

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.42:546.027
Рег. № НИОКТР АААА-А17-
117061610019-3

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГХ СО РАН,
д.г.-м.н.
_____ А.Б. Перепелов
« ___ » _____ 2021 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Изотопно-геохимические свидетельства мантийно-корового взаимодействия
в различных геодинамических обстановках
(заключительный)

Приоритетное направление IX.129. Закономерности формирования
минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет
и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы
Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.

шифр программы: XI.129.1.
шифр темы: 0350-2019-0006

Руководитель проекта
академик РАН

_____ В.С. Шацкий
подпись, дата

Иркутск 2020

Список исполнителей

Руководитель проекта, академик
РАН

подпись, дата

В.С. Шацкий

Ответственные исполнители
проекта:
академик РАН

подпись, дата

В.С. Шацкий (Раздел 1)

кандидат геолого-
минералогических наук

подпись, дата

С.И. Дриль (Раздел 2)

Нормоконтролер

подпись, дата

Гармышева Т.Ю.

Реферат

Отчет включает _36_ стр., _8_ илл., _33_ ист., приложений - 3.

Ключевые слова: U-Pb датирование цирконов, Sm-Nd геохронология, изотопно-геохимические индикаторы, высокобарные метаморфические комплексы, континентальная субдукция, эклогиты, магматические процессы, генезис гранитоидов.

Для выявления изотопно-геохимических свидетельств мантийно-корового взаимодействия в различных геодинамических обстановках и определения масштабов этого процесса в течение 2020г был проведен комплекс исследований показавший следующее.

На основании изотопно-геохимических данных впервые показано, что протолитами алмазоносных метаморфических пород Кокчетавского массива были как породы фундамента, так и осадочные породы, имеющие палеопротерозойский Nd модельный возраст. Алмазоносные известково-силикатные, гранат-пироксеновые породы, а также мигматизированный гранито-гнейс образуют Sm-Nd изохрону, отвечающую возрасту 1116 ± 14 млн лет. Этот возраст соответствует возрасту формирования гранито-гнейсового фундамента (1.2-1.1 млрд лет) Кокчетавского микроконтинента. Изохрона, рассчитанная на основании изотопного состава валовых проб в различной степени деплетированных высокоглиноземистых пород участка Барчинский, соответствует возрасту 507 ± 1 4млн. лет, что предполагает плавление метапелитов на стадии эксгумации.

Показано, что гранат-кианит-слюдяные сланцы претерпели этап частичного плавления в процессе эксгумации. Расплавы, отделявшиеся от этого типа пород характеризовались высокими концентрациями калия и других крупноионных литофильных элементов элементов (Rb, Ba, Cs, Sr), а также легких редкоземельных элементов. В то же время гранат-пироксеновые и известково-силикатные породы фундамента Кокчетавского массива были деплетированы до этапа высокобарического метаморфизма и не могли быть источником расплавов/флюидов, метасоматизирующих породы мантийного клина.

Выяснено, что гранитоиды олекминского комплекса Восточного Забайкалья фиксируют масштабный эпизод эндогенной активности, связанный с замыканием Монголо-Охотского палеоокеанического пространства. Получены новые U-Pb LA-ICP-MS геохронологические данные по цирконам для гранодиоритов и диоритов этого комплекса. Результаты датирования порфириовидных гранодиоритов Маректинско-Береинского и Ямнинского массивов третьей интрузивной фазы комплекса уверенно указывают на их позднепалеозойский возраст: 371 - 363 млн лет. Широкий ареал распространения пород этого возрастного диапазона свидетельствует о масштабном эпизоде позднепалеозойского гранитоидного магматизма по всей площади Западно-Станового террейна. Показано, что геохимические особенности гранодиоритов олекминского комплекса позволяют связать их происхождение с субдукционной геодинамической обстановкой.

Содержание

Введение	5-6
Основная часть	7
Раздел 1. Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры.	7
1.1. Важнейшие результаты исследований 2017-2019 гг. по Разделу исследований "Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры".	7-9
1.2. Моделирование составов флюидов / расплавов отделяющихся от субдуцируемой плиты и метасоматизирующих литосферу в зонах субдукции на основании изотопно-геохимических исследований высокобарических пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. Определение роли субдуцируемых пород в процессах мантийного алмазообразования.	9-17
Раздел 2. Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия в орогенных поясах и континентальных рифтогенных обстановках.	17
2.1. Важнейшие результаты исследований 2017-2019 гг. по Разделу исследований "Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия в орогенных поясах и континентальных рифтогенных обстановках".	17-19
2.2. Определение изотопного возраста и Sr-Nd изотопных характеристик раннепалеозойских гранитоидов Монголо-Охотского орогенного пояса.	19-27
Заключение	27-29
Список использованных источников	30-32
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Количество статей, опубликованных по тематике проекта в течение 2017-2020 гг. в соответствии с государственным заданием.	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2020 г. в соответствии с государственным заданием.	34-35
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Копия заданий для выполнения фундаментальных научных исследований по теме (проекту) в 2020 г.	36

Введение

Изотопно-геохимические свидетельства мантийно-корового взаимодействия в различных геодинамических обстановках

Процессы мантийно-корового взаимодействия определяют направленность в эволюции силикатной Земли, образование и рост континентальной коры, рециклирование элементов и гетерогенность мантии. Современная концепция глубинной геодинамики Земли подразумевает обмен веществом между внутренними и внешними оболочками планеты. По стилю геодинамических процессов могут быть выделены тектоносфера (кора и верхняя мантия), где доминируют плитотектонические движения, а также нижняя мантия - область проявления тектоники плюмов. Важнейшее значение в тектонике плит придается погружению холодных литосферных пластин в зонах субдукции. Первоначально субдуцируемая литосфера погружается до границы между верхней и нижней мантии, на глубины около 670 км, и находится здесь в состоянии стагнации от 100 до 400 млн лет. Затем наступает катастрофический гравитационный коллапс и происходит погружение субдуцированных пластин до границы внешнего ядра. Взаимодействие холодных реликтов литосферы с внешним ядром порождает возникновение восходящего течения на границе «ядро-мантия» и зарождение гигантского восходящего суперплюма достигающего литосферы. Эпизоды рециклирования вещества определяют природу и этапность формирования роста континентальной коры. Эти процессы уверенно документируются геохронологическими и изотопно-геохимическими методами, важнейшими из которых являются U-Pb метод датирования цирконов и Sm-Nd изотопная систематика гранитоидов и осадочных пород.

Согласно плану работ в 2020 году с целью выявления изотопно-геохимических свидетельств мантийно-корового взаимодействия в различных геодинамических обстановках и определения масштабов этого процесса был проведен следующий комплекс исследований.

Было осуществлено моделирование составов флюидов/расплавов отделяющихся от субдуцируемой плиты и метасоматизирующих литосферу в зонах субдукции на основании изотопно-геохимических исследований высокобарических пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. Выявлена роль субдуцируемых пород в процессах мантийного алмазообразования.

Выполнено определение изотопного возраста и исследование Sr-Nd изотопных характеристик раннепалеозойских гранитоидов Монголо-Охотского орогенного пояса.

Раздел 1. Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры

1.1. Важнейшие результаты исследований 2017-2019 гг. по Разделу исследований " Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры"

Исследования 2017-2019гг. дали следующие результаты.

Выяснено, что эклогиты Кокчетавского массива демонстрируют большой разброс в температурах равновесия (630-950⁰C). Изотопные исследования показали, что большинство эклогитов Кокчетавского массива имеют положительные значения $\epsilon\text{Nd}(t)$ (от +1,35 до +8,1). Эклогиты с низкими значениями этой величины свидетельствуют о коровой контаминации протолитов. Свидетельством контаминации является образуемый эклогитами тренд от деплетированной мантии в сторону вмещающих пород. Полученные нами данные дают основание предполагать, что в качестве протолитов эклогитов Кокчетавского массива выступали базальты континентальных окраин, которые могут иметь геохимические характеристики базальтов различных типов MORB, а так же показывать особенности типичные для базальтов островных дуг как следствие контаминации континентальной корой.

Для выяснения этапов образования ювенильной коры Якутской алмазонасной провинции и ее модификации в ходе более поздних тектоно-термальных событий определен U-Pb возраст и изотопный состав гафния цирконов из коровых ксенолитов из кимберлитовых трубок Якутской алмазонасной провинции. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что тектонотермальные этапы 2,9-2,85 млрд.л., 2,75-2,7 млрд.л., 2,0-1,95 млрд.л встречаются повсеместно в Анабарской тектонической провинции и могут отражать поднятие суперплюмов в периоды 2,9, 2,7 и 2 млрд.л.

