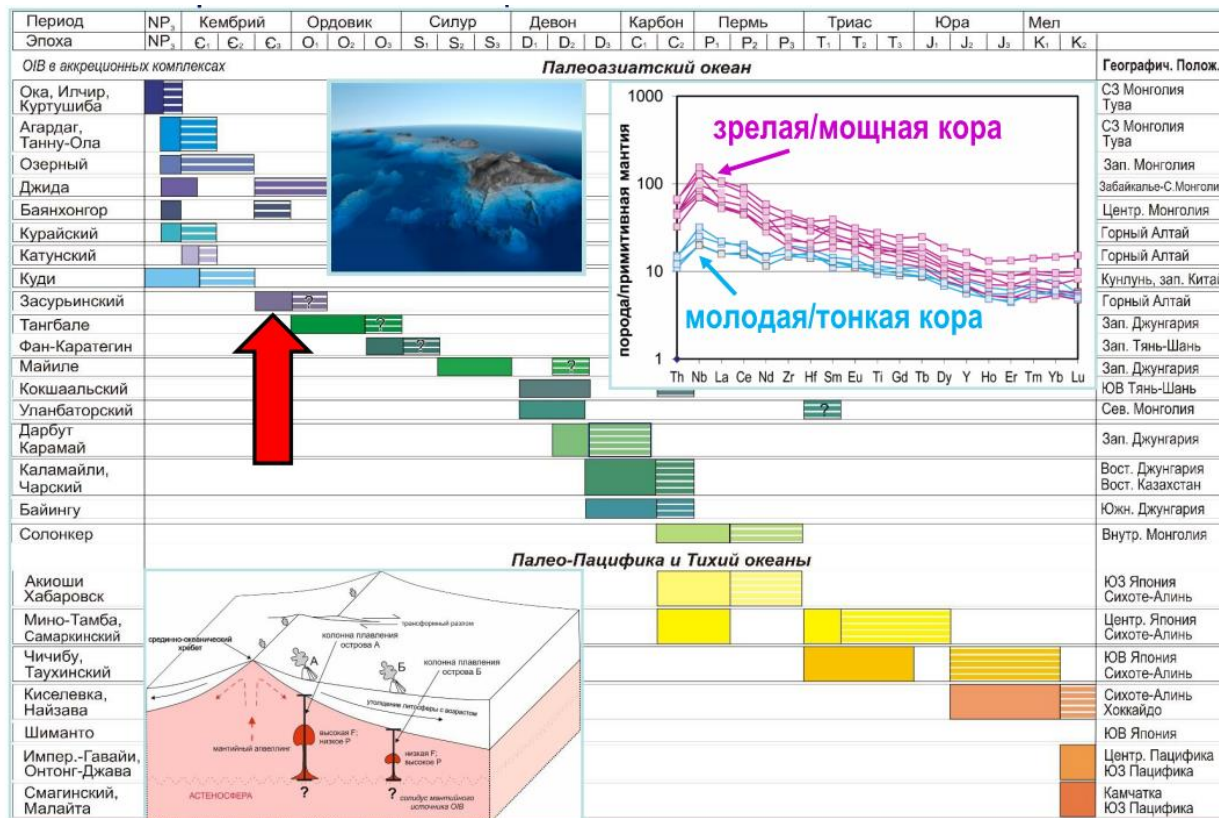


Основные результаты

2020

• Базальты океанических островов в аккреционных комплексах

В древних аккреционных комплексах ЦАСП и западной Пацифики диагностированы внутриплитные базальты океанических островов, в разной степени обогащенные несовместимыми элементами.



Практически во всех изученных аккреционных комплексах были зафиксированы две группы базальтов типа ОИВ, в разной степени обогащенных несовместимыми элементами (высокообогащенные - ВОБ и низкообогащенные - НОБ). ВОБ имеют повышенные содержания LREE, HFSE (Zr, Nb, Th, Hf), TiO_2 и P_2O_5 , более низкие Zr/Nb и более фракционированные REE по сравнению с НОБ. По сравнению с N-MORB НОБ характеризуются более высокими концентрациями несовместимых элементов и более высокими LREE. Спектры REE и спайдер-диаграммы для ВОБ близки по облику к таковым для базальтов Гавайской цепи, а для НОБ – к таковым самых древних лав Императорской цепи симаунтов. Таким образом, закономерности, установленные исследователями современных внутриплитных цепочек вулканов, подтверждаются результатами исследования геохимического состава базальтов. Широкие вариации несовместимых элементов в ОИВ могут быть связаны с образованием материнских расплавов при плавлении гетерогенной мантии и/или с ростом мощности океанической литосферы от срединно-океанического хребта к зоне субдукции, что приводит к «укорачиванию» колонны плавления и уменьшению степени плавления.

Важно отметить, что кембро-ордовикский рубеж внутриплитного магматизма в Палеоазиатском океане, выявленный в аккреционных комплексах ЦАСП, соответствует выделенной нами ранее раннепалеозойской LIP в южном обрамлении Сибирского кратона.

