

На правах рукописи



ЕФРЕМОВА Ульяна Сергеевна

**ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ
БАЙКАЛЬСКОГО ВЫСТУПА ФУНДАМЕНТА СИБИРСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ В ПРОТЕРОЗОЕ**

Специальность 1.6.1 – Общая и региональная геология.
Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2024

Работа выполнена в лаборатории палеогеодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН)

Научный руководитель: **Донская Татьяна Владимировна,**
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник
ИЗК СО РАН, г. Иркутск

Официальные оппоненты: **Минина Ольга Романовна,**
доктор геолого-минералогических наук,
заместитель директора Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Геологического
института им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения
Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ

Романюк Татьяна Валентиновна,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник Федерального
государственного бюджетного учреждения науки
Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской
академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Геологический институт Российской академии
наук (ГИН РАН), г. Москва


Защита диссертации состоится «12» декабря 2024 года в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.1.062.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИЗК СО РАН и на сайте http://crust.ru/newsfull_250.html

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять ученому секретарю совета к.г.-м.н. Б.С. Данилову по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128, или e-mail: boris@crust.irk.ru

Автореферат разослан « » октября 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.062.02,
кандидат геолого-минералогических наук

 - Б.С. Данилов

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Временной интервал от 2.2 до 1.8 млрд лет являлся одним из ключевых периодов в мировой геологической истории, в течение которого архейские кратонные блоки в разной степени испытали влияние орогенических событий (Zhao et al., 2002, 2004). В этот период было сформировано значительное количество крупных раннепротерозойских орогенных поясов и произошло объединение архейских кратонных блоков в более крупные единицы – древние кратоны (Zhao et al., 2002, 2004; Hawkesworth et al., 2013; Condie et al., 2017; Elming et al., 2021). В связи с тем, что орогенные пояса являются основными индикаторами сборки древних кратонов, то расшифровка их эволюции позволяет надежно обосновать и проинтерпретировать основные этапы становления структуры и последующей эволюции докембрийских кратонов.

Сибирский кратон, формирование которого имело место на временном интервале 2.00–1.85 млрд лет, представляет собой структуру, состоящую из архейских и раннепротерозойских супертеррейнов, разделенных раннепротерозойскими орогенными поясами и шовными зонами (Розен, 2003; Глебовицкий и др., 2008; Rosen et al., 1994; Gladkochub et al., 2006; Smelov, Timofeev, 2007; Pisarevsky et al., 2008; Donskaya, 2020; Priyatkina et al., 2020). В настоящее время имеется неоднозначность точек зрения в вопросах выделения и интерпретации орогенных поясов в пределах Сибирского кратона, поэтому любая информация об особенностях эволюции этих структур, разделяющих крупные архейские супертеррейны, позволяет приблизиться к пониманию процессов становления собственно Сибирского кратона. Раннепротерозойский Аkitканский орогенный пояс выделяется на нескольких тектонических схемах Сибирского кратона в виде структуры, разделяющей архейские Анабарский и Алданский супертеррейны (Розен, 2003; Rosen et al., 1994; Gladkochub et al., 2006; Pisarevsky et al., 2008; Donskaya, 2020). Породы, относимые к Аkitканскому орогенному поясу, выходят на поверхность в южной части Сибирского кратона в пределах Байкальского выступа фундамента. Аkitканский орогенный пояс представляет собой гетерогенную структуру, в пределах которой выделяются четыре основных региональных тектонических сегмента (Голоустенский, Сарминский, Чуйский и Тонодский), отличающиеся друг от друга возрастом и составом метаморфических и магматических пород, степенью метаморфической переработки и геодинамическими условиями образования. Предполагается, что объединение пород этих тектонических сегментов в единую структуру Аkitканского орогенного пояса имело место на интервале 2.00–1.95 млрд лет (Donskaya, 2020).

Объектом настоящего исследования стали наиболее древние метатерригенные образования, распространенные в пределах Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса, выделяемые в составе сарминской серии. Интерес к изучению этих пород обусловлен тем, что благодаря широкому применению таких методов датирования, как лазерная абляция с масс-спектрометром с индуктивно-связанной плазмой (LA-ICP-MS), стало возможным установление возраста и источников вещества древних осадочных толщ. Актуальность изучения раннедокембрийских осадочных толщ в пределах центральной части Аkitканского орогенного пояса состоит в том, что получение новых данных с привлечением современных прецизионных методик, а также комплексное геологическое, петрографическое, геохимическое и геохронологическое изучение терригенных пород способствует заполнению пробелов при интерпретации разных этапов эволюции Аkitканского орогенного пояса, как одной из важнейших структур Сибирского кратона.

Основные цели и задачи исследования

Целью данного исследования является создание модели геодинамической эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) в протерозойское время.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Сбор и анализ опубликованных геологических данных по рассматриваемому региону.
2. Проведение полевых геологических исследований и отбор каменного материала из пород сарминской серии.
3. Проведение детальных петрографических, геохимических и изотопных исследований терригенных пород, относимых к сарминской серии.
4. Проведение U-Pb (LA-ICP-MS) исследования зерен детритового циркона из пород сарминской серии.
5. Интерпретация полученных данных и их сопоставление с опубликованными материалами.
6. Выделение основных этапов в геодинамической эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) в протерозое.

Личный вклад соискателя

Автор принимала участие в экспедиционных полевых работах, включающих сбор каменного материала. Автором самостоятельно были проведены описание петрографических шлифов и подготовка проб для аналитических исследований. При непосредственном участии автора были проведены пробоподготовка и геохронологические исследования зерен детритового циркона методом LA-ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7900 в центре коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН. Автор самостоятельно провела комплексную обработку и интерпретацию полевых, аналитических и ранее опубликованных данных, а также сформулировала основные научные выводы диссертационной работы.

Научная новизна работы

1. Впервые с использованием современных аналитических методов проведены комплексные петрографические, изотопно-геохимические и геохронологические исследования терригенных пород, относимых к раннепротерозойской сарминской серии Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона.
2. На основании совокупности полученных данных установлено время формирования, источники и условия осадконакопления терригенных пород, относимых к сарминской серии.
3. Впервые приведены доказательства, что в единую харгитуйскую свиту сарминской серии были объединены породы разного возраста.
4. Впервые предложена модель геодинамической эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) в протерозое.