Проведены изотопно-геохимические исследования эклогитов Кокчетавского массива и Юго-Западной Монголии. Эклогиты Кокчетавского массива демонстрируют значительные вариации в содержаниях ряда несовместимых элементов, а также изотопных отношениях Nd ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - 0.512163-0.513180) и Sr ($^{87}\text{Sr}/\text{Sr}^{86}$ - 0.70393-0.78447). Эклогиты Сулу-Тюбе имеют изотопно-геохимические характеристики близкие к N-MORB, в то же время эклогиты других участков по этим характеристикам близки к E-typeMORB или базальтам островных дуг (IAB). Модельный возраст T_{Nd} (DM) эклогитов варьирует от 1,95 до 0,67 млрд.л. Наиболее молодой модельный возраст имеют эклогиты Сулу-Тюбе, которые так же характеризуются значениями $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ (+7,2) и отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ близкими к деплитированной мантии. На графиках в координатах $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ - $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ и $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ - T эклогиты образуют тренды от деплитированной мантии к вмещающим породам. Это свидетельствует о контаминации протолитов эклогитов коровым материалом.

Эклогиты юго-запада Монголии показывают относительно узкий интервал колебаний значений $\epsilon_{\text{Nd}}(\text{T})$ и модельного возраста (1,47-1,77 млрд.л.). В то же время характеризует большой интервал вариаций отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (T) (0,6883-0,7176). Изотопный состав кислорода гранатов лежит в интервале +5,5 - +6,6 и указывает на взаимодействие протолитов эклогитов с морской водой. Изотопно-геохимические особенности эклогитов свидетельствуют о том, что в качестве протолитов эклогитов выступали низкокалийевые толеиты континентальной окраины близкие к T-типу MORB.

Проведенные изотопно-геохронологические и геохимические исследования цирконов для массивных и симплектитовых типов эклогитов Северо-Муйского блока показали сходные возрасты метаморфического события - 630.8 ± 8.5 , 631.8 ± 6.2 , 629.5 ± 7.4 млн. лет, что отвечает позднему рифею. Совпадение U-Pb изотопных возрастов метаморфогенных цирконов из структурно различных групп эклогитов, указывает на единый этап континентальной субдукции основных пород под Северо-Муйский блок. Обоснован схожий ранне-неопротерозойский возраст источников сноса для

двух сегментов Муйского блока, которые, однако, имели более ювенильные (неопротерозой-поздне-мезопротерозойские) характеристики для Северо-Муйского блока и более древние (средне-поздне-мезопротерозойские и палеопротерозойские) – для Южно-Муйского блока. Тем не менее, для обоих сегментов установлен ограниченный вклад раннедокембрийского (палеопротерозой-архейского) источника. Характерный разброс изотопных модельных величин для неопротерозойских цирконов свойственен для магматических комплексов континентальных дуг, что согласуется с неоднократно предположенной островодужной природой образований Байкало-Муйского пояса. Полиметаморфическое преобразование пород обоих сегментов, сформированных в обстановке задугового/преддугового бассейна или аккреционной призмы, происходило в два высокоградных этапа, связанных с аккреционными событиями, предшествовавшими (коллизия континентальной дуги с террейном неизвестной природы?) и непосредственно связанных с закрытием Палео-Азиатского океана и становлением северо-восточной части Центрально-Азиатского орогенного пояса в позднем неопротерозое. Различный «отклик» пород двух блоков на полиметаморфизм может быть обусловлен как непосредственно разницей в условиях метаморфизма, так и различной фертильностью метаосадков и способностью к анатексису.

1.2. Моделирование составов флюидов/расплавов отделяющихся от субдуцируемой плиты и метасоматизирующих литосферу в зонах субдукции на основании изотопно-геохимических исследований высокобарических пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. Определение роли субдуцируемых пород в процессах мантийного алмазообразования

Раннекембрийский комплекс метаморфических пород сверхвысоких давлений Кокчетавского массива (Северный Казахстан) является примером субдукции пород континентальной коры на глубины отвечающие области

стабильности алмаза. Среди пород высоких и сверхвысоких давлений Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны (КСКЗ) (Добрецов и др., 2006) можно выделить породы эксгумированные, по крайней мере с двух уровней (Dobretsov, Shatsky, 2004). Породы западного блока были метаморфизованы при давлениях, отвечающих полю стабильности алмаза (участки Кумды-Коль, Барчинский), в то же время в восточном блоке в породах установлен коэсит, но поле стабильности алмаза не было достигнуто (участки Кулет, Чаглинка, Сулу-Тюбе, Даулет, Боровое). В качестве протолитов пород высоких и сверхвысоких давлений рассматриваются породы фундамента и чехла Кокчетавского микроконтинента (Добрецов и др., 2006). К породам фундамента относят гранито-гнейсы с телами эклогитов, в то же время в качестве протолитов алмазоносных пород рассматриваются неопротерозойские терригенно-карбонатные породы чехла Кочетавского микроконтинента (Добрецов и др., 2006, Буслов, Вовна, 2008; Буслов и др., 2015).

Корсаков и Херманн (2006) установили полифазные включения в гранатах и пироксенах алмазоносных известково-силикатных пород месторождения метаморфогенных алмазов Кумды-Коль, которые они интерпретировали как включения раскристаллизованных расплавов. По мнению этих авторов, взаимодействие расплавов, образующихся при частичном плавлении метапелитов, с карбонатными породами, приводит к образованию граната, К-содержащего клинопироксена и кристаллизации алмазов. Близкая точка зрения, основанная на результатах геохимических исследований известково-силикатных пород, высказана в работе Шацкого и др. (2006). Согласно этой модели, минеральная ассоциация известково-силикатных пород образовалась в результате взаимодействия высокоплотного флюида, обогащенного калием и легкими РЗЭ, с прослоями карбонатных пород.

Таким образом, имеются разные точки зрения на природу протолитов алмазоносных пород. Это, в свою очередь, создает проблемы при изучении

подвижности некогерентных элементов при метаморфизме протолитов алмазоносных пород в условиях сверхвысоких давлений. Если в качестве протолитов рассматриваются осадочные породы илектинской серии (Буслов, Вовна, 2008; Буслов и др., 2015), то нормировка на их редкоэлементный состав составов алмазоносных пород даст возможность определить ряд подвижности элементов при метаморфизме в условиях сверхвысоких давлений в зоне субдукции. Если же алмазоносные породы имеют гибридную природу, согласно модели Корсакова и Херманна (2006) и Шацкого и др. (2006), или были метаморфизованы до попадания в зону субдукции, то делать корректные выводы о подвижности элементов при субдукции таких пород не представляется возможным.

Учитывая неоднозначность в трактовке природы протолитов различных типов алмазоносных пород КСКЗ нами были проведены изотопные исследования алмазоносных высокоглиноземистых порода участка Барчинский, а также продолжены определения Sm-Nd изотопного состава гранат-пироксеновых и известково-силикатных пород месторождения Кумды-Коль и участка Барчинский. При интерпретации полученных результатов и построении изохрон были использованы опубликованные ранее анализы изотопного состава неодима алмазоносных известково-силикатных (81-21), гранат-пироксеновых (P-1) пород и мигматизированного гранито-гнейса (88-4) (Shatsky et al., 1999). Данные о минералогии, содержаниях главных и рассеянных элементов в этих типах пород были опубликованы ранее (Shatsky et al., 1999, 1995; Шацкий и др., 2006, 2015, Schertl, Sobolev, 2013).

Алмазоносные известково-силикатные и гранат-пироксеновые породы встречаются в виде линз и прослоев среди биотитовых гнейсов месторождения метаморфогенных алмазов Кумды-Коль. Для известково-силикатных и гранат-пироксеновых пород характерна полосчатость. В гранат-пироксеновых породах наблюдается чередование слоев, обогащенных карбонатом, со слоями, обогащёнными пироксеном.

На участке Барчинский среди высокоглиноземистых пород выделяются гранат-биотитовые гнейсы, гранат-кианитовые слюдяные сланцы и гранат-кианит-кварцевые гранофельсы (Шацкий и др., 2015). Предметом настоящего исследования являлись гранат-кианит-слюдяные сланцы и гранат-кианит-кварцевые гранофельсы. Гранат-кианит-слюдяные сланцы сложены кварцем, гранатом, кианитом, белыми слюдами (мусковит, фенгит), биотитом, хлоритом. Гранат-кианит-кварцевые гранофельсы сложены гранатом, кианитом и кварцем. Эта минеральная ассоциация аналогична реститовой ассоциации, полученной в экспериментах по плавлению пелитов (Schmidt et al., 2004; Thomsen, Schmidt, 2008; Hermann, Spandler, 2008; Auzanneau et al., 2010). Температуры равновесия этих пород, оцененные по гранат-фенгитовому геотермометру, лежат в интервале 800-950°C (Шацкий и др., 2015).