• **Позднепалеозойский базитовый и сопряженный гранитоидный магматизм Алтайской аккреционно-коллизонной системы**

Выполнено обобщение данных о геологической позиции, составе и возрасте ультрабазит-базитовых и гранитоидных магматических комплексов Восточного Казахстана, проявленных на территории Алтайской аккреционно-коллизонной системы, сформированной в результате коллизии Сибирского и Казахстанского континентов при закрытии Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна. На основе новых петрологических и геохронологических данных была составлена новая схема корреляции магматизма (рисунок 1.6). Полученные данные позволили определить три этапа проявления базитового магматизма в эволюции Алтайской аккреционно-коллизонной системы:

- 1) конец раннего карбона (~ 330 – 324 млн. лет назад): габбро-диоритовые интрузии саурского комплекса в Жарма-Саурской зоне;
- 2) средний карбон (~ 315 – 311 млн. лет назад): дайки долеритов и лампрофиров в Жарма-Саурской зоне, базальт-андезитовый вулканизм в Чарской зоне, габброидный интрузивный магматизм в Калба-Нарымской зоне;
- 3) ранняя пермь (~ 297 – 267 млн. лет назад): андезит-базальтовый вулканизм, малые интрузии габбро и пикритов, крупные габбро-монцитит-гранитоидные интрузии в Чарской зоне, дайковые пояса долеритов и лампрофиров в Калба-Нарымской зоне.

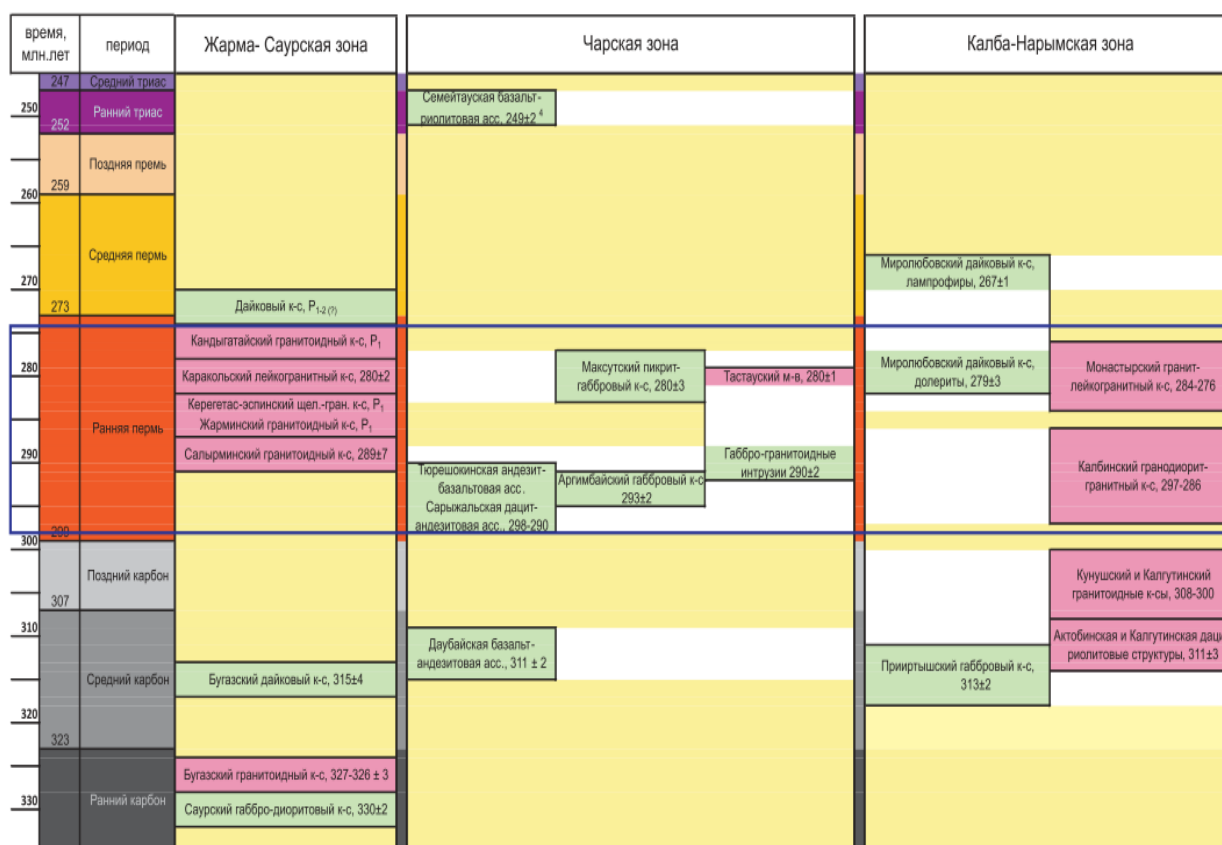


Схема корреляции магматизма для структурно-формационных зон Алтайской аккреционно-коллизонной системы, составленная с учетом новых геохронологических данных. 1 – Цифрами указан установленный абсолютные возраст магматических комплексов (значения или интервалы), в млн. лет. 2 – Желтым фоном обозначены амагматичные периоды. 3 – Синим прямоугольником обозначен интервал наиболее масштабного проявления магматизма.

Вещественный состав ультрабазит-базитовых ассоциаций изменялся с последовательным увеличением содержаний K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , легких РЗЭ, Rb, Ba, Zr, Hf, Nb, Ta. Вариации составов магм определялись разным составом мантийных источников (гарцбургиты, шпинелевые лерцолиты, гранатовые лерцолиты) и разной степенью их плавления. Раннепермские ультрабазит-базитовые ассоциации наиболее обогащены TiO_2 и несовместимыми компонентами (P_2O_5 , Zr, Hf, Nb, Ta), что свидетельствует о вовлечении в частичное плавление относительно геохимически обогащенных мантийных источников.

