микрозернистые породы флюорит-барит-кристобалитового состава, (б) 1 - ярозит-церусситовые туфы и туфобрекчи, 2 – карбонатиты; (с) 1 - карбонатиты Лугингольского массива, 2 – карбонатиты массива Маунтин Пасс, (d) 1 - шонкиниты Барун-Хасар-Ула, 2 - шонкиниты Маунтин Пасс.

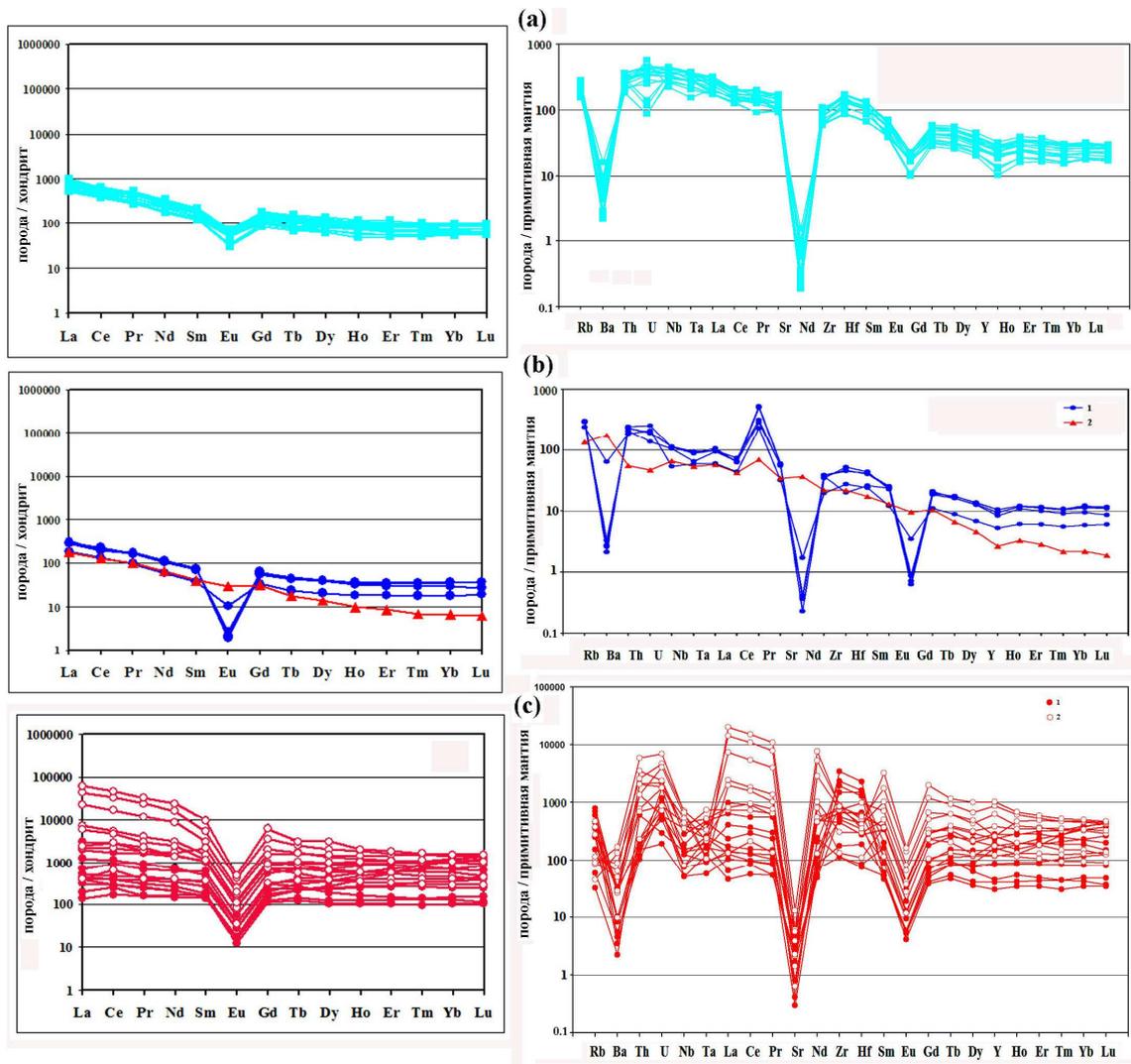


Рис. 6. Диаграммы спектров РЗЭ (слева) и спайдердиаграмм (справа).