Фигуративные точки мономинеральных фракций и породы образца гранат-пироксеновой породы 2-4, образуют эрохрону угол наклона которой отвечает возрасту 536 ± 8 млн. лет (Рисунок 1). Этот возраст близок к возрасту пика высокобарического метаморфизма пород Кокчетавского массива определенному ранее Sm-Nd и U-Pb методами (530–536 млн. лет) (Claoue-Long et al., 1991; Shatsky et al., 1999; Hermann et al., 2001; Katayama et al., 2001; Stepanov et al., 2016). Большая величина СКВО (15) может объясняться полосчатостью этого образца, которая выражается в чередовании полос, обогащенных гранатом и клинопироксеном и, как следствие, не представительностью взятого для анализа объема породы. Фигуративные точки алмазоносных известково-силикатных пород, гранатовые пироксениты и гранито-гнейсы образуют изохрону с возрастом 1116 ± 14 млн лет (Рисунок 2).

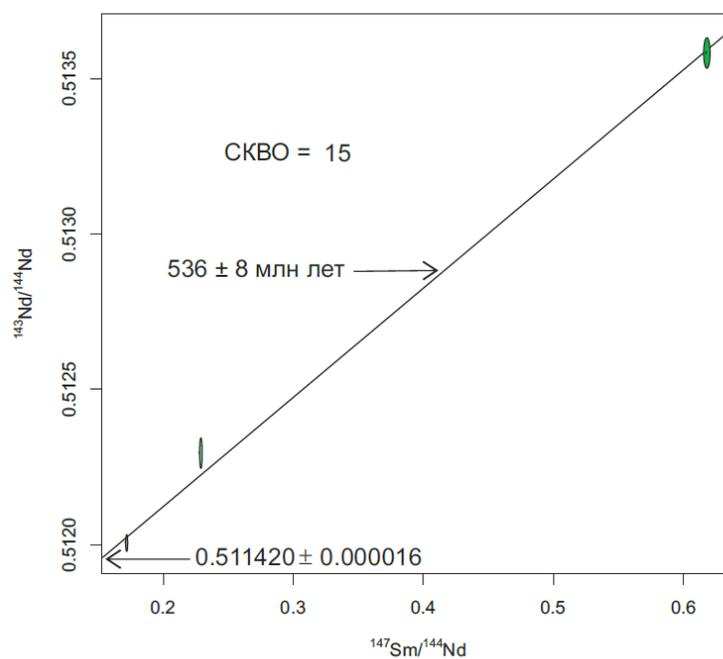


Рисунок 1 – Sm-Nd изохронная диаграмма для гранат-пироксеновой породы 2-4 (здесь и далее диаграммы построены с помощью ISOPLOT (Ludwig, 2003))

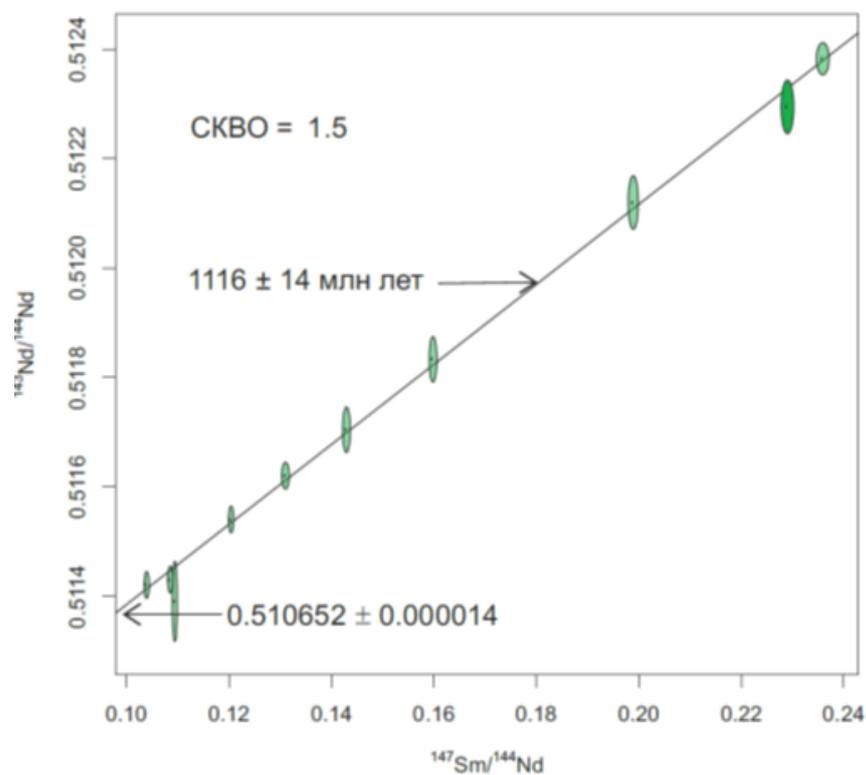


Рисунок 2 – Sm-Nd изохронная диаграмма метаморфических пород сверхвысоких давлений района Кумды-Коль

Гранат-кианит-слюдяные сланцы и гранофельсы участка Барчинский в разной степени деплетированы несовместимыми элементами (Шацкий и др., 2015). Разная степень деплетирования сланцев и гранофельсов объясняется разной степенью частичного плавления (Шацкий и др., 2015). Наиболее деплетированы легкими редкими землями и рядом других несовместимых элементов гранат-кианит-кварцевые гранофельсы, которые характеризуются или отсутствием слюд, или их присутствием в небольшом количестве. В то же время гранат-кианит-слюдяные сланцы имеют характер распределения несовместимых элементов близкий к постархейскому австралийскому сланцу (РАAS).

Для изотопных исследований нами были отобраны в разной степени деплетированные высокоглиноземистые породы. У образца гранат-кианит-слюдяного сланца Б-11-11 распределение редкоземельных элементов аналогично РАAS ($La/Yb_N -10.3$) (Шацкий и др., 2015). У гранат-слюдяного сланца Б 11-14 величина La/Yb_N значительно ниже (3.64). В то же время гранат-кианит-кварцевые гранофельсы (Б-11-9, Б-11-19, Б-11-24) значительно деплетированы легкими редкими землями ($La/Yb_N -0.66-0.82$) относительно гранат-кианит-слюдяных сланцев. Величина Sm/Nd отношения в породах варьирует от 0.178 до 0.647. Фигуративные точки высокоглиноземистых пород образуют изохрону, отвечающую возрасту 507 ± 10 млн. лет.

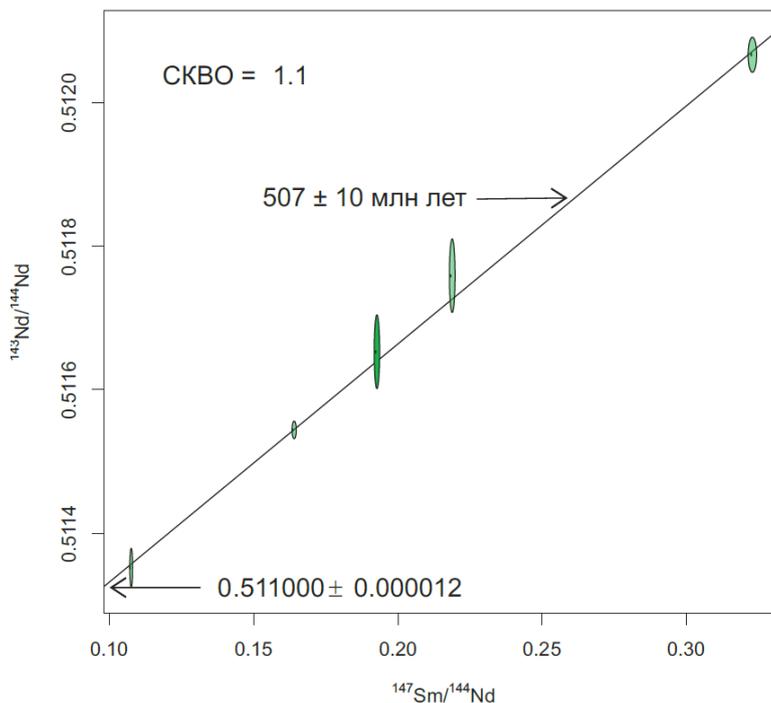


Рисунок 3 – Sm-Nd-изохронная диаграмма высокоглиноземистых гранат-кианитовых сланцев и гранат-кианит-кварцевых гранофельсов района Барчи

Полученные нами новые изотопно-геохимические данные, наряду с имевшимися ранее, дают возможность высказать предположение о том, что в качестве протолитов алмазоносных метаморфических пород сверхвысоких давлений КСКЗ выступали породы фундамента Кокчетавского микроконтинента и осадочные породы, имеющие палеопротерозойский Nd модельный возраст, а также внести коррективы в сделанные ранее выводы о мобильности элементов в процессах высокобарического метаморфизма известково-силикатных и гранат-пироксеновых алмазоносных пород.