Практическое значение

Полученные в ходе проведения данного исследования результаты могут быть использованы при составлении геологических карт и стратиграфических схем нового поколения. Кроме того, полученные данные могут использоваться для глобальных палеогеодинамических реконструкций докембрийских суперконтинентов.

Защищаемые положения

1. В стратоподразделение, выделяемое как харгитуйская свита сарминской серии, объединены метаморфизованные породы, сформировавшиеся на следующих временных интервалах: 2.7–2.5 млрд лет, 2.15–1.95 млрд лет и 1.00–0.72 млрд лет.
2. Накопление терригенных пород иликтинской свиты сарминской серии происходило в период 1.95–1.91 млрд лет в обстановке растяжения после завершения коллизионных событий и формирования структуры Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона.
3. Выделены основные этапы становления структуры центральной части Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы: 2.9 млрд лет – образование

архейского блока, 2.7–2.5 млрд лет – накопление ранних осадочных толщ на архейском основании, 2.15–1.95 млрд лет – накопление пород раннепротерозойского чехла, 1.98–1.95 млрд лет – метаморфизм и формирование Аkitканского орогенного пояса, 1.95–1.91 млрд лет – накопление терригенных пород в обстановке растяжения, 1.88–1.84 млрд лет – постколлизийный магматизм, 1.00–0.72 млрд лет – накопление зрелых терригенных пород во внутриконтинентальных бассейнах.

Публикации и апробация работы

Результаты, полученные в ходе проведения данного исследования, изданы в 15 печатных изданиях, в том числе в 5 статьях в рецензируемых научных журналах (Геодинамика и тектонофизика; Геология и геофизика; Геохимия; Доклады Российской академии наук. Науки о Земле). Основные выводы, сделанные в рамках настоящего исследования, были представлены на всероссийских и международных конференциях: Всероссийское научное совещание «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса: от океана к континенту» (г. Иркутск, 2021, 2022, 2023 гг.); Всероссийское молодежное совещание «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2021, 2023 гг.); VI Всероссийская молодежная научная конференция, посвященная памяти академика Н.Л. Добрецова (г. Улан-Удэ, 2021 г.); VIII Российская конференция по изотопной геохронологии (г. Санкт-Петербург, 2022 г.); X International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (Novosibirsk, 2022); Geological International Student Summit 2022, 2023 (СПбГУ, г. Санкт-Петербург, 2023 г.).

Исследования по теме диссертационной работы выполнялись в лаборатории палеогеодинамики ИЗК СО РАН в рамках выполнения планов НИР ИЗК СО РАН, а также проектов РНФ (№№ 18-17-00101 и 23-17-00196).

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, общим объемом 170 страниц, 34 рисунка и 5 таблиц. Список литературы включает 107 источников.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. Татьяне Владимировне Донской за неоценимый вклад в познания автора в области геологии Прибайкалья, всестороннюю помощь на каждом этапе проделанной работы, за ценные наставления и безоговорочную поддержку.

Особую благодарность автор выражает своим наставникам и коллегам по лаборатории за ценные консультации и помощь в сборе каменного материала чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. Д.П. Гладкочубу, д.г.-м.н. А.М. Мазукабзову, к.г.-м.н. З.Л. Мотовой. Автор искренне признательна профессору РАН, д.г.-м.н. А.В. Иванову и к.ф.-м.н. Н.В. Брянскому за помощь в освоении методики U-Pb датирования методом LA-ICP-MS. Большой вклад в познания автора в области петрографии метаморфических и осадочных пород внесла Т.А. Корнилова, за что автор выражает ей большую благодарность. За проведение изотопно-геохимических Sm-Nd-исследований, а также за всестороннюю поддержку автор признательна к.г.-м.н. Е.И. Демонтеровой. Неоценимая помощь в обучении и проведении пробоподготовки для разных видов исследований была оказана И.Г. Барашом, к.г.-м.н. Е.А. Михеевой и Е.А. Гладкочубом, за что автор искренне благодарна.

Отдельную благодарность автор выражает сотруднику Геологического института СО РАН к.г.-м.н. В.Б. Хубанову за проведение геохронологических исследований.

Также автор благодарит сотрудников ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН за оперативное и качественное выполнение аналитических исследований.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА РАБОТ

Байкальский выступ фундамента Сибирской платформы протягивается от пос. Большое Голоустное на юге до Патомского нагорья на севере. Согласно тектонических схем (Розен, 2003; Gladkochub et al., 2006; Pisarevsky et al., 2008; Donskaya, 2020) породы Байкальского выступа принадлежат раннепротерозойскому Аkitканскому орогенному поясу (рис. 1а). В строении Байкальского выступа выделяются три блока (сегмента) (Донская, 2019) (с юга на север): Голоустенский, Сарминский и Чуйский (рис. 1б). Сарминский сегмент слагает центральную часть Байкальского выступа и представлен, главным образом, метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами сарминской серии, в составе которой по мнению разных исследователей выделяются харгитуйская, иликтинская и анайская свиты (Мац и др., 1961; Калинина, Кульчицкий, 1964; Федоровский, 1985; Галимова и др., 2009). Породы сарминской серии интродуцированы раннепротерозойскими гранитоидами кочериковского комплекса и лейкогранитами Трехголового массива с возрастом 1.91 млрд лет (Бибикина и др., 1987; Базарова, 2011), а также гранитоидами приморского и ирельского комплексов с возрастом 1.88–1.86 млрд лет, которые входят в состав Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса (Донская и др., 2003, 2005; Poller et al., 2005; Donskaya, Gladkochub, 2021). С несогласием породы сарминской серии перекрываются осадочно-вулканогенными образованиями аkitканской серии, которые входят в состав Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса (1.88–1.85 млрд лет) (Неймарк и др., 1991; Ларин и др., 2003; Донская и др., 2007, 2008; Poller et al., 2005), а также вендскими осадочными породами байкальской серии. На некоторых участках отмечается прорывание пород сарминской серии дайками долеритов и диоритов с возрастом 1.86 млрд лет (Донская и др., 2023, 2024) и габбродолеритов с возрастом 1.75 млрд лет (Gladkochub et al., 2019а). Отмечено также прорывание пород харгитуйской свиты, развитых севернее пос. Онгурен, дайками и жилами карбонатитов возрастом около 1.00 млрд лет (Савельева и др., 2014, 2016). Все вышеперечисленные породы интродуцированы неопротерозойскими дайками долеритов и габбродолеритов с возрастом 0.72 млрд лет (Гладкочуб и др., 2007; Ernst et al., 2023). В северной части Сарминского сегмента Байкальского выступа обнаруживаются выходы гранитоидов, близких по составу породам тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) серии, возраст которых оценивается в 2884 ± 12 млрд лет (Donskaya et al., 2009).