а) пантеллериты о. Пантеллерия, **б)** вулканиды о. Сардиния: 1- комендиты, 2- ксенолиты шпинелиевых лерцолитов в щелочных базальтоидах; **с)** Хан-Богдинский массив: 1- щелочные граниты, 2- арфведсонитовые пегматиты.

Для более кислых представителей щелочных пород (Рис. 6) – четвертичных вулканических лав, стекол пантеллеритов о. Пантеллерия и комендитовых лав о. Сардиния, а также пермских интрузивных редкометалльных гранитов и пегматитов Хан-Богдинского массива конфигурации спектров на спайдердиаграммах и спектров РЗЭ совершенно аналогичны, за исключением положительной аномалии олова в комендитах. Естественно, содержания редких элементов в редкометалльных породах Хан-Богдинского массива значительно выше, чем в вулканических аналогах. Интересно, что хотя конфигурация спектров на спайдердиаграммах в комендитах и мантийных ксенолитах из базальтоидов о. Сардиния резко различаются (Рис. 6б), но уровни концентраций

элементов довольно близки. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что возраст и динамические условия внедрения и кристаллизации щелочных пород мало влияют на их рудоносность, а главными в концентрировании редких элементов до уровня месторождений являются процессы дифференциации вещества, происходящие в магмах.

Получены новые данные по химическому и редкометалльному составу редкометалльных силикатно-карбонатных карбонатитов р. Биряя (Восточная Сибирь). Максимальные содержания в них суммы РЗЭ = 23%, SrO = 17%, Nb = 3%. В двух пробах карбонатитов обнаружено 650 и 840 ppm таллия. В одном из карбонатитов найден минерал, который оказался новым и назван **кордилит-(La)**, с формулой $(\text{Na,Ca})_2\text{Ba}_2(\text{La}_3\text{Sr})_4(\text{CO}_3)_8\text{F}_2$; он утвержден комиссией IMA 2010-58 (д.г.-м.н. Н.В. Владыкин).

Блок 4. Изотопно-геохимическое изучение метаморфических комплексов юга Сибирской платформы и ее складчатого обрамления с целью создания модели их эволюции и геодинамических обстановок формирования протолитов (отв. исполнитель д.г.-м.н. В.А. Макрыгина)

- Одним из достижений в области геологии Присаянского краевого выступа фундамента Сибирской платформы было установление проявления двух рубежей высокотемпературного метаморфизма [Сальникова и др., 2007³] – неoarхейского (2,56-2,65 млрд лет) и палеопротерозойского (1,85-1,87 млрд лет). Разновозрастные образования перемежаются между собой в виде пластин и тел субпластовой формы. Каждый этап гранулитового метаморфизма сопровождается образованием мигматитов и гранитоидов.

Неoarхейские гранитоиды, относимые к китойскому ультраметагенному комплексу, приурочены к блокам гранулитовых и тоналит-трондьемитовых ассоциаций (ТГА) зеленокаменных структур. Их состав варьирует в зависимости от субстрата и степени его преобразования. Среди них выделяют как слабо измененные гранулиты или ТГА – мигматизированные сланцы и гнейсы, так и

³Сальникова Е.Б., Левицкий И.В., Левицкий В.И. и др. Новые данные о возрасте Китойского андалузит-силлиманитового месторождения // Изотопные системы и время геологических процессов. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии 2-4 июня 2009, СПб. ИГГД РАН, 2009, Т. 2, С. 154-155.

продукты их интенсивных преобразований – плагиоклазовые и калишпатовые мигматиты, эндербиты, чарнокиты, автохтонные и аллохтонные граниты, пегматиты, развитые по орто- и парапородам. По щелочнометалльности их составы варьируют от низкощелочных до субщелочных, а по геохимическим параметрам они относятся к ультраметаморфическому типу гранитов – обогащены Ti, Al, K, Ba, LREE, Zr, Cr, Ni.