Все проявления ультрабазит-базитового (мантийного) магматизма в Алтайской аккреционно-коллизийной системе сопровождались субсинхронным коровым магматизмом (гранитоидными интрузиями или кремнекислыми вулканитами). Самый масштабный коровый магматизм был проявлен в ранней перми, его объемы в десятки раз превосходят объемы каменноугольного корового магматизма.

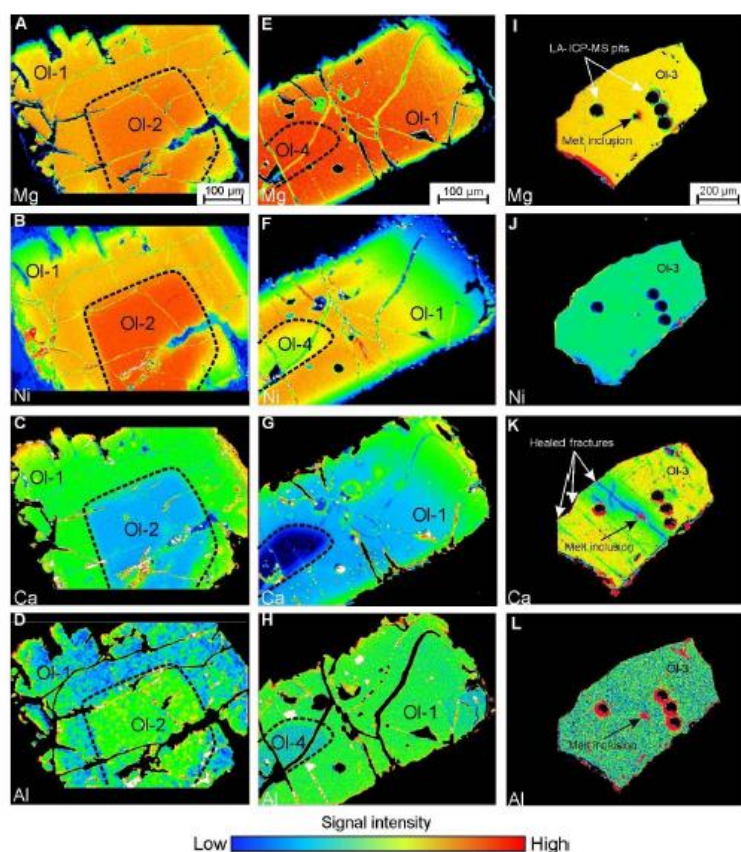
Раннепермский гранитоидный магматизм является результатом мантийно-корового взаимодействия, которое происходило по двум различающимся механизмам: 1) базитовые магмы, находившиеся в подкоровых камерах, оказывали термальное и флюидное воздействие на коровые субстраты, приводя к образованию гранит-лейкогранитных ассоциаций в Жарма-Саурской и Калба-Нарымской зонах. 2) базитовые магмы проникали на коровые уровни и взаимодействовали непосредственно с коровыми субстратами или анатектическим выплавками, приводя к образованию монзонит-гранитных ассоциаций в Чарской зоне. Механизмы мантийно-корового взаимодействия и объемы гранитоидов зависели от мощности и проницаемости литосферы.

Мантийный и сопряженный коровый магматизм отражает последовательную смену геодинамических режимов и типов взаимодействия мантии и литосферы в развитии Алтайской аккреционно-коллизийной системы: 1) Раннекаменноугольный (C_{1s}) магматизм раннеорогенного этапа является результатом отрыва субдуцирующей литосферы (слэба) под окраиной Казахстанского континента. 2) Среднекаменноугольный (C_{2m}) магматизм позднеорогенного этапа является результатом активизации сдвигово-раздвиговых движений вдоль крупных разломов и отражает коллапс орогенного сооружения. 3) Раннепермский (300-270 млн. лет) масштабный магматизм является результатом глобального термического возмущения в верхней мантии под воздействием Таримского мантийного плюма. Закономерности развития раннепермского магматизма отражают разные стадии взаимодействия мантийного плюма с литосферой (инициальная, максимальное взаимодействие, релаксация). Масштабное развитие раннепермского магматизма на изученной территории обусловлено сочетанием термической аномалии в верхней мантии и процессов растяжения литосферы.

• Оценка родоначального расплава и физико-химических характеристик оливиновых лампроитов Алданского щита, Якутия

Мезозойские (125–135 млн лет) низкотитанистые лампроиты Алданского щита (массив Рябиновый) сопоставляются с лампроитами Испании и Северного Вьетнама и значительно отличаются от типовых высокотитанистых ультракальциевых лампроитов. Проведено детальное исследование вкрапленников оливина и хромшпинелидов, а также расплавных включений в них, что позволило оценить характер мантийных источников при генерации лампроитов, состав и физико-химические параметры (температуру, давление и фугитивность кислорода) родоначальной магмы.

В оливиновых лампроитах массива Рябиновый идентифицированы: зональные вкрапленники высокомагнезиальных оливинов с включениями хромшпинели, гомогенные макрокристаллы с высоким содержанием Mg и высоким содержанием Ni, оливины с высоким содержанием Ca, а также реликты мантийного оливина внутри вкрапленников (рис. 2.1). Оценки окислительно-восстановительных условий показывают, что ранний оливин кристаллизовался из аномально окисленной магмы (DNNO +3 до +4 лог. ед.) при температуре 1300°C. Предложенная генетическая модель предполагает, что низкотемпературные высококальциевые камафугитовые магмы формировались из обогащенного флогопитом и карбонатами субконтинентальной литосферной мантии. Последующее продвинутое плавление привело к формированию лампроитовой магм.