ГЛАВА 2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД

Для решения поставленных задач было изучено более 90 шлифов образцов исследуемых пород, а также определены содержания петрогенных оксидов и концентрации редких и редкоземельных элементов в 80 пробах методами силикатного, спектрального, рентгенофлуоресцентного, ICP-MS анализов в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН (г. Иркутск), а также с использованием оборудования ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН (г. Иркутск). Изотопные Sm-Nd исследования проводились на многоколлекторном масс-спектрометре Finnigan MAT-262 в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН. U-Pb геохронологические исследования детритовых цирконов из пород харгитуйской и иликтинской свит выполнены в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН методом LA-ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7900 с эксимерным лазером Analyte Excite и ячейкой двойного объема HeIEx II. Изучение зерен детритового циркона из породы анайской свиты проводилось в ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, где U-Pb изотопный анализ циркона выполнен методом лазерной абляции на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединенным с приставкой для лазерного прибора UP-213.

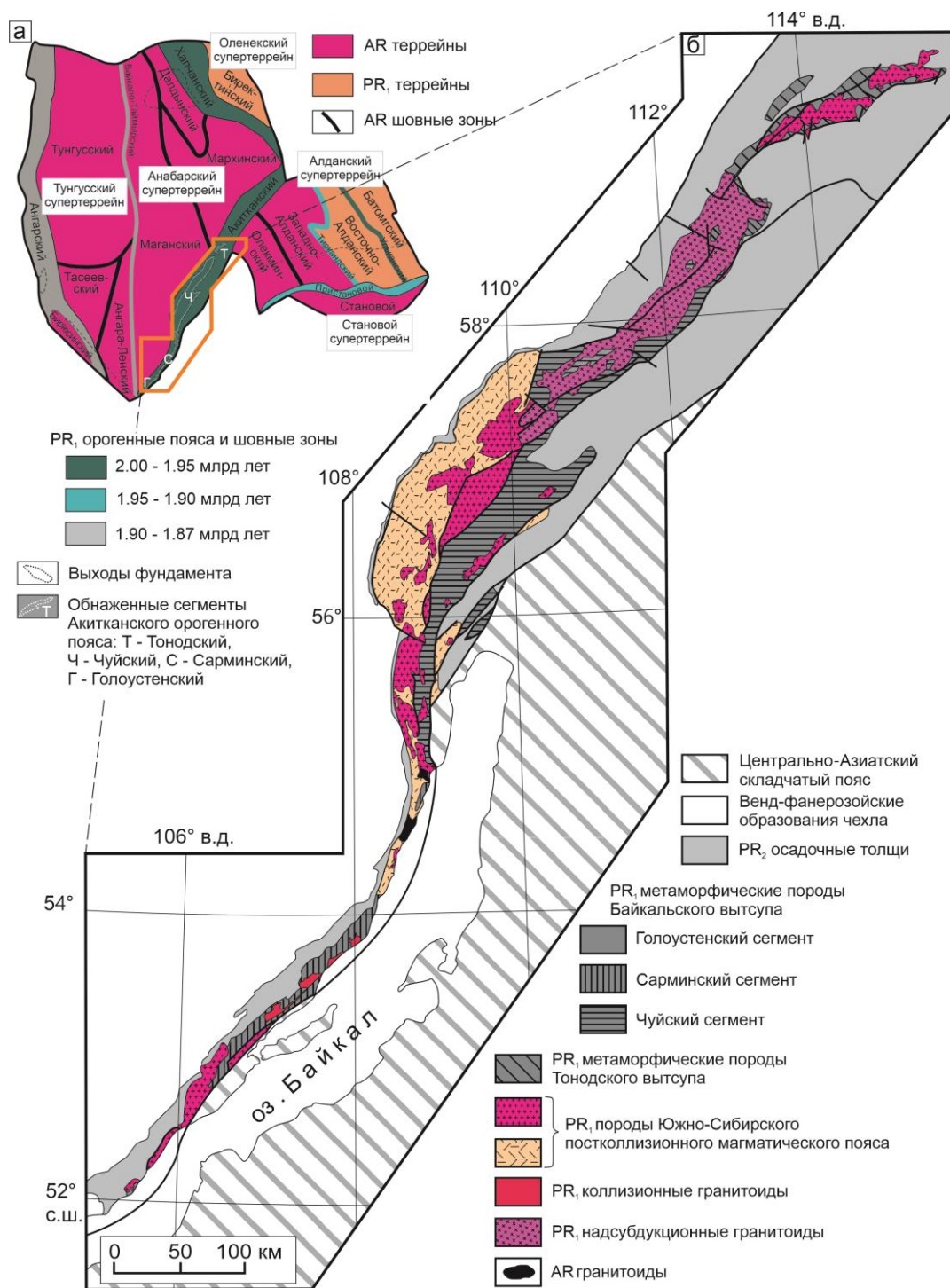


Рис. 1. Тектонические структуры Сибирского кратона (Донская, 2019; Donskaya, 2020) (а) и схема геологического строения Байкальского выстула фундамента Сибирской платформы (Донская, 2019) (б).

ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД БАЙКАЛЬСКОГО ВЫСТУПА

В центральной части Байкальского выстула фундамента Сибирской платформы залегают раннепротерозойские породы сарминской серии, которые простираются (с юга на север) от верховьев реки Анга до верховьев реки Бол. Анай. В публикациях разных исследователей (Мац и др., 1961; Калинина, Кульчицкий, 1964; Федоровский, 1985; Галимова и др., 2009) в составе сарминской серии выделялись разные свиты: харгитуйская и иликтинская (Калинина, Кульчицкий, 1964; Галимова и др., 2009), иликтинская и анайская (Федоровский, 1985), а также харгитуйская, иликтинская и голечная свиты (Мац и др., 1961).

3.1. Харгитуйская свита

Согласно (Галимова и др., 2009) харгитуйская свита выделяется в основании сарминской серии и залегает вдоль зоны раннепалеозойского коллизионного шва, отделяющего породы фундамента Сибирской платформы от раннепалеозойского Ольхонского террейна Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП). Разрез харгитуйской свиты включает в себя три подсвиты. Нижняя подсвита сложена биотитовыми, роговообманково-биотитовыми, двуслюдяными гнейсами и метариолитами, чередующимися между собой. Средняя подсвита представлена сланцами, слюдистыми кварцитами и метариолитами. Верхняя подсвита сложена кварцитами с прослоями кварцево-слюдистых сланцев. Породы свиты метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций (Галимова и др., 2009). В северной части распространения харгитуйской свиты на основании $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования для ее пород был установлен возраст метаморфизма, который оценивается в 1948 ± 8 млн лет (Савельева и др., 2019). Породы харгитуйской свиты также претерпели динамометаморфические преобразования, связанные с раннепалеозойской коллизией между Сибирским кратоном и ЦАСП.

Породы харгитуйской свиты были изучены на 6 участках, первые 3 из которых находятся к северу от пос. Онгурен, 2 участка – к югу от пос. Онгурен и еще один участок вблизи пос. Еланцы.

На самом северном участке из нижней части харгитуйской свиты был отобран образец лейкократового гнейса. Детритовые цирконы из этой пробы демонстрируют исключительно архейские максимумы с основным пиком на отметке 2985 млн лет, возраст наиболее молодых зерен циркона сосредоточен вблизи отметки 2695 млн лет (рис. 2а).

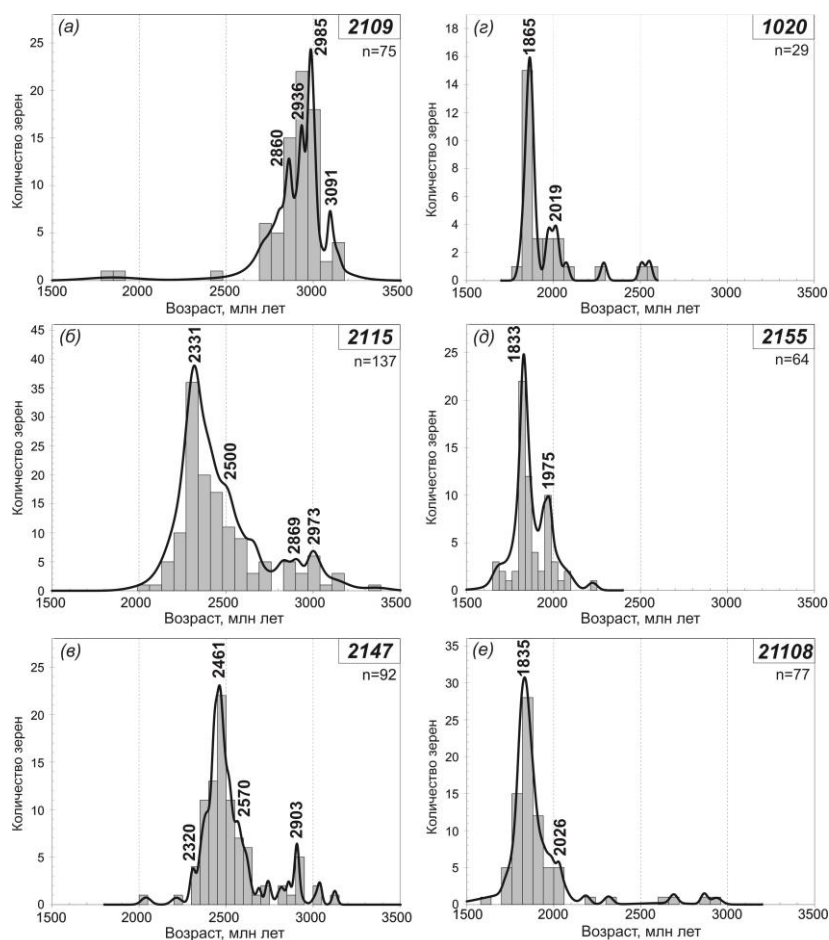


Рис. 2. Гистограммы и кривые относительной вероятности возраста детритовых цирконов из пород харгитуйской свиты.

На участках, расположенных также к северу от пос. Онгурен, были отобраны пробы слюдисто-кварцевых сланцев (верхняя часть харгитуйской свиты), цирконы из которых имеют как архейские, так раннепротерозойские значения возраста. Основные возрастные пики в этих двух пробах маркируют отметки 2330 и 2460 млн лет (рис. 2 б, в), самая молодая популяция циркона имеет возраст около 2150 млн лет.

В пробах слюдисто-кварцевых сланцев, отобранных к югу от пос. Онгурен, и кварците, отобранном вблизи пос. Еланцы (верхняя часть харгитуйской свиты), отмечаются цирконы только с раннепротерозойскими значениями возраста, а основные пики формируются в интервале 1833–1865 млн лет (рис. 2 г, д, е), возраст наиболее молодых зерен циркона соответствует отметке 1700 млн лет.

Анализ полученных результатов геохронологических исследований, совместно с данными геологических исследований, позволяет выделить среди изученных пород, рассматриваемых в составе единой харгитуйской свиты, 3 группы разновозрастных образований.