Породы ультраметаморфического этапа палеопротерозойского цикла представлены плагиоклазовыми и калишпатовыми мигматитами, автохтонными и аллохтонными гранитами. По возрасту и геохимическим характеристикам к ультраметаморфическим гранитам близки посткинематические гранитоиды, относимые в регионе к саянскому, шумихинскому, игнокскому, приморскому комплексам. Это позволяет рассматривать ультраметаморфические гранитоиды как образования, сформированные на нижних уровнях шарыжалгайской серии. При последующем их перемещении зарождаются крупные очаги с последующей трансформацией и кристаллизацией гомогенных магм в гранитных батолитах посткинематических гранитоидов. Так, в Иркутном блоке шарыжалгайской серии присутствуют синколлизийные ультраметаморфические плагио- и калишпатовые мигматиты, теневые мигматиты, параавтохтонные и аллохтонные граниты, развитые в интервале 1,851-1,876 млрд лет, а в Китойском блоке китойской серии – 1,852-1,872 млрд лет; в Иркутном, Китойском и Бирюсинском блоках распространены гранитоиды саянского и шумихинского комплексов (1,85-1,87 млрд лет); в Урикско-Ийском грабене – игнокского комплекса (1,86 млрд лет). Составы гранитоидов саянского, приморского и шумихинского комплексов по концентрациям Si, Ti, Al, Fe, Ca, K, Na, Li, Ba, Sr, La, Nb, Y, Zr, Ta, Nb, Pb, Cr, V, Co близки к средневзвешенному составу ультраметаморфических гранитоидов (теневого мигматитов, гранитов, чарнокитоидов) шарыжалгайской серии. В последних, относительно посткинематических гранитоидов, отмечаются повышенные количества Mg, Ca, Cr, V, Co, что обусловлено доминированием в субстрате шарыжалгайской серии основных пород. Гранитоиды интрузивных комплексов, наоборот, резко

обогащены Rb, Cs, Li, B, Be, LRRE, Sn, Ta, Nb, Pb, что отражает проявление в них магматической и эманационной дифференциации (Рис. 7).

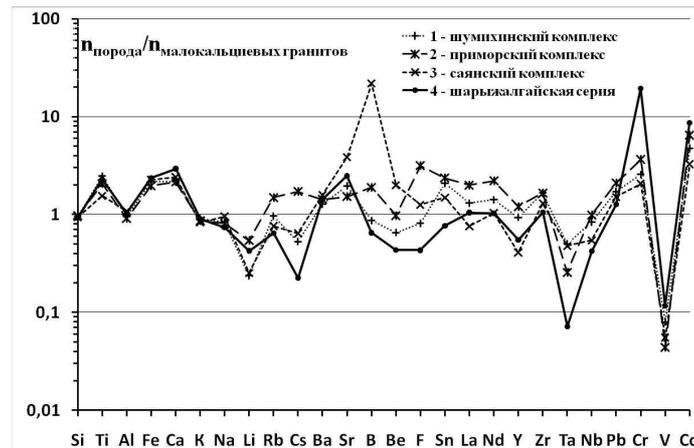


Рис. 7. График нормирования содержаний элементов в посткинematических (1-3) и ультраметагенных гранитоидах шарыжалгайской серии (4) к кларкам малокальциевых гранитов [Turekian, Wedepohl, 1962⁴].

Работа по изучению ромбического лазурита окончилась открытием и утверждением в комиссии IMA уже в качестве нового минерала *владимиривановита* (д.г.м.н. Левицкий В.И.)

- В Ольхонском регионе высокотемпературный метаморфизм сопровождается мигматизацией и гранитообразованием. Особенно интенсивно эти процессы проявлены в тектонических пластинах гнейсового состава юго-восточных крыльев сдвиговых систем, которые испытали сдвиг-взбросовые движения со снижением давления. В северо-западных крыльях, где давление в процессе сдвига повышалось, образовывались сопряженные с мигматизацией метасоматиты основного состава. Это метасоматические эклогитоподобные породы Чернорудской зоны, где давления достигали 10 кбар по данным [Петрова, Левицкий, 1984⁵], и изученные нами линзы и прослои геденбергит-анортит-гроссуляровых метасоматитов среди мигматитов и послойных гранитных жил о-ва Ольхон. Геденбергит-клиноцоизит-анортитовые парагенезисы замещаются гранофировыми сростаниями граната андрадит-

⁴ Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. // Bull. Geol. Soc. Amer., 1962, V. 72, №2, P. 175-192.