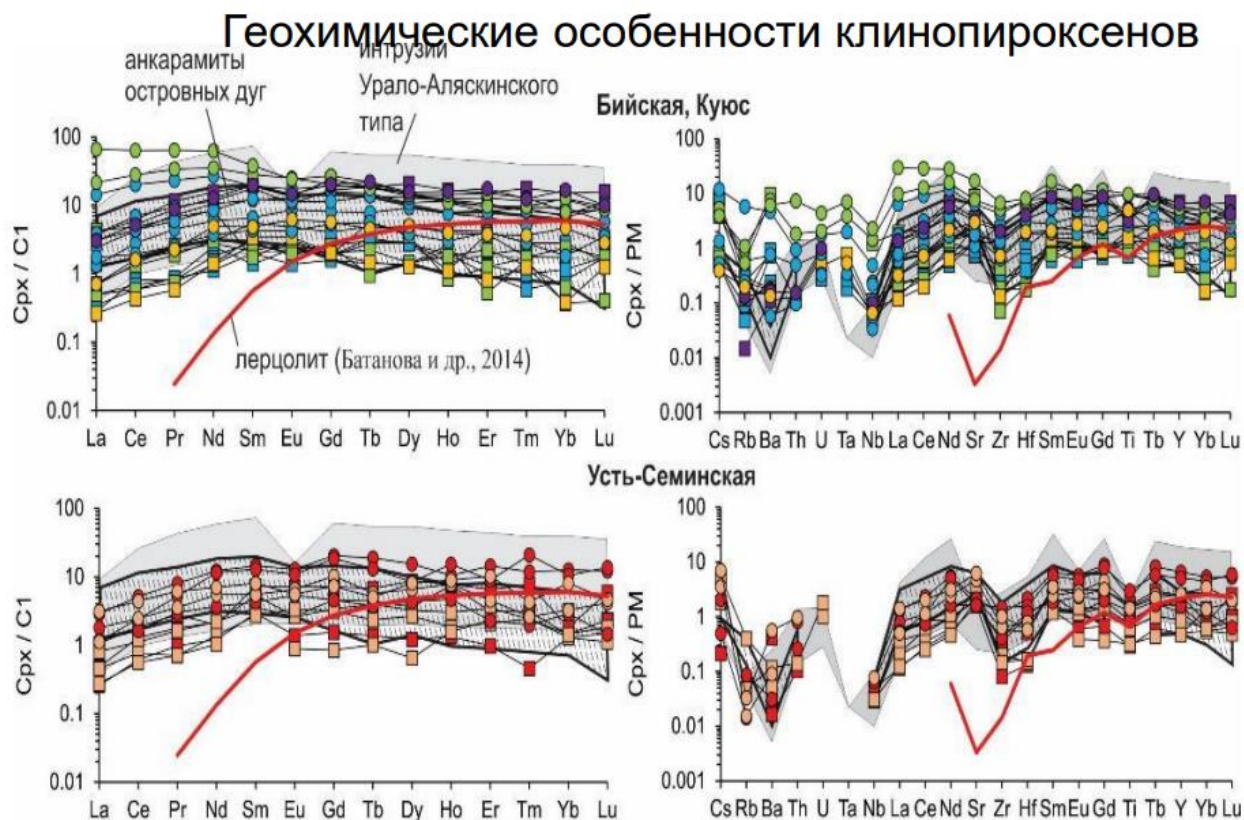


Распределение Mg, Ni, Ca и Al в оливинах различного состава из оливиновых лампроитов массива Рябиновый (Алданский щит). Ol-2 – ядра незонального высокомагнезиального и высоконикелистого оливина, Ol-1 – каймы зонального оливина, Ol-3 – ксенокristы высококальциевого оливина, Ol-4 реликты мантийного оливина.

• Среднекембрийские анкармитовые базальты Горного Алтая – комагматы массивов Урало-Аляскинского типа

Показана принадлежность среднекембрийских базальтов усть-семинской свиты Горного Алтая к анкармитам, комагматов массивов Урало-Аляскинского типа. Базальты неоднородны по химическому составу и делятся на две основные группы: высококальциевую ($\text{MgO} = 7.98\text{--}14.77$ мас. % и $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.0\text{--}1.8$) и низкокальциевую ($\text{MgO} = 2.84\text{--}9.89$ мас. % и $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.2\text{--}0.9$). Проведенные работы и анализ позволяют относить первую группу пород к анкармитам. При этом, низкокальциевые базальты усть-семинской свиты, по ряду признаков, образовались в результате фракционирования анкармитового расплава в промежуточных камерах, дав потенциальную возможность формирования ряду глубокозалегающих массивов Урало-Аляскинского типа.

Эффузивные породы усть-семинской свиты. Высококальциевые анкармиты (1-я группа) практически не содержат вкрапленников плагиоклаза, в низкокальциевых разностях (2-я группа) плагиоклаз образует многочисленные вкрапленники, однако значительно уступающие размером кристаллам клинопироксена.



Геохимические особенности состава клинопироксена из анкармитов и базальтов южной (Бийская вулканическая постройка, Куюс) и северной (Усть-Семинская вулканическая постройка) ветвей распространения пород усть-семинской свиты.

Нормированные спектры распределения редкоземельных, редких и рассеянных элементов в клинопироксенах из пород усть-семинской свиты близки к типичным для других районов мира и интрузиям Урало-Аляскинского типа, при этом резко отличаясь от составов, типичных для верхнемантийных парагенезисов.