В первую группу выделяются породы, отобранные в самой северной точке, которые представлены лейкократовыми гнейсами и чьи зерна циркона имеют исключительно архейские возрастные пики. Период их формирования можно представить, как 2.7–2.5 млрд лет, что обосновывается возрастом наиболее молодой популяции цирконов и тем фактом, что в исследуемой пробе не встречаются зерна циркона с возрастными пиками в интервале 2.5–2.4 млрд лет и моложе, которые отмечаются в других исследованных пробах.

Во вторую группу объединяются кварциты и сланцы, отобранные к северу от пос. Онгурен, для которых характерно наличие двух разновозрастных пиков: 2331–2461 млн лет и 2903–2973 млн лет. Период накопления этих пород можно оценить, как 2.15–1.95 млрд лет, на основании возраста наиболее молодых цирконов и возраста метаморфизма, в который эти породы были вовлечены. Основанием для объединения данных пород в единую группу является также их близкое пространственное расположение и прорывание их раннепротерозойскими дайками долеритов и диоритов.

Отдельно, в третью группу, объединяются кварциты и сланцы, отобранные на территории южнее пос. Онгурен, чьи возрасты зерен детритового циркона формируют основной пик в диапазоне 1833–1865 млн лет и в которых встречаются зерна с возрастом около 1700 млн лет, указывая на то, что эти породы накапливались после внедрения гранитоидов Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса. Согласно геологическим данным, эти породы не прорываются раннепротерозойскими дайками долеритов и диоритов, а также дайками карбонатитов с возрастом 1.00 млрд лет, но они интродуцированы неопротерозойскими дайками долеритов с возрастом 720 млн лет (Гладкочуб и др., 2007; Ernst et al., 2023), что позволяет предполагать, что накопление этих пород происходило на этапе 1.00–0.72 млрд лет.

В соответствии с полученными результатами далее характеристика пород, относимых к харгитуйской свите, будет приведена с учетом обособившихся трех возрастных групп пород.

Породы **первой группы** в процессе полевых наблюдений были определены как лейкократовые гнейсы. В шлифах эти породы имеют гранобластовую структуру и полосчатую (гнейсовую) текстуру. Основными минералами гнейсов являются плагиоклаз, кварц и калиевый полевой шпат. Как второстепенные минералы в гнейсах встречается биотит, часто хлоритизированный, роговая обманка и рудный минерал. Вторичные минералы представлены хлоритом, серицитом и эпидотом. В качестве акцессорного минерала встречается циркон.

Среди пород **второй группы**, отобранных севернее пос. Онгурен, были изучены кварциты, слюдисто-кварцевые и плагиоклаз-слюдисто-кварцевые сланцы. Все разновидности пород имеют лепидогранобластовую структуру, текстура кварцитов, как правило, массивная или слабоориентированная, у сланцев – сланцеватая. Главными породообразующими минералами кварцитов являются кварц и слюды, среди которых встречаются мусковит, хлорит и/или биотит, также присутствуют немногочисленные зерна

плагиоклаза. Как акцессорные минералы в кварцитах могут присутствовать циркон, апатит, турмалин, рутил и рудный минерал. Слюдисто-кварцевые сланцы имеют схожий состав с кварцитами, отличаясь лишь бóльшим содержанием слюд. В составе плагиоклаз-слюдисто-кварцевых сланцев выделяются также кварц, слюды и плагиоклаз, который присутствует в большем количестве, чем в других разновидностях пород. В качестве акцессорных минералов отмечается циркон, апатит, эпидот и рудный минерал.

Среди пород **третьей группы** встречаются слюдисто-кварцевые сланцы и кварциты. Эти породы преимущественно состоят из кварца и слюд (мусковит, хлорит), в них не отмечается присутствие полевых шпатов. В качестве второстепенных минералов могут присутствовать эпидот и гранат. Акцессорные минералы представлены цирконом и титанитом. Структура пород – лепидогранобластовая, текстура – сланцеватая.

На классификационной диаграмме (Неелов, 1980) точки составов гнейсов **первой группы** попадают в поле полимиктовых алевролитов, а на диаграмме (Herron, 1988) – в поле вакк. Гнейсы характеризуются сильно фракционированными спектрами распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) с существенным преобладанием легких РЗЭ над тяжелыми. Европиевая аномалия практически отсутствует. Для исследуемых пород характерны низкие содержания Nb, Y и высокие концентрации Sr. Значение Nd модельного возраста $T_{Nd}(DM)$ в проанализированном образце лейкократового гнейса составляет 3.1 млрд лет. По своим геохимическим характеристикам и значениям Nd модельного возраста лейкократовые гнейсы обнаруживают значительное сходство с ТТГ-гранитоидами с возрастом 2.88 млрд лет Сарминского сегмента (Donskaya et al., 2009). На диаграммах $SiO_2/20-(K_2O+Na_2O)-(MgO+FeO^*+TiO_2)$ (Roser, Korsch, 1999), La/Th–Hf (Floyd, Leveridge, 1987), TiO_2-Zr (Hayashi et al., 1997) лейкократовые гнейсы располагаются в полях кислых магматических пород или вблизи них.