Наиболее неожиданным оказалось, что алмазоносные известково-силикатные и гранат-пироксеновые породы, а также ортогнейсы месторождения Кумды-Коль показывают изохронную зависимость, отвечающую возрасту 1116 ± 14 млн. лет. Этот возраст близок к U-Pb возрасту цирконов (1.2 – 1.1 млрд. лет) гнейсо-гранитов фундамента Кокчетавского массива (Туркина и др., 2011; Третьяков и др., 2011; Glorie et al., 2015). С

учетом этих данных можно сделать вывод, что протолиты известково-силикатных и гранат-пироксеновых пород относились к породам фундамента Кокчетавского массива. Тот факт, что для мигматизированных гнейсов, известково-силикатных породы и гранат-пироксеновых пород получена изохрона, (Рисунок 2) свидетельствует о едином начальном отношении $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в этих типах пород. На наш взгляд наиболее правдоподобным объяснением этого факта является взаимодействие гранитоидов с доломитовыми мраморами в период становления фундамента Кокчетавского микроконтинента.

В раннем кембрии породы фундамента и чехла пассивной окраины Кокчетаского массива были субдуцированы на глубины, отвечающие полю устойчивости алмаза. Полученные данные свидетельствуют о том, что Sm-Nd система в известково-силикатных и гранат-пироксеновых породах не была нарушена в процессе высокобарического метаморфизма, т.е. эти породы, в отличие от высокоглиноземистых пород участка Барчинский, не подвергались плавлению, что может быть связано с низким содержанием в них воды. Низкое содержание воды может объясняться тем, что ранее они были метаморфизованы в условиях гранулитовой фации метаморфизма.

Имеется еще один аспект в проблеме происхождения протолитов алмазоносных метаморфических пород. Как упоминалось выше в качестве протолитов алмазоносных пород рассматриваются породы песчано-сланцевой толщи шарыкской свиты (Буслов, Вовна, 2008; Буслов и др., 2015). Однако данные изучения Sm-Nd системы алмазоносных пород свидетельствуют, что в качестве их протолитов не могут рассматриваться породы этой свиты. Породы шарыкской свиты характеризуются колебаниями величины $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ от +4.1 до -3.3 и величинами модельного возраста от 1.9 до 1.25 млрд. лет (Kovach et al., 2017). В то же время, алмазоносные известково-силикатные и гранат-пироксеновые породы имеют величину $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -11.2$, рассчитанную на возраст 1.1 млрд. лет, а высокоглиноземистые сланцы участка Барчинский – -12.6. Также имеются значительные различия в величинах Nd модельного возраста.

Сланцы шарыкской свиты имеют модельный возраст 1.4–1.3 млрд. лет, а кварциты 1.9–1.7 млрд. лет. Алмазоносные породы, имеющие изохронный возраст 1.1 млрд. лет, а также высокоглиноземистые породы, образующие изохрону с возрастом 507 ± 10 млн. лет (Рисунок 3), имеют близкие значения двухстадийных модельных возрастов, которые лежат в интервале 2.4–2.57 млрд. лет. Близкие значения Nd модельного возраста получены для пород фундамента (Shatsky et al., 1999) и для Lu-Hf системы цирконов пород КСКЗ (Glorie et al., 2015) (2.5–2.3 млрд. лет). Это свидетельствует о том, что протолиты высокоглиноземистых пород формировались за счет размыва фундамента Кокчетавского микроконтинента.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что гранат-кианит-слюдаые сланцы претерпели этап частичного плавления в процессе эксгумации. Расплавы, отделявшиеся от этого типа пород, характеризовались высокими концентрациями калия и других крупноионных литофильных элементов элементов (Rb, Ba, Cs, Sr), а также легких редкоземельных элементов. В то же время гранат-пироксеновые и известково-силикатные породы фундамента Кокчетавского массива были деплетированы до этапа высокобарического метаморфизма.

Раздел 2 Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия в орогенных поясах и континентальных рифтогенных обстановках

2.1 Важнейшие результаты исследований 2017-2019 гг по Разделу исследований "Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия в орогенных поясах и континентальных рифтогенных обстановках"

Обоснована рамочная модель, описывающая природу источников вещества и взаимодействие между ними для основных и кислых пород трахибазальтовой серии позднемезозойских рифтогенных впадин Восточного

Забайкалья. В рамках Sr-Nd изотопной систематики происхождение кислых вулканитов трахибазальтовой серии связано с взаимодействием умеренно истощенного мантийного и корового источников вещества при участии процессов флюидно-магматического перераспределения компонентов. Характер вариаций изотопного состава свинца в основных вулканитах трахибазальтовой серии позволяет уточнить картину взаимодействия источников вещества. Большая часть составов трахибазальтов располагаются вдоль линии смешения между мантийным ($\mu=8,9$) и корово-мантийным ($\mu=9,4$) источниками вещества. Природа последнего источника может трактоваться как результат взаимодействия двух мантийных источников – деплетированного и обогащенного процессами палеозойской субдукции, широко проявленными по обрамлению Монголо-Охотского палеоокеана.

Наиболее масштабным событием внутриплитной эндогенной активности в пределах Сибирского палеоконтинента в фанерозойское время было синхронное формирование Сибирских траппов и Западно-Сибирской рифтовой системы на рубеже перми и триаса. Оно было связано с деятельностью Исландского плюма, принадлежащего к Пра-Африканскому горячему полю мантии. Завершающие этапы эндогенной активности, связанной с Пра-Африканским горячим полем мантии, стали позднемезозойские рифтогенные внутриплитовые вулканические образования Центрально-Азиатского орогенного пояса. Для пермо-триасовых вулканитов Сибирских траппов и Западно-Сибирской рифтовой системы была выявлена существенная гетерогенность системы источников вещества внутриплитовых базальтоидов. В формировании основных пород первой магматической провинции принимали участие источники MORB, PREMA и верхней коры, а для второй было обосновано дополнительное влияние источника HIMU. Формирование базитовых расплавов, исходных для раннемеловых трахиандезибазальтов Нилгинской депрессии, также как и других рифтогенных базальтоидов позднепалеозойского-мезозойского возраста

Центрально-Азиатского орогенного пояса, происходило за счет частичного плавления мантийных пород, в образовании которых принимали участие расплавы из умеренно истощенного источника PREMA и обогащенного источника EM-II. Таким образом, показано, что в течение позднепалеозойского – позднемезозойского времени под влиянием Пра-Африканского горячего поля мантии генерировались базальтовые расплавы, связанные с источниками MORB и PREMA при эпизодическом участии источника EM-II, HIMU и верхнекорового компонента.

Получены новые геохронологические данные, свидетельствующие о том, что в рамках традиционного выделяемого палеозойского олекминского интрузивного комплекса Восточного Забайкалья присутствует значительный объем гранитоидов мезозойского возраста, представляющих собой самостоятельный магматический эпизод в становлении Монголо-Охотского орогенного пояса, связанный с тектоническими условиями растяжения вдоль северной границы сутурной зоны. Эти гранитоиды должны быть выделены в самостоятельный интрузивный комплекс.

2.2 Определение изотопного возраста и Sr-Nd изотопных характеристик раннепалеозойских гранитоидов Монголо-Охотского орогенного пояса

Протяженные ареалы гранитоидов Центрально-Азиатского орогенного пояса являются важнейшими индикаторами, фиксирующими время и характер процессов формирования тектонического коллажа слагающих этот пояс террейнов. Монголо-Охотский орогенный пояс, являющийся важной составной частью Центрально-Азиатского пояса (Парфенов и др., 1999, 2003), обрамляется с юга и севера в современных координатах ареалами батолитовых интрузий ундинского и олекминского гранитоидных комплексов палеозойского возраста (Рисунок 4). Оба комплекса фиксируют масштабные эндогенные события на окраинах Монголо-Охотского палеоокеана. Возраст гранитоидов ундинского комплекса определен как

позднепермский - раннетриасовый (257-248 МА), и его становление связывается с коллизионными процессами вдоль северной границы Аргунского супертеррейна Монголо-Охотского пояса (Dril et al., 2017).