⁵ Петрова З.И., Левицкий В.И. Петрология и геохимия гранулитовых комплексов Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1984. – 200 с.

гроссулярового состава. Система практически полностью лишена магния, и субстрат, по которому развивались эти скарноподобные породы, скорее всего, представлял кальцитовый мрамор. Температуры (гранат-клинопироксеновый геотермометр) и давления (пироксеновый геобарометр) составляли 735°C и 8 кбар (д.г.-м.н. В.А.Макрыгина).

- Изучены геохимические особенности плагио- и калишпатовых порфиров в чехле Гарганской глыбы. Плагиоклазовые порфиры рч. Хойто-Гарган очень близки по составу к тоналитам Сумсунурского батолита, отличаясь лишь более

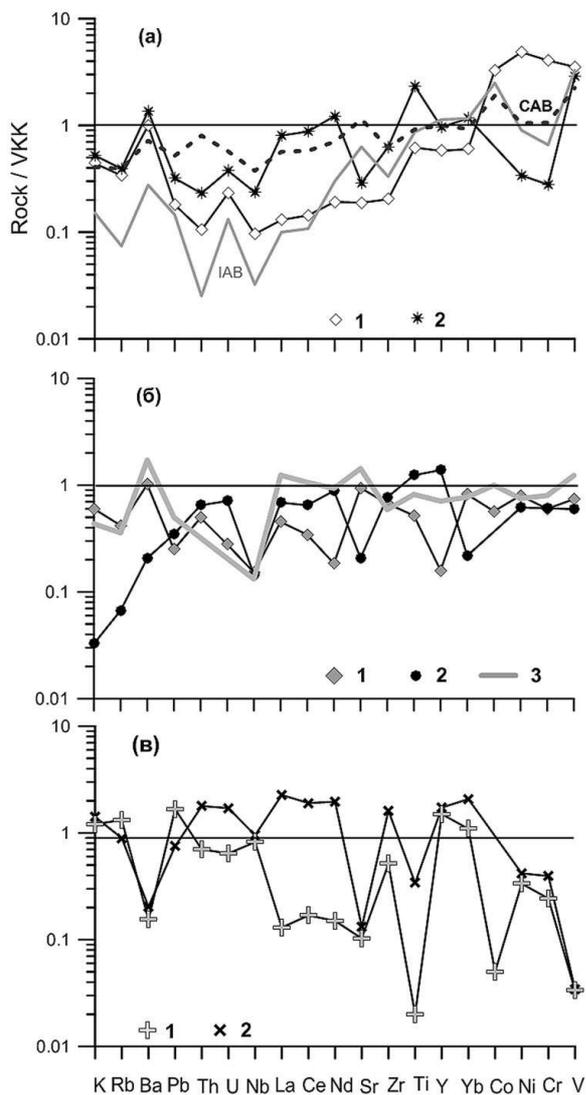


Рис. 8. Спайдерграммы средних составов вулканитов и тоналитов в фундаменте и чехле Гарганской глыбы: а – дунжугурские (1) и сархойские (2) андезиты; б – плагиопорфиры Хойто-Гаргана (1) и сархойские (2), 3 – тоналиты Сумсунурского массива [Гребенщикова, 2004⁶]; в – калишпатовые порфиры Хойто-Гаргана (1) и сархойские (2). Нормированы по верхней континентальной коре. Данные по дунжугурским и сархойским вулканитам приведены по [Кузьмичев, 2004⁷].

низкими содержаниями REE и Ti, несколько более высоким калием и низким

⁶ Гребенщикова В.И. Геохимия фанерозойских гранитоидных батолитов Восточной Сибири и их роль в формировании золотого оруденения. – Дисс. на соискание ученой степени д.г.-м.н., Иркутск, 2004. – 396 с.