На классификационной диаграмме (Неелов, 1980) все точки составов кварцитов и слюдисто-кварцевых сланцев **второй группы** сосредоточены в поле кварцевых песчаников. Плагиоклаз-слюдисто-кварцевые сланцы на этой диаграмме попадают в поля полимиктовых песчаников и алевролитов. На диаграмме (Herron, 1988), кварциты и слюдисто-кварцевые сланцы попадают в поля сублититов и кварцевых аренитов, а плагиоклаз-слюдисто-кварцевые сланцы – в поле вакк. Кварциты и слюдисто-кварцевые сланцы характеризуются фракционированными спектрами распределения редкоземельных элементов, при крутом наклоне спектров в области легких РЗЭ и пологом наклоне в диапазоне тяжелых РЗЭ. Породы обнаруживают как отрицательную, так и слабopоложительную европиевую аномалию. Плагиоклаз-слюдисто-кварцевые сланцы обнаруживают более высокие содержания РЗЭ по сравнению с кварцитами и слюдисто-кварцевыми сланцами, при этом имеют параллельные им спектры РЗЭ. Расположение точек составов пород второй группы на диаграммах (Roser, Korsch, 1999; Floyd, Leveridge, 1987; Hayashi et al., 1997) указывает на то, что они накапливались за счет разрушения магматических пород преимущественно кислого состава, возможно, с небольшой долей участия материала из пород андезитового состава. Невысокие концентрации Zr и Hf в кварцитах и слюдисто-кварцевых сланцах свидетельствуют о том, что эти породы, вероятнее всего, не были подвержены сортировке и переотложению. Относительно зрелый характер пород второй группы позволяет предполагать, что осадконакопление этих пород происходило в спокойной геодинамической обстановке. Значения Nd модельного возраста $T_{Nd}(DM)$ в изученных образцах слюдисто-кварцевых сланцев составляют 3.0–3.1 млрд лет. Несмотря на то, что эти значения близки Nd модельному возрасту лейкократовых гнейсов первой группы, слюдисто-кварцевые сланцы имеют отличные от лейкократовых гнейсов линии эволюции изотопного состава Nd, что указывает на их различные коровые протолиты.

По классификации (Неелов, 1980) кварциты **третьей выделенной группы** соответствуют кварцевым песчаникам, а сланцы – олигомиктовым и слабожелезистым кварцевым песчаникам. На диаграмме (Herron, 1988) точки составов сланцев сосредоточены в полях лититов и сублититов, а кварциты – в полях субаркозов, кварцевых аренитов и

железистых песчаников. Для кварцитов и сланцев отмечаются фракционированные спектры распределения РЗЭ с отрицательной европиевой аномалией и наиболее пологими спектрами в области тяжелых РЗЭ среди всех изученных пород. Для пород третьей группы также характерны более высокие содержания Th, Nb, Y и La относительно пород второй группы. На диаграмме (Roser, Korsch, 1999) точки составов всех исследуемых пород этой группы смещены в поле зрелых образований. На диаграмме (Hayashi et al., 1997) точки составов пород третьей группы располагаются в поле кислых источников. Значения Nd модельного возраста $T_{Nd(DM)}$ в изученных слюдисто-кварцевых сланцах близки 2.6 млрд лет, что перекрывается с Nd модельным возрастом пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса (Donskaya, Gladkochub, 2021) и позволяет рассматривать их в качестве основных источников сноса. Высокая степень зрелости пород, относимых к третьей группе, в совокупности с временем их формирования, позволяет предполагать, что осадконакопление этих пород происходило в бассейнах внутриконтинентального растяжения, которые в пределах исследуемой территории начали формироваться в раннем неопротерозое.

3.2. Иликтинская свита

Иликтинская свита сарминской серии протягивается от верховьев р. Анга на юге до верховьев р. Бол. Анай на севере. Породы иликтинской свиты на всех исследованных участках были изучены в пределах верхней части свиты и представлены только терригенными породами.

Среди исследуемых пород во всех разрезах отмечались песчаники и сланцы. Песчаники имеют кварц-полевошпатовый или полевошпат-кварцевый состав. Среди второстепенных минералов могут обнаруживаться слюды (серицит, хлорит, мусковит, биотит), амфибол, калиевый полевой шпат, карбонат и рудный минерал. В песчаниках отмечаются обломки пород преимущественно гранитного состава. Среди исследуемых песчаников встречаются образцы с псаммитовой и бластопсаммитовой структурами и ориентированной или пятнистой текстурой, а более измененные разности пород имеют лепидогранобластовую структуру и сланцеватую текстуру. Сланцы имеют слюдисто-кварцевый состав. В породах на всех исследованных участках отмечаются в разной степени проявленные динамометаморфические преобразования, причем степень этих изменений хорошо коррелируется с близостью расположения пород относительно зоны раннепалеозойского коллизийного шва, соединяющего породы фундамента Сибирской платформы с породами раннепалеозойского Ольхонского террейна ЦАСП. Проведенные петрографические исследования позволяют предположить, что породы иликтинской свиты не были вовлечены в процессы регионального метаморфизма, проявившиеся на данной территории на временной отметке 1.95 млрд лет назад.

Породы двух выделенных на основании геологических и петрографических исследований групп, а именно группа песчаников и группа сланцев, обнаружили существенные различия петрохимических характеристик. Для песчаников характерны более высокие содержания SiO_2 и более низкие содержания Al_2O_3 и MgO по сравнению со сланцами. На классификационной диаграмме (Неелов, 1980) точки составов песчаников попадают в поля полимиктовых и граувакковых песчаников, а сланцы располагаются в полях полимиктовых и граувакковых алевролитов и алевропелитовых аргиллитов. На диаграмме (Herron, 1988) песчаники попадают преимущественно в поле вакк, а точки составов сланцев располагаются в поле глинистых сланцев. Породы иликтинской свиты характеризуются фракционированными спектрами распределения РЗЭ. Для всех пород наблюдается в разной степени выраженная отрицательная европиевая аномалия. Сланцы и песчаники имеют близкие содержания таких элементов как Th, La, Zr, Hf, которые не коррелируются с содержанием Al_2O_3 , но в то же время сланцы характеризуются преимущественно более высокими концентрациями Nb, Sc, V, Ni, Cr. Повышенные концентрации Al_2O_3 и при этом более высокие содержания TiO_2 , MgO , Nb, Sc, V, Ni, Cr в сланцах относительно песчаников, могут свидетельствовать о накоплении титана, магния и отмеченных редких элементов с

глинистой фракцией осадка в сланцах. Расположение точек составов песчаников и сланцев на диаграммах La/Th–Hf (Floyd, Leveridge, 1987) и Th/Sc–Zr/Sc (McLennan et al., 1993) указывает на их образование за счет разрушения пород кислого состава. Петрографические и геохимические данные, полученные для песчаников иликтинской свиты, свидетельствуют о низкой степени сортировки, слабой степени выветривания и небольшой дальности переноса обломочного материала, поступающего в область осадконакопления этих пород. Согласно расположению точек состава пород иликтинской свиты на диаграмме в координатах DF_1 – DF_2 (Verma, Armstrong-Altrin, 2013) формирование пород иликтинской свиты имело место в условиях континентального рифта. Таким образом, полученные данные в совокупности с незрелым характером терригенных пород иликтинской свиты позволяют предполагать, что породы свиты могли накапливаться как молассоидные образования в бассейнах, связанных с процессами растяжения.