Возрастные рамки и геодинамическая природа гранитоидов олекминского комплекса является предметом дискуссии. Ареал распространения его интрузий охватывает площадь Западно-Станового террейна (Парфенов и др., 2003) или восточной части Селенгино-Станового супертеррейна (Ковач и др., 2018). Согласно современным геологическим картам комплекс отнесен к раннему палеозою и обладает трехфазным строением (Геологическое строение..., 1997). Первая фаза представлена равномерно-зернистыми биотит-роговообманковыми кварцевыми диоритами и гранодиоритами, вторая - порфиоровидными биотитовыми гранодиоритами и гранитами, а третья - равномерно-зернистыми гранитами и лейкократовыми гранитами. Гранитоиды двух первых фаз представлены породами известково-щелочного ряда нормальной щелочности, тогда как в породах завершающей фазы отмечаются и субщелочные разности (Казимировский, 2004).

В настоящее время представления о возрасте интрузий олекминского комплекса подвергаются существенному пересмотру. Так, Rb-Sr геохронологическими исследованиями были определены позднепалеозойские возрасты для гранитоидов как в западной части пояса - 343-318 млн.лет, так и для юго-восточной его части – 319 млн.лет (Казимировский, Сандиминова, Банковская, 2002). Позднепалеозойские датировки были подтверждены и уточнены в дальнейшем U-Pb геохронологическими исследованиями цирконов из гранодиоритов и гранитов северо-восточной части интрузивного ареала, которые выявили возрасты 355-358 млн. лет. (Ларин и др., 2015, Ковач и др., 2018). Кроме того, этими исследованиями в западной части ареала были выявлены граниты с возрастом 237 млн.лет, что соответствует раннему мезозою. Авторами настоящего проекта получены новые U-Pb LA-ICP-MS геохронологические данные по цирконам, которые свидетельствуют о том, что в рамках традиционно выделяемого палеозойского олекминского

интрузивного комплекса Восточного Забайкалья присутствует значительный объем лейкократовых гранитоидов мезозойского возраста, представляющих собой самостоятельный магматический эпизод в становлении Монголо-Охотского орогенного пояса. Так, для лейкократовых гранитов Нижнеингодинского батолита получен возраст 186 ± 3 млн лет, а для лейкократовых гранитов Маректинско-Береинского массива - 219 ± 3 млн лет. Формирование этих гранитоидов вероятно связано с тектоническими условиями растяжения вдоль северной границы Монголо-Охотской сутурной зоны на завершающем этапе закрытия Монголо-Охотского палеоокеанического пространства.

Таким образом, современными геохронологическими исследованиями выяснено, что в рамках олекминского гранитоидного комплекса объединены существенно разновозрастные образования. Это определило необходимость продолжения геохронологических исследований, которые были проведены для порфировидных гранодиоритов третьей фазы и биотит-амфиболовых диоритов второй фазы комплекса. В качестве опорных массивов в первом случае были выбраны Маректинско-Береинский и Ямнинский массивы, а во втором - Холонгатуйский массив, локализованный в пределах Нижнеингодинского батолита. Положение массивов показано на Рисунке 4.

Изотопное U-Pb датирование цирконов осуществлялось методом лазерной абляции (LA-ICP-MS) в Институте наук о Земле Академии наук Тайваня с использованием приборного комплекса, состоящего из квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 и системы лазерной абляции Photon Machines Analyte G2 с длиной волны 193 нм по методике, описанной (Skuzovатов S., Shatsky V., Wang K.-L., 2019).

Представительные CL-изображения исследованных цирконов представлены на Рисунке 5. Они представлены хорошо кристаллографически оформленными зернами с удлинением $L=2-4$ и с окраской от бледно-желтого до интенсивного медово-желтого цвета. Как правило, кристаллы обладают хорошо выраженным ядром, часто насыщенном микровключениями, и

хорошо развитой каймой с типичной осцилляционной магматической зональностью. Именно эта кайма и исследовалась с помощью LA-ICP-MS.

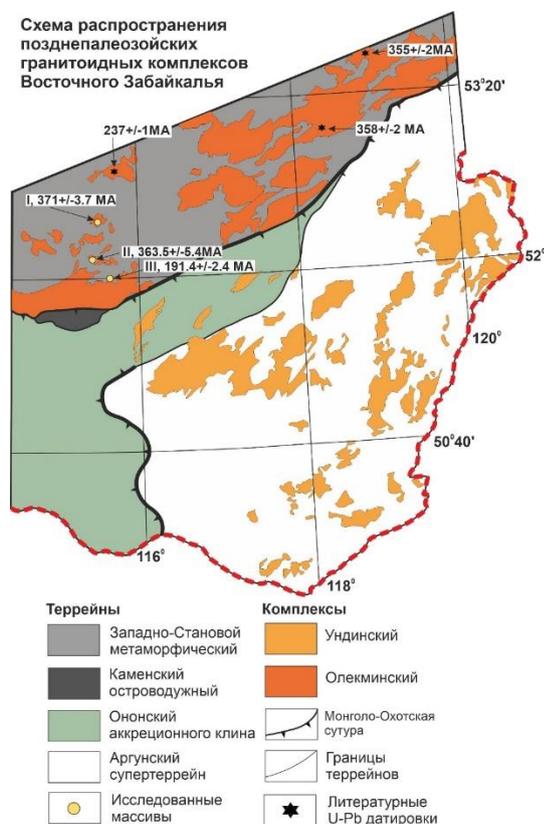
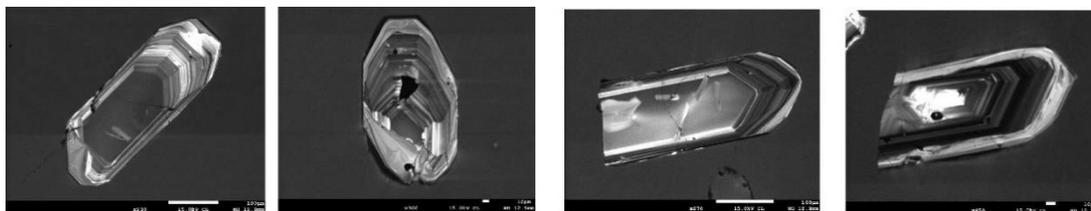


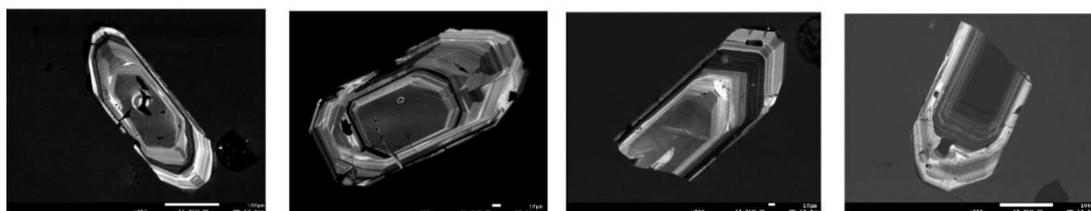
Рисунок 4 - Схема террейнов Восточного Забайкалья по (Парфёнов и др., 2003) и положение гранитоидов олекминского комплекса в южной части Западно-Станового террейна. Контуры интрузий показаны с учетом материалов геологических карт (Геологическая карта..., 1976, Геологическая карта..., 1992)

Условные обозначения: 1 - Западно-Становой метаморфический террейн; 2 - Каменский островодужный террейн; 3 - Ононский террейн аккреционного клина; 4 - Аргунский супертеррейн; 5 - интрузии гранитоидов Олекминского комплекса; 6 - интрузии Ундинского комплекса; 7 - надвиги; 8 - геологические границы; 9 - возраста интрузий по литературным данным (Ларин и др., 2015, Ковач и др., 2018); 10 - новые возрастные данные, полученные авторами. Цифрами показано положение исследованных

массивов: (1) – Маректинско-Береинского; (2) – Ямнинского; (3) - Холонгатуйского.



Представительные CL-изображения цирконов из пробы ЗСТ-15-17.



Представительные CL-изображения цирконов из пробы ЗСТ-66.