• **Изотопный Lu-Hf состав циркона и источники магм венд-раннепалеозойских гранитоидов Тувы (на примере Каахемского и Восточно-Таннуольского батолитов)**

Проведены петрохимические, геохимические и Nd изотопные исследования пород (гранитоиды и габброиды), а также локальное датирование и определение Lu-Hf изотопного состава циркона из вендских-раннекембрийских (576–518 млн лет) и кембро-ордовикских интрузивных ассоциаций (510–450 млн лет) Каахемского и Восточно-Таннуольского батолитов Восточной Тувы (рис. 2.5). Результаты изотопно-геохимических исследований интрузивных образований входящие в состав этих батолитов позволили установить широкий диапазон значений ϵNd (+6.9 – +0.5) и модельных возрастов 0.68–1.16 млрд лет пород, а также значений ϵHf магматических цирконов (+14.8 ... +2.4, 576–450 млн лет) с модельными возрастами 0.52–1.26 млрд лет и унаследованных цирконов (+14.1 ... –0.1, 1140–479 млн лет) с модельными возрастами 0.61–1.45 млрд лет (рис. 2.6), которые отражают разнообразие магнообразующих источников для вендских и раннепалеозойских интрузивных ассоциаций островодужного и аккреционно-коллизийного этапов развития региона.

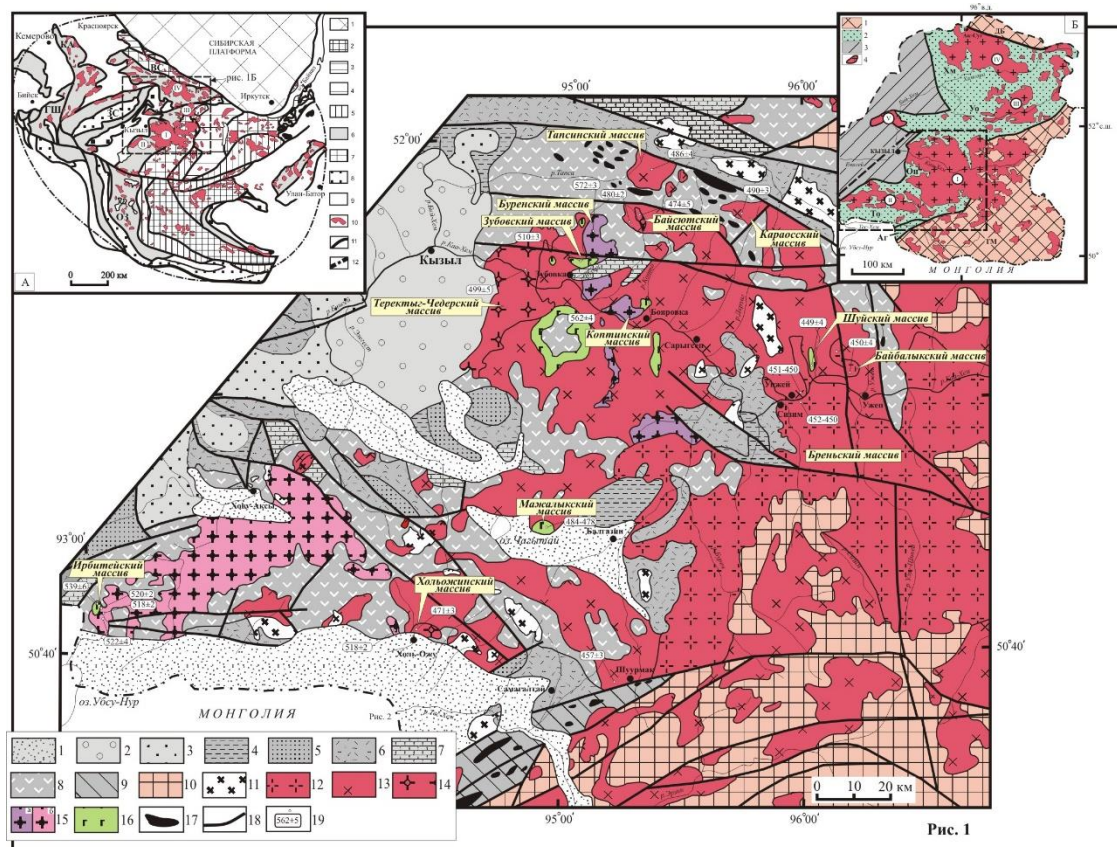
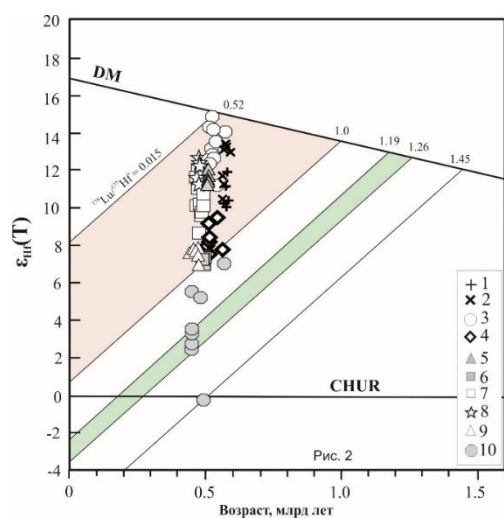


Схема геологического строения Каахемского и Восточно-Таннуольского гранитоидных батолитов Тувы.

Стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения; 2 – юрские осадочные и терригенные отложения; 3 – осадочные и терригенные отложения нижнего и верхнего карбона, нерасчлененные; 4 – красноцветные осадочные отложения верхнего девона; 5 – осадочные и вулканогенно-осадочные отложения раннего и среднего девона; 6 – вулканогенные отложения раннего девона; 7 – терригенные и карбонатные отложения силура; 8 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения венда–раннего кембрия, нерасчлененные; 9 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения венда-раннего кембрия Агардагской зоны; 10 – докембрийские метаморфические образования Тувино-Монгольского массива. Интрузивные образования: 11–14 – гранитоидные ассоциации аккреционно-коллизийного этапа, ϵ_3 - ϵ_2 (11 –

бреньский гранодиорит-гранит-лейкогранитный комплекс, D_1 ; 12 – гранодиорит-гранитная ассоциация сархойского типа, O_3 ; 13 – диорит-тоналит-плагиогранитные ассоциации известково-щелочной серии низкоглиноземистого типа (I-тип), нерасчлененные, ϵ_3-O_3 ; 14 – диорит-тоналит-плагиогранитные ассоциации известково-щелочной серии высокоглиноземистого типа (I-тип), ϵ_3-O_3 ; 15 – гранитоидные ассоциации островодужного этапа: а) вендские диорит-тоналит-плагиогранитные ассоциации толеитовой (M-тип) и б) раннекембрийские диорит-тоналит-плагиогранитные ассоциации известково-щелочной (I-тип) серии низкоглиноземистого типа; 16 – перидотит-пироксенит-габброноритовые и габбро-монцодиоритовые ассоциации, нерасчлененные, $V-O_3$; 17 – основные и ультраосновные образования офиолитового типа, V ; 18 – тектонические нарушения; 19 – места отбора проб и результаты $U-Pb$ (циркон) изотопного датирования гранитоидов и габброидов (в млн лет).

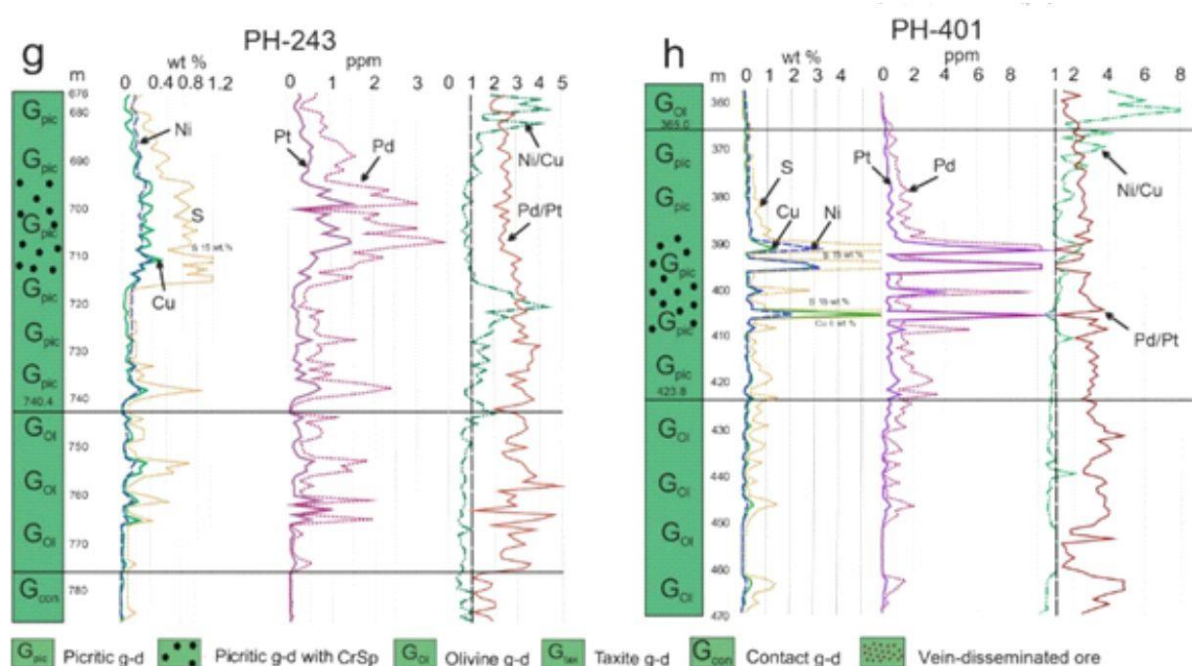


Изотопная диаграмма ϵHf – возраст для цирконов из венд-раннепалеозойских гранитоидов и габброидов Каахемского и Восточно-Таннуольского батолитов Тувы.

1–3 – плагиогранитоидные ассоциации островодужного этапа: 1–2 – Каахемский батолит (1 – тоналит-плагиогранитная ассоциация низкоглиноземистого типа Буренского массива, 571 млн лет, 2 – диорит-тоналит-плагиогранитная ассоциация низкоглиноземистого толеитового типа Коптинского массива, 562 млн лет, 3 – Восточно-Таннуольский батолит (диорит-тоналит-плагиогранитная ассоциация низкоглиноземистого типа в обрамлении Ирбитейского габброидного массива, 522–518 млн. лет); 4–9 – плагиогранитоидные ассоциации аккреционно-коллизийного этапа (Каахемский батолит): 4 – монцогаббро-монцодиорит-граносиенитовая ассоциация Зубовского массива, 512 млн лет, 5 – тоналит-плагиогранитная ассоциация высокоглиноземистого типа Теректыг-Чедерского массива, 499 млн лет, 6 – диорит-тоналит-плагиогранитная ассоциация высокоглиноземистого типа Караосского массива, 490 млн лет, 7 – диорит-тоналит-плагиогранитные ассоциации низкоглиноземистого типа Тапсинского массива, 486 млн лет и обрамления Байсютского массива, 480 млн лет (нерасчлененные), 8 – тоналит-плагиогранитная ассоциация высокоглиноземистого типа Байсютского массива, 474 млн лет, 9 – диорит-тоналит-плагиогранитная ассоциация низкоглиноземистого типа в районе пос. Унжсей, 451 млн лет); 10 – гранодиорит-гранитная ассоциация Бренского и Байбалыкского массивов, 450 млн лет, нерасчлененные.