Геохронологические исследования проводились для зерен детритового циркона, отобранных из трех проб песчаников. Во всех пробах основной возрастной пик формируется в интервале 1955–1989 млн лет (рис. 3).

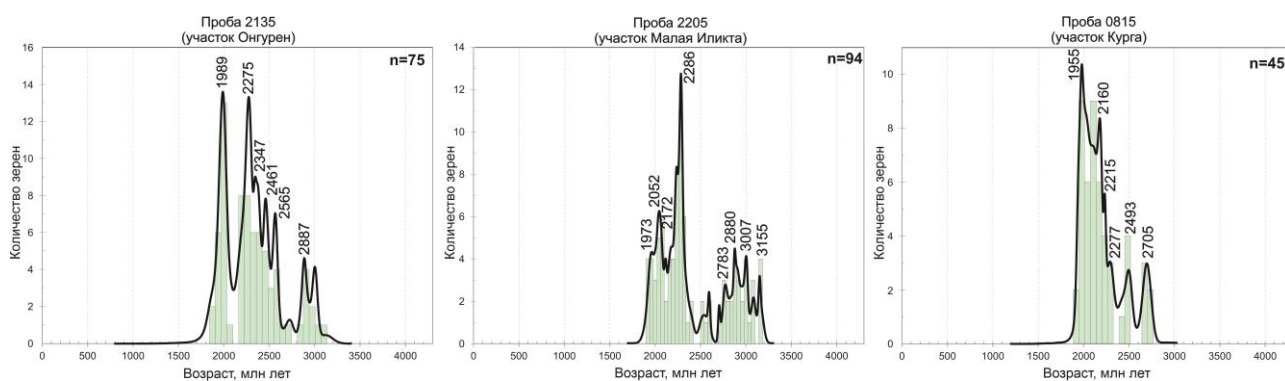


Рис. 3. Гистограммы и кривые относительной вероятности возраста детритовых цирконов из пород иликтинской свиты.

На основании данных о возрасте регионального метаморфизма (1.95 млрд лет), в который исследуемые породы не были вовлечены, а также с учетом возраста прорывающих породы иликтинской свиты гранитоидов (1.91 млрд лет) (Бибикова и др., 1987; Базарова, 2011) время накопления терригенных пород иликтинской свиты можно оценить в узком диапазоне 1.91–1.95 млрд лет. Полученные U–Pb геохронологические данные не противоречат этим выводам.

На основании всех проведенных исследований можно сделать вывод, что накопление терригенных пород иликтинской свиты происходило в пределах осадочных бассейнов, сформированных после завершения коллизионных событий и образования структуры Аkitканского орогенного пояса, а собственно породы иликтинской свиты можно рассматривать как индикаторы проявления орогенных событий, которые отражают эволюцию Аkitканского орогенного сооружения (рис. 4).

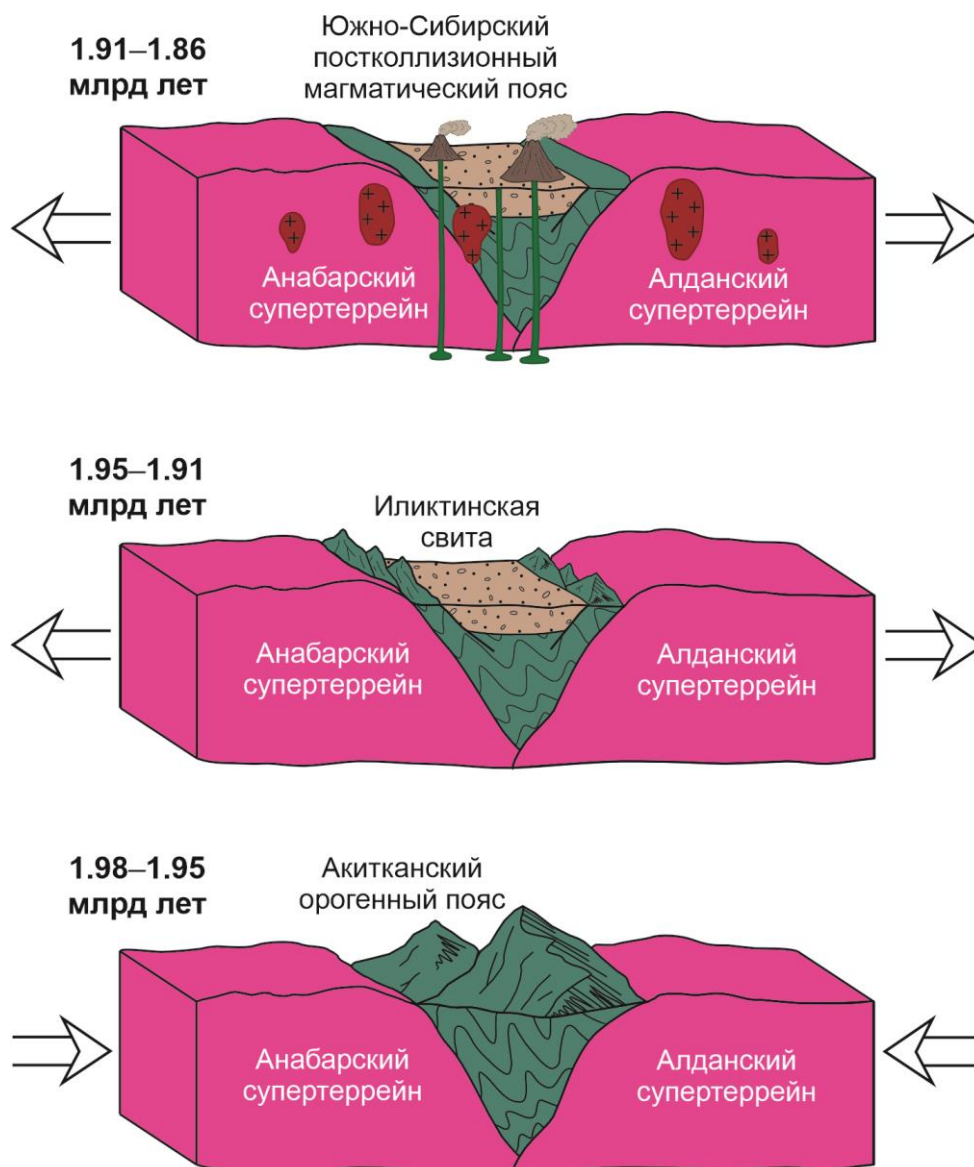


Рис. 4. Схема геодинамической эволюции Сарминского сегмента Акитканского орогенного пояса на временном интервале 1.98–1.86 млрд лет.