Рисунок 5 - Представительные микрофотографии цирконов из среднезернистых порфировидных гранодиоритов Маректинско-Береинского (ЗСТ-15-17) и Ямнинского (ЗСТ-66) массивов олекминского комплекса Восточного Забайкалья, выполненные в режиме катодлюминесценции

Результаты U-Pb датирования по цирконам. Из пробы гранодиорита ЗСТ-15-17 Маректинско-Береинского массива было проанализировано 32 кристалла циркона и получено 20 конкордантных (дискордантность $D < 5\%$) оценок возраста (Рисунок 6). Средневзвешенное значение возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для этих определений составляет 371 ± 5 млн лет (95%, СКВО = 1.3, вероятность = 0.17). Остальные проанализированные цирконы характеризуются возрастaми по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ преимущественно от 358 ± 8 до 388 ± 9 млн лет, совпадающими с вариациями возрастaов конкордантных цирконов (353 ± 8 до 384 ± 9 млн лет). Средневзвешенное значение возрастa по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для всех

определений составляет 370 ± 4 млн лет (95%, СКВО = 1.3, вероятность = 0.10). Учитывая морфологические характеристики исследованных цирконов, свидетельствующие об их магматическом происхождении, значение возраста 371 ± 5 млн лет можно принимать в качестве оценки возраста кристаллизации породы.

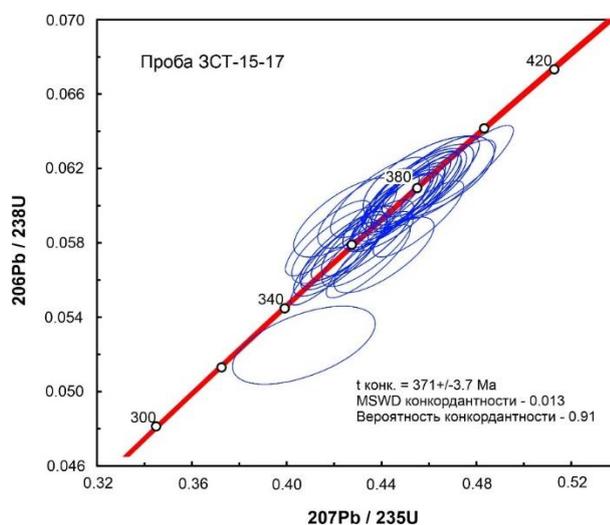


Рисунок 6 - Диаграмма с конкордией для цирконов из пробы среднезернистого порфиroidного гранодиорита Маректинско-Береинского олекминского комплекса (проба ЗСТ-15-17)

Из пробы гранодиорита ЗСТ-66 Ямнинского массива было проанализировано 12 зерен циркона и получено 9 конкордантных (дискордантность $D < 5\%$) оценок возраста (Рисунок 7). Средневзвешенное значение возраста по отношению $206\text{Pb}/238\text{U}$ для конкордантных определений составляет 363 ± 5 млн лет (95%, СКВО = 0.55, вероятность = 0.82). Остальные три циркона имеют возрасты по отношению $206\text{Pb}/238\text{U}$ от 342 ± 9 до 367 ± 8 млн лет, близкими к возрастам конкордантных цирконов (357 ± 8 до 370 ± 9 млн лет). Учитывая морфологические характеристики исследованных цирконов, свидетельствующие об их магматическом происхождении, значение возраста 363 ± 5 млн лет можно принимать в качестве оценки возраста кристаллизации вмещающего гранодиорита.

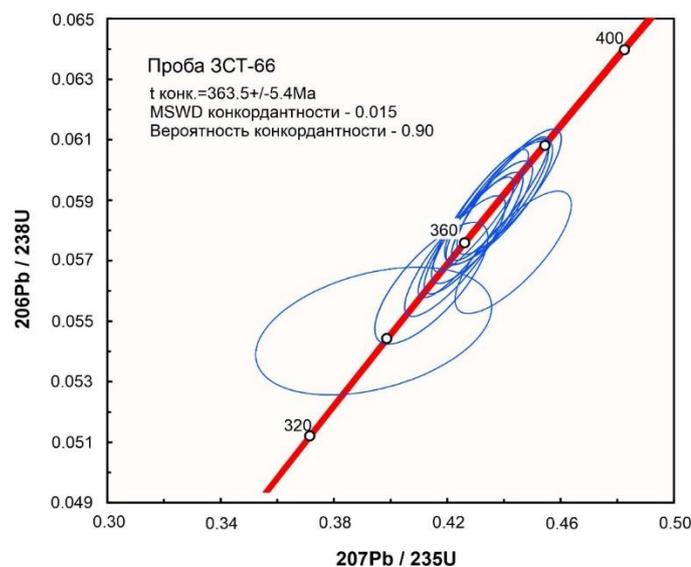


Рисунок. 7 - Диаграмма с конкордией для цирконов из пробы среднезернистого порфириовидного гранодиорита Ямнинского массива олекминского комплекса (проба ЗСТ-66)

Из пробы диорита ЗСТ-5-17 Холонгатуйского массива Нижнеингодинского батолита было проанализировано 24 кристалла циркона и получено 15 конкордантных (дискордантность $D < 5\%$) оценок возраста (Рисунок 8). Средневзвешенное значение возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ для этих определений составляет 192 ± 3 млн лет (95%, СКВО = 1.5, вероятность = 0.11). Остальные проанализированные цирконы характеризуются возрастами по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в интервале от 181 ± 4 до 200 ± 5 млн лет, совпадающими с вариациями возрастов конкордантных цирконов (181 ± 5 до 202 ± 6 млн лет). Средневзвешенное значение возраста для всех определений составляет 192 ± 3 млн лет (95%, СКВО = 1.6, вероятность = 0.04). Учитывая морфологические характеристики исследованных цирконов, свидетельствующие об их магматическом происхождении, значение возраста 192 ± 3 млн лет можно принимать в качестве оценки возраста кристаллизации вмещающих диоритов.

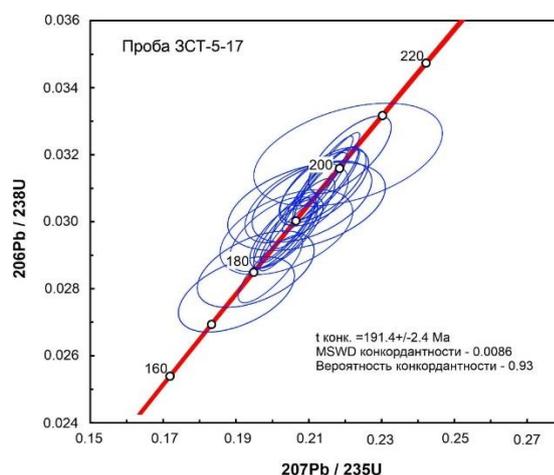


Рисунок 8 - Диаграмма с конкордией для пробы мелкозернистого диорита Холонгатуйского массива олекминского комплекса (проба ЗСТ-5-17)

Полученные для пород Маректинско-Береинского и Ямнинского массивов датировки уверенно указывают на то, что порфириовидные гранодиориты третьей фазы традиционно выделяемого палеозойского олекминского гранитоидного комплекса (Геологическое строение..., 1997) имеют позднепалеозойский возраст - 371 - 363 млн лет, что согласуется с данными, полученными ранее (Ларин и др., 2015, Ковач и др., 2018). Широкий ареал распространения пород этого возрастного диапазона (Рисунок 4) свидетельствует о масштабном эпизоде позднепалеозойского гранитоидного магматизма по всей площади Западно-Станового террейна. Как было показано ранее, геохимические особенности гранодиоритов олекминского комплекса позволяют связать их происхождение с субдукционной геодинамической обстановкой. Диориты и кварцевые диориты, относимые ко второй фазе комплекса и проявленные локально в пределах Нижнеингодинского батолита в пределах Холонгатуйского массива, имеют раннеюрский возраст - 192 млн лет, что исключает отнесение их ко второй интрузивной фазе. Эти образования синхронны с лейкократовыми гранитоидами, относимыми ранее (Геологическое строение..., 1997) к завершающей четвертой интрузивной фазе комплекса, и имеющими, как показали наши исследования (Дриль и др., 2020), раннемезозойский возраст - 219-186 млн.лет. Формирование этих

гранитоидов вероятно связано с тектоническими условиями растяжения вдоль северной границы Монголо-Охотской сутурной зоны на завершающем этапе закрытия Монголо-Охотского палеоокеанического пространства.