⁷ Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, козднебайкальский и каледонский этапы. – М.: ПРОБЕЛ-2000, 2004. – 192 с.

барьером, что может быть следствием дифференциации расплава. Сархойские плагиопорфиры характеризуются очень низкими концентрациями K, Rb, Ba и Sr. Калиевые порфиры рч.Хойто-Гарган также при всем сходстве с сархойскими ортофирами имеют очень низкие содержания REE, U и Th, что свидетельствует о разных источниках магм. Возможно две ветви порфиров по уровню щелочности и разница в содержаниях высокозарядных элементов в калиевых порфирах связаны с различными порциями расплава (*д.г.-м.н. В.А. Макрыгина*).

- В результате минералого-геохимических исследований высокочистых кварцитов Гараганской глыбы установлено, что 1) перекристаллизация и очистка кварцитов не связана с воздействием сумсунурских гранитоидов, так как кварциты вблизи контактов гранитоидов как сумсунурского, так мункусардыкского комплексов загрязняются гранитофильными элементами; 2) высокая химическая чистота исходных кварцитов является главной предпосылкой более позднего появления особо чистых «суперкварцитов»; по геохимическим признакам исходные «силициты» даже могут рассматриваться как перспективные зоны по приросту запасов высокочистого кварцевого сырья для производства мультикремния и быть включенными в продуктивную пачку; 3) осветленные кварциты и «суперкварциты» сформировались в ходе динамометасоматических преобразований первичных кремнисто-карбонатных пород иркутской свиты под действием продвигающихся по ним пород офиолитового покрова (Рис. 9) (*м.н.с. А.М. Федоров*).

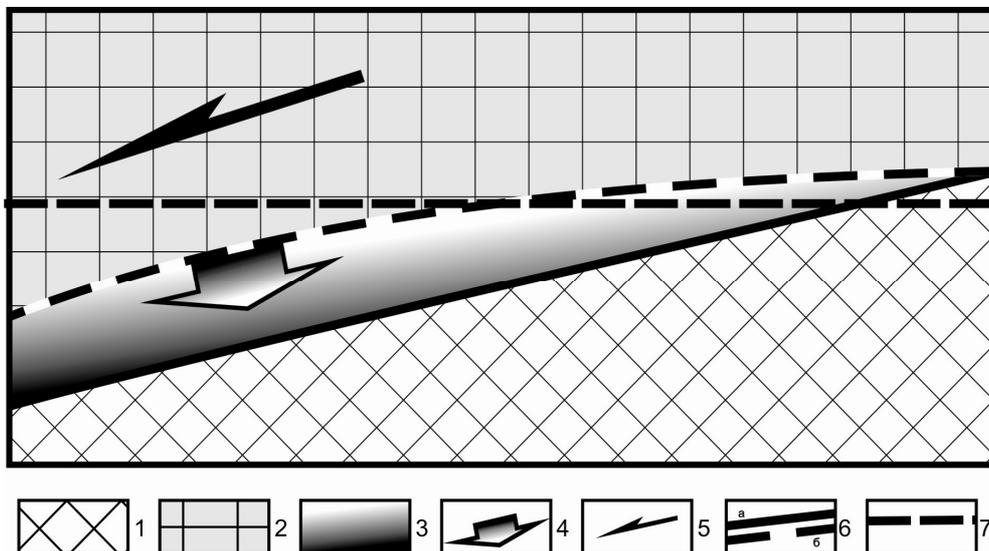


Рис 9. Схема гравитационного оползания офиолитового покрова с Гарганской глыбы.
1 – фундамент Гарганской глыбы (AR-PR); 2 – офиолитовый комплекс нерасчлененный (R_3); 3 – чехол Гарганской глыбы (иркутская свита, R_{2-3}); 4 – направление воздействия теплового поля пластины офиолитов на породы чехла Гарганской глыбы; 5 – направление гравитационного оползания офиолитового комплекса с поверхности Гарганской глыбы; 6 – тектонические нарушения: а – достоверные, б - предполагаемые; 7 – эрозионный срез.