- **Геохимические особенности и минеральные ассоциации дифференцированных пород интрузии Норильск 1**

Показаны закономерности распределения вкрапленных сульфидов в расслоенных сериях пород, полученные на основе геохимических и минералогических данных по восьми скважинам, пробуренным в средней части интрузии Норильск 1.



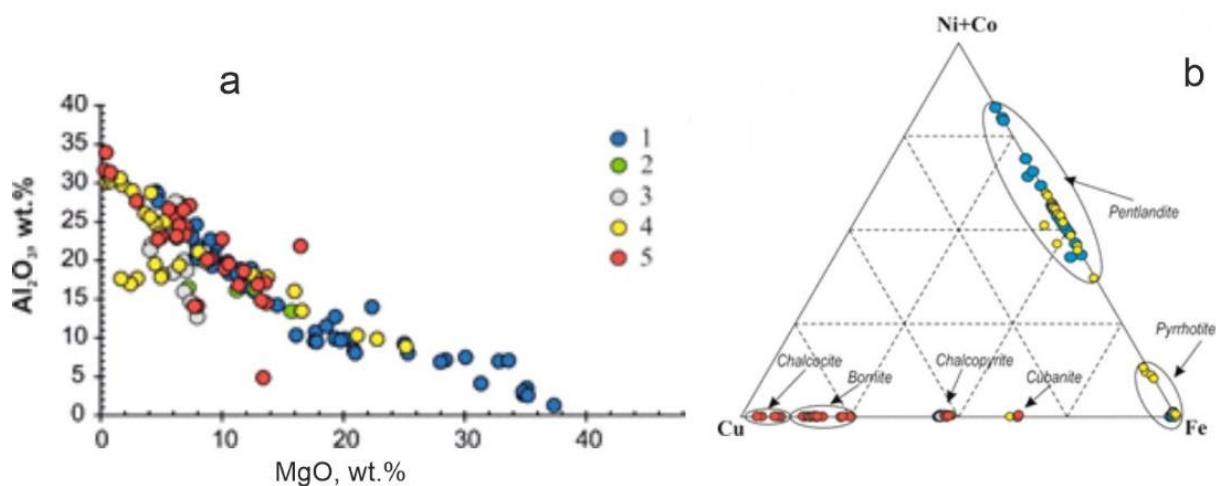
Геохимическая зональность в Главном рудном горизонте по разрезам скважин в средней части интрузии Норильск 1.

С хромитовыми горизонтами в пикритовых габбро-долеритах связаны аномалии рудных элементов. Отмечаются однотипные зональности в пикритовых и такситовых (или оливиновых нижних) габбро-долеритах: Ni/Cu отношения в обоих типах пород уменьшаются вниз по всем разрезам, тогда как Pd/Pt отношения в породах и Ni/Fe в пентландите увеличиваются в этом же направлении. Это свидетельствует об увеличении степени фракционирования сульфидного расплава и летучести серы сверху вниз в обоих горизонтах. Однако пикритовые и такситовые (или оливиновые нижние) габбро-долериты очень отчетливо разделяются по Ni/Cu отношениям: Эти значения > 1 в первых, в то время как они всегда < 1 во-вторых. Эти типы пород также отличаются по сульфидным ассоциациям. Первая включает троилит, Fe-пентландит, халькопирит, кубанит, талнахит, борнит и медь (низкосернистая ассоциация); вторая состоит из моноклинного пирротина, халькопирита, Ni-пентландита и пирита (высокосернистая ассоциация). Генетически разные ассоциации сульфидов свидетельствует о различии исходных расплавов при формировании этих пород. Предполагается двухступенчатое внедрение магмы с разной рудной специализацией

• **ЭПГ-Cu-Ni-оруденение в мафит-ультрамафитовых массивах Хангайского нагорья, Западная Монголия**

Исследованы мафит-ультрамафитовые массивы с PGE-Cu-Ni-минерализацией: Оортцог, Дулаан, Манхан, Ямат и Номгон. Впервые эти массивы рассмотрены как единая магматическая ассоциация и как фрагменты Хангайского батолита, образованного в результате действия Хангайской LIP.

Массивы фракционированы от перидотита до габбро и имеют схожие типоморфные минералого-геохимические особенности, которые меняются в зависимости от степени фракционирования магмы и эволюции сульфидного расплава. Наименее фракционированный массив Оортсог образовался из богатой Ni высокомагнезиальной базальтовой магмы. Он характеризуется преобладанием пирротиновой минерализации за счет распада моносulfидного твердого раствора.