Результаты Sm-Nd изотопных исследований. Для выяснения природы корового протолита гранитоидов олекминского комплекса был исследован изотопный состав Nd в породах гранит-лейкогранитовой серии Маректинско-Береинского и Жарчинского массивов. Исследования Sm-Nd изотопной системы пород проводились на многоколлекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой NEPTUNE в ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН по методике (Yang, Chu, Wu, et al., 2010). Измерения изотопного состава в стандарте JNdi-1 показали следующие результаты (n=40), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512107 \pm 4$.

Изотопные Sm-Nd характеристики гранитоидов обоих массивов соответствуют таковым для континентальной коры неопротерозойского возраста, имея величины ϵNd (219 млн. лет) = - 0.9 - (-2.1) и величины $T_{\text{Nd}}(\text{DM}-2)$ = 1086 - 1164 млн. лет. Эти данные несколько отличны от Sm-Nd изотопной характеристики коллизионных пермо-триасовых гранитоидов Ундинского комплекса, маркирующего южный в современных координатах фланг Монголо-Охотской сутурной зоны: ϵNd (254 млн.лет) = - 1,9 – (- 5,0) и $T_{\text{Nd}}(\text{DM}-2)$ = 1210 - 1460 млн. лет. Подобное различие свидетельствует о том, что в мезозойское время к северу от сутуры в процесс гранитообразования вовлекался менее радиогенный коровый протолит по сравнению с коллизионными гранитоидами, сформированными южнее.

Заключение.

Для выявления изотопно-геохимических свидетельств мантийно-корового взаимодействия в различных геодинамических обстановках и определения масштабов этого процесса в течение 2020г был проведен комплекс исследований показавший следующее.

На основании изотопно-геохимических данных впервые показано, что протолитами алмазоносных метаморфических пород Кокчетавского массива были как породы фундамента, так и осадочные породы, имеющие палеопротерозойский Nd модельный возраст. Алмазоносные известково-силикатные, гранат-пироксеновые породы, а также мигматизированный гранито-гнейс образуют Sm-Nd изохрону, отвечающую возрасту 1116 ± 14 млн лет. Этот возраст соответствует возрасту формирования гранито-гнейсового фундамента (1.2-1.1 млрд лет) Кокчетавского микроконтинента. Изохрона, рассчитанная на основании изотопного состава валовых проб в различной степени деплетированных высокоглиноземистых пород участка Барчинский, соответствует возрасту 507 ± 1.4 млн лет, что предполагает плавление метапелитов на стадии эксгумации.

Показано, что гранат-кианит-слюдяные сланцы претерпели этап частичного плавления в процессе эксгумации. Расплавы, отделившиеся от этого типа пород, характеризовались высокими концентрациями калия и других крупноионных литофильных элементов (Rb, Ba, Cs, Sr), а также легких редкоземельных элементов. В то же время гранат-пироксеновые и известково-силикатные породы фундамента Кокчетавского массива были деплетированы до этапа высокобарического метаморфизма и не могли быть источником расплавов/флюидов, метасоматизирующих породы мантийного клина.

Выяснено, что гранитоиды олекминского комплекса Восточного Забайкалья фиксируют масштабный эпизод эндогенной активности, связанный с замыканием Монголо-Охотского палеоокеанического пространства. Получены новые U-Pb LA-ICP-MS геохронологические данные по цирконам для гранодиоритов и диоритов этого комплекса. Результаты датирования порфировидных гранодиоритов Маректинско-Береинского и Ямнинского массивов третьей интрузивной фазы комплекса уверенно указывают на их позднепалеозойский возраст: 371 - 363 млн лет. Широкий ареал распространения пород этого возрастного диапазона свидетельствует о

масштабном эпизоде позднепалеозойского гранитоидного магматизма по всей площади Западно-Станового террейна. Показано, что геохимические особенности гранодиоритов олекминского комплекса позволяют связать их происхождение с субдукционной геодинамической обстановкой.

Список использованных источников

1. Бусллов, М.М. Состав и геодинамическая природа протолитов алмазосодержащих пород Кумдыкольского месторождения Кокчетавского метаморфического пояса, Северный Казахстан [Текст] / М.М. Бусллов, Г.М. Вовна // Геохимия. – 2008. - № 9. – С. 955-964.
2. Бусллов, М.М. Структурное положение, состав и геодинамическая природа алмазосодержащих метаморфических пород Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны Центрально-Азиатского складчатого пояса (Северный Казахстан) [Текст] / М.М. Бусллов, Н.Л. Добрецов, Г.М. Вовна, В.И. Киселев // Геология и геофизика. – 2015. - Т. 56. - №. 1-2. – С. 89-109.
3. Геологическая карта Читинской области масштаба 1:1000000 // Ред. И.Г. Рутштейн, В.В. Старченко. М., Мингео РСФСР. 1976.
4. Геологическая карта Читинской области масштаба 1:500000 // Ред. И.Г. Рутштейн. Чита. ПГО «Читагеология». 1992.
5. Геологическое строение Читинской области. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:500 000 [Текст]. Чита. 1997. 239 С.
6. Добрецов, Н.Л. Венд-раннеордовикская геодинамическая эволюция и модель экзгумации пород сверхвысоких и высоких давлений Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны (Северный Казахстан) [Текст] / Н.Л. Добрецов, М.М. Бусллов, Ф.И. Жимулев, А.В. Травин, А.А. Заячковский // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. - №. 4. – С. 428-444.
7. Дриль, С.И., Гранит-лейкогранитная серия пород олекминского комплекса Восточного Забайкалья: U-Pb LA-ICP-MS геохронология по цирконам и Sm-Nd изотопная систематика пород [Текст] / С.И. Дриль, Ю.В. Носкова, В.П. Ковач, С.А. Сасим // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». - 2020. - Т. 32. - С.32-41.
8. Казимировский, М.Э. Геохимия палеозойского гранитоидного магматизма Западно-Становой зоны Забайкалья [Текст] / М.Э. Казимировский // Геология и Геофизика. - 2004. -Т.45. - №3. - С.347-362.
9. Казимировский, М.Э., Изотопная геохронология палеозойских гранитоидов Селенгино-Становой горной области [Текст] / М.Э. Казимировский, Г.П. Сандимирова, Э.В. Банковская // Геология и Геофизика. - 2002. - Т.43. - №11. - С.973-989.
10. Ковач, В.П. Возраст и границы олекминского магматического пояса Селенгино-Станового супертеррейна Центрально-Азиатского подвижного пояса [Текст] / В.П. Ковач, А.Б. Котов, А.М. Ларин, Е.Б. Сальникова, С.Д. Великославинский, С.З. Яковлева, Ю.В. Плоткина // Доклады Академии Наук. - 2018. - Т.483. - №1. - С.64-69.
11. Ларин, А.М. Гранитоиды олекминского комплекса селенгино-станового супертеррейна Центрально-Азиатского подвижного пояса: возраст и тектоническое положение [Текст] / А.М. Ларин, А.Б. Котов, В.П. Ковач, и др. // Доклады Академии Наук. - 2015. - Т.464. - №2. - С.194-198.

12. Парфенов, Л.М. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса [Текст] / Л.М. Парфенов, Л.И. Попеко, О. Томуртогоо // Тихоокеанская геология. - 1999. - № 5. - С. 24–43.
13. Парфенов, Л.М. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии [Текст] / Л.М. Парфенов, Берзин Н.А., Ханчук А.И., и др. // Тихоокеанская геология. - 2003. - №6. - С.7-41.
14. Третьяков, А.А. Среднерифейский вулканогенный комплекс Кокчетавского массива (Северный Казахстан): структурное положение и обоснование возраста [Текст] / А.А. Третьяков, А.Б. Котов, К.Е. Дегтярев, Е.Б. Сальникова, К.Н. Шатагин, С.З. Яковлева, И.В. Анисимова // Доклады Академии Наук. – 2011. – Т. 438. - №5. – С. 644-648.
15. Туркина, О.М. Мезопротерозойские гранитоиды фундамента Кокчетавского микроконтинента [Текст] / О.М. Туркина, Ф.А. Летников, А.В. Левин [Текст] // Доклады Академии Наук. – 2011. - Т. 436. - №4. – С. 499-503.
16. Шацкий, В.С. Поведение несовместимых элементов в процессе ультравысокобарического метаморфизма (на примере пород Кокчетавского массива) [Текст] / В.С. Шацкий, Е.С. Ситникова, О.А. Козьменко, С.В. Палесский, И.В. Николаева, А.А. Заячковский // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. - №4. – С. 485-489.
17. Шацкий, В.С. Подвижность элементов в зоне континентальной субдукции (на примере комплекса сверхвысоких давлений Кокчетавского массива) [Текст] / В.С. Шацкий, С.Ю. Скузоватов, А.Л. Рагозин, Н.В. Соболев // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. - №7. – С. 1928-1321.
18. Auzanneau, E. Experimental evidence of decompression melting during exhumation of subducted continental crust [Текст] / E. Auzanneau, D. Vielzeuf, M.W. Schmidt // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2006. – V. 152. - P. 125-148.
19. Claoue-Long, J. Zircon response to diamond-pressure metamorphism in the Kokchetav massif, USSR [Текст] / J. Claoue-Long, N. Sobolev, V. Shatsky, A. Sobolev // Geology. – 1991. – V. 19. – P. 710-713.
20. Dobretsov, N. Exhumation of high-pressure rocks of the Kokchetav massif: facts and models [Текст] / N. Dobretsov, V. Shatsky // Lithos. – 2004. – V. 78. – P. 307-318.
21. Dril, S.I. Geochronology and Sr-Nd isotope geochemistry of Late Paleozoic collisional granitoids of Undinsky complex (Eastern Transbaikal region) [Текст] / S.I. Dril, Yu.V. Noskova, K.-L. Wang, et al. // Geodynamics & Tectonophysics. - 2017. - Т. 8, - № 3. - С. 455-459.
22. Glorie, S. Formation of the Kokchetav subduction–collision zone (northern Kazakhstan): Insights from zircon U–Pb and Lu–Hf isotope systematics [Текст] / S. Glorie, F. Zhimulev, M. Buslov, T. Andersen, D. Plavsa, A. Izmer, F. Vanhaecke, J. De Grave // Gondwana Research. – 2015. – V. 27. – P. 424-438.
23. Hermann, J. Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav Massif,

Kazakhstan) [Текст] / J. Hermann, D. Rubatto, A. Korsakov, V. Shatsky // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2001. – V. 141. – P. 66-82.

24. Hermann, J. Sediment melts at sub-arc depths: an experimental study [Текст] / J. Hermann, C.J. Spandler // Journal of Petrology. – 2008. – V. 49. – P. 717-740.

25. Katayama, I. Ion micro-probe U–Pb zircon geochronology of peak and retrograde stages of ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif, northern Kazakhstan [Текст] / I. Katayama, S. Maruyama, C.D. Parkinson, K. Terada, Y. Sano // Earth and Planetary Science Letters. – 2001. – V. 188. – P. 185-198.

26. Korsakov, A.V. Silicate and carbonate melt inclusions associated with diamonds in deeply subducted carbonate rocks [Текст] / A.V. Korsakov, J. Hermann // Earth and Planetary Science Letters. – 2006. – V. 241. – P. 104-118.

27. Kovach, V. Sources and provenance of the Neoproterozoic placer deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for continental growth of the western Central Asian Orogenic Belt [Текст] / V. Kovach, K. Degtyarev, A. Tretyakov, A. Kotov, E. Tolmacheva, K.-L. Wang, S.-L. Chung, H.-Y. Lee, B.-M. Jahn // Gondwana Research. – 2017. – V. 47. – P. 28-43.

28. Schmidt, M.W. Melting and dissolution of subducting crust at high pressures: the key role of white mica [Текст] / M.W. Schmidt, D. Vielzeuf, E. Auzanneau // Earth and Planetary Science Letters. – 2004. – V. 228. – P. 65-84.

29. Shatsky, V.S. Geochemistry and age of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif (Northern Kazakhstan) [Текст] / V.S. Shatsky, E. Jagoutz, N.V. Sobolev, O.A. Kozmenko, V.S. Parkhomenko, M. Troesch // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1999. – V. 137. – P. 185-205.

30. Skuzovatov, S. Continental subduction during arc-microcontinent collision in the southern Siberian craton: Constraints on protoliths and metamorphic evolution of the North Muya complex eclogites (Eastern Siberia) [Текст] / V. Shatsky, K.-L. Wang // Lithos, 2019, V. 342-343, P.76-96.

31. Stepanov, A.S. Contrasting PT paths within the Barchi-Kol UHP terrain (Kokchetav Complex): Implications for subduction and exhumation of continental crust [Текст] / D. Rubatto, J. Hermann, A.V. Korsakov // American Mineralogist. – 2016 - V. 101. – P. 788-807.

32. Thomsen, T.B. Melting of carbonated pelites at 2.5-5.0 GPa, silicate–carbonatite liquid immiscibility, and potassium–carbon metasomatism of the mantle [Текст] / T.B. Thomsen, M.W Schmidt // Earth and Planetary Science Letters. – 2008. – V. 267. – P. 17-31.

33. Yang, Y.-H. Precise and accurate determination of Sm, Nd concentrations and Nd isotopic compositions in geological samples by MC-ICP-MS [Текст] / Y.-H. Yang, Zh. Y. Chu, F.-Y. Wu, L.-W. Xia, J.-H. Yang // J. Anal. At. Spectrom. - 2010. - 26. - 1237-1244.

Приложение А

Количество статей, опубликованных по тематике проекта в течение 2020 г. в соответствии с государственным заданием.

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2017-2020 гг.	2017	2018	2019	2020
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	26	5	6	7	8
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEBofScience)	единиц	20	4	5	6	5
Число тезисов в конференциях	единиц	21	7	7	7	0
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России зарегистрированных патентов за рубежом	единиц	0	0	0	0	0

Приложение Б

Перечень статей, опубликованных по тематике проекта в 2020 г. в соответствии с государственным заданием.

1. Шацкий В.С., Рагозин А.Л., Козьменко О.А., Денисенко А.А. Геохимические свидетельства участия субдуцированной коры в процессах модификации субконтинентальной мантии Якутской алмазоносной провинции // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. - 2020. - Т. 493. - № 1. - С. 37-42.

2. Gornova M.A., Karimov A.A., Skuzovatov S.Yu., Belyaev V.A. From decompression melting to mantle-wedge refertilization and metamorphism: insights from peridotites of the Alag-Khadny accretionary complex (SW Mongolia) // Minerals. – 2020. – V. 10(5). – P. 396.

3. Shatsky V.S., Ragozin A.L., Logvinova A.M., Wirth R., Kalinina V.V., Sobolev N.V. Diamond-rich placer deposits from iron-saturated mantle beneath the northeastern margin of the Siberian Craton // Lithos. – 2020. – V. 364-365. – P. 105514.

4. Tarasova Yu.I., Budyak A.E., Chugaev A.V., Goryachev N.A., Tauson V.L., Skuzovatov, S.Yu., Reutsky V.N., Bryukhanova N.N., Gareev B.I., Parshin A.V. Mineralogical and isotope-geochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ and Pb-Pb) characteristics of the Krasniy gold mine (Baikal-Patom Highlands): constraining ore-forming mechanisms and the model for Sukhoi Log-type deposits // Ore Geology Reviews. – 2020. – V. 119. – P. 103365.

5. Zedgenizov D.A., Skuzovatov S.Yu., Griffin W.L., Pomazansky B.S., Ragozin A.L., Kalinina V.V. Diamond-forming HDFs tracking episodic mantle metasomatism beneath Nyurbinskaya kimberlite pipe (Siberian craton) // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2020. – V. 175(11). – P. 106.

6. Дриль С.И., Носкова Ю.В., Ковач В.П., Сасим С.А. Гранит-лейкогранитная серия пород олёкминского комплекса Восточного Забайкалья: U-Pb LA-ICP-MS геохронология по цирконам и Sm-Nd изотопная систематика

пород // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2020. – Т. 32. 32-41.

7. Елбаев А.Л., Гордиенко И.В., Хубанов В.Б., Зарубина О.В. Петрогеохимические особенности и U-Pb возраст морион-гранитов Центрального Забайкалья: типизация пород и вопросы их генезиса // Литосфера. – 2020. – Т. 20(5). – С. 690-705.

8. Андреева Ю.С., Сасим С.А., Дриль С.И. Геохимия и петрогенезис позднемезозойских вулканитов Торейской и Харанорской впадин (Восточное Забайкалье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2020. – Т. 33. – С. 3-20.

Приложение В

Копия заданий для выполнения фундаментальных научных исследований по теме (проекту) в 2020 г.

Моделирование составов флюидов / расплавов отделяющихся от субдуцируемой плиты и метасоматизирующих литосферу в зонах субдукции на основании изотопно-геохимических исследований высокобарических пород Центрально-Азиатского складчатого пояса. Определение роли субдуцируемых пород в процессах мантийного алмазообразования.

Определение изотопного возраста и Sr-Nd изотопных характеристик раннепалеозойских гранитоидов Монголо-Охотского орогенного пояса.