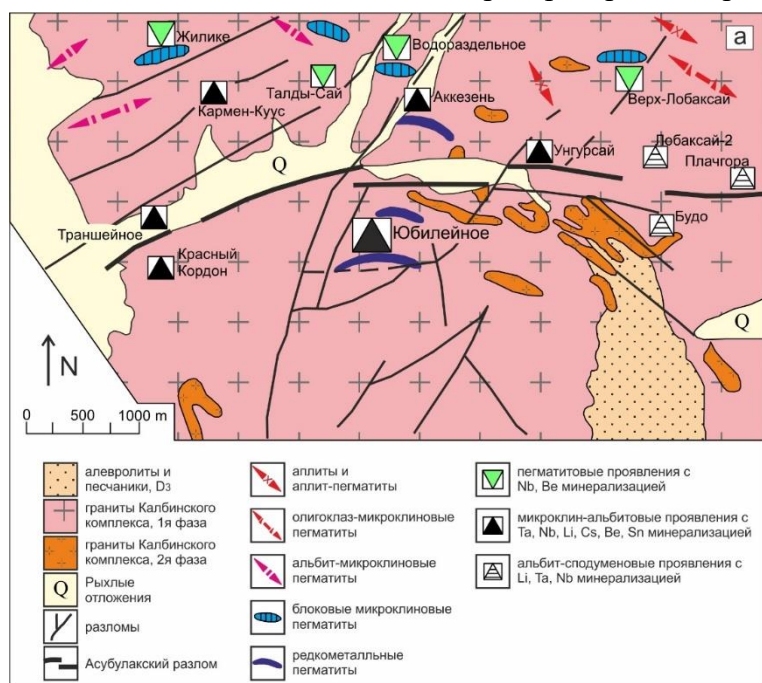


А - MgO в зависимости от Al_2O_3 в мафит-ультрамафитовых породах Хангайского нагорья; Б - Составы сульфидов в массивах на диаграмме $Cu-Fe-Ni + Co$; 1 - Оортцог, 2 - Дулан, 3 - Манхан, 4 - Ямат, 5 - Номгон.

Наиболее фракционированный массив Номгон, образовался из богатой медью базальтовой магмы с борнит-халькопиритовой ассоциацией в результате распада промежуточного твердого раствора. Остальные массивы имеют промежуточные характеристики между этими двумя. Составы сульфидов изменяют свой состав в соответствии с увеличением летучести серы от перидотита до габбро: происходит обогащение пентландита никелем и пирротина серой. При этом состав МПГ изменяется от минералов Pt в Оортсоге до преобладания минералов Pd в Номгоне. Эти массивы рассматриваются в качестве потенциальных на благородные металлы.

• **Редкометалльные гранитные пегматиты Калбинского хребта (Восточный Казахстан): возраст, состав и особенности формирования**

Обобщены геологические, минералогические и геохронологические данные по редкометалльным пегматитам, связанным с гранитоидами Калбинского батолита (Восточный Казахстан). Большинство крупных редкометалльных месторождений и проявления сосредоточено в Центральном-Калбинском рудном районе. Пегматитовые тела и жилы приурочены к апикальным частям крупных гранитных массивов и местам пересечения глубинных разломов. В пегматитах выявлено несколько последовательно сменяющихся минеральных ассоциаций - от безрудных кварц-микроклиновой и кварц-микроклин-альбитовой до редкометалльных клевеландит-лепидолит-сподуменовых с Li, Cs, Ta, Nb, Be, Sn минерализацией. Возраст пегматитов определен Ar-Ar датированием мусковита и лепидолита из разных ассоциаций и оценен в интервале 291-286 млн лет. Геологические и геохронологические данные позволяют связать формирование редкометалльных пегматитов с эволюцией гранитных магм первой фазы Калбинского комплекса, которые занимают основной объем гранитов Калбинского батолита. Локальное распространение редкометалльных месторождений и их связь



с глубинными разломами свидетельствует, что метасоматические процессы редкометалльной минерализации пегматитов связаны с привнесом в очаги гранитных магм флюидов, которые могли быть обогащены фтором, фосфором и некоторыми дополнительными элементами, вероятно из нижележащего базитового резервуара. Индикатором активности мантии в это время являются близкие по возрасту субщелочные мафические дайки, пояса которых проявлены рядом с редкометалльными пегматитовыми месторождениями.

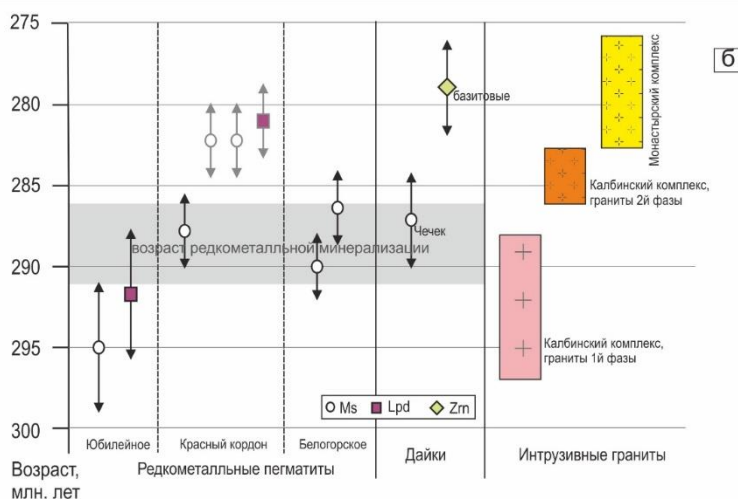


Схема размещения пегматитовых месторождений и проявлений в Асубулакском рудном районе (а) и данные о возрасте пегматитов, даек и интрузивных гранитов Калбинского хребта (б).