3.3. Анайская свита

Анайская свита была изучена по образцу сланца, отобранного из средней части разреза в пределах стратотипической местности – Анайских гольцов. Разрез анайской свиты имеет трехчленное строение. В нижней части разреза развиты конгломераты, песчаники и кварциты. Средняя часть сложена глиноземистыми и серицитовыми сланцами. Верхняя часть имеет существенно кварцитовый состав. Все породы интродированы многочисленными силлами и дайками долеритов, возраст которых на данной территории не установлен, но по аналогии с дайками долеритов Прибайкальского дайкового поля Западного Прибайкалья их возраст может оцениваться как неопротерозойский (Гладкочуб и др., 2007; Донская и др., 2023; Ernst et al., 2023). Положение анайской свиты в разрезе протерозоя Западного Прибайкалья наиболее неопределенно, поскольку часть исследователей считала, что анайская свита является фациальным аналогом терригенных пород акитканской серии (Головенко, 1977; Салоп, 1974), В.С. Федоровский (Федоровский, 1985) рассматривал анайскую свиту, как верхнюю часть раннепротерозойской сарминской серии, а другие исследователи относили анайскую свиту к возрастному срезу раннего рифея (Галимова и др., 2009; Александров и др., 1989).

Проведенные петрографические исследования показали, что отобранный образец анайской свиты представляет собой тонкозернистый кварц-серицит-хлоритовый сланец.

Согласно классификациям (Неелов, 1980; Herron, 1988) порода отвечает по составу пелитовому аргиллиту и глинистому сланцу. Кварц-серицит-хлоритовый сланец характеризуется фракционированным спектром распределения РЗЭ и хорошо выраженной отрицательной европиевой аномалией. Индикаторные значения отношений La/Sc и Th/Co (Cullers, 2002) в совокупности с отрицательной европиевой аномалией позволяют предполагать, что основным источником сноса для протолита исследуемого сланца были магматические породы кислого состава.

Проведенные геохронологические исследования для зерен детритового циркона из сланца анайской свиты показали, что большинство обломочных зерен циркона имеют возраст в диапазоне 1.88–1.84 млрд лет, а основной пик фиксируется на отметке в 1.86 млрд лет (рис. 5).

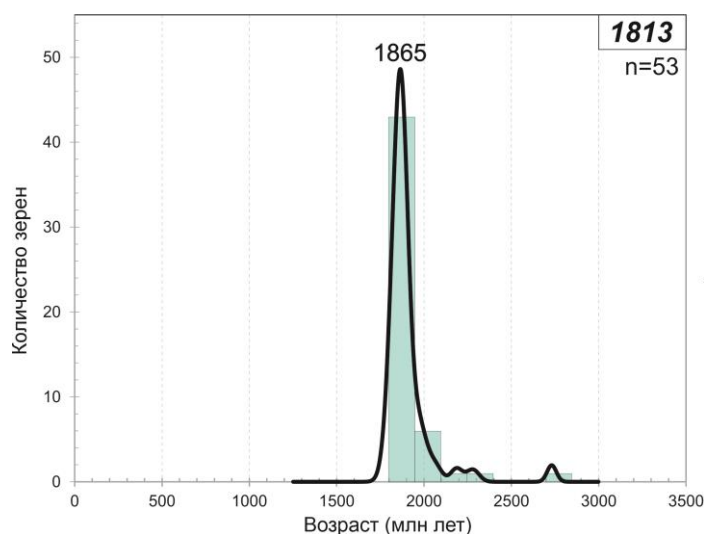


Рис. 5. Гистограмма и кривая относительной вероятности возраста детритовых цирконов из пород анайской свиты.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что породы анайской свиты накапливались после формирования пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, т.е. позднее временной отметки 1.84 млрд лет, а гранитоиды и кислые вулканы, входящие в его состав, являлись основными поставщиками терригенного материала в бассейн седиментации.

Среди изученных пород, относимых ранее к сарминской серии, образования анайской свиты оказались наиболее близки по геохронологическим и геохимическим характеристикам кварцитам и слюдисто-кварцевым сланцам третьей группы, относимой к харгитуйской свите. Также, по составу пород, геологическому положению и основным пикам возраста детритовых цирконов анайская свита обнаруживает сходство с породами пурпольской свиты Патомской зоны Саяно-Байкало-Патомского пояса (Митрифанова и др., 2012; Powerman et al., 2015), возраст формирования которых оценивается как тоний. Таким образом, основываясь на схожести литологического состава и степени зрелости пород анайской свиты с породами третьей группы, выделенной в составе харгитуйской свиты, а также на основании того, что породы анайской свиты не прорываются дайками карбонатитов с возрастом 1.00 млрд лет (Савельева и др., 2016), представляется наиболее вероятным рассматривать формирование пород третьей группы и пород анайской свиты одновременно в пределах одного или нескольких внутриконтинентальных бассейнов на временном интервале 1.00–0.72 млрд лет.

ГЛАВА 4. МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОГО ВЫСТУПА ФУНДАМЕНТА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Обобщение новых результатов и ранее опубликованных геохронологических данных о возрасте пород Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) позволяют обосновать основные этапы эволюции этой структуры (рис. 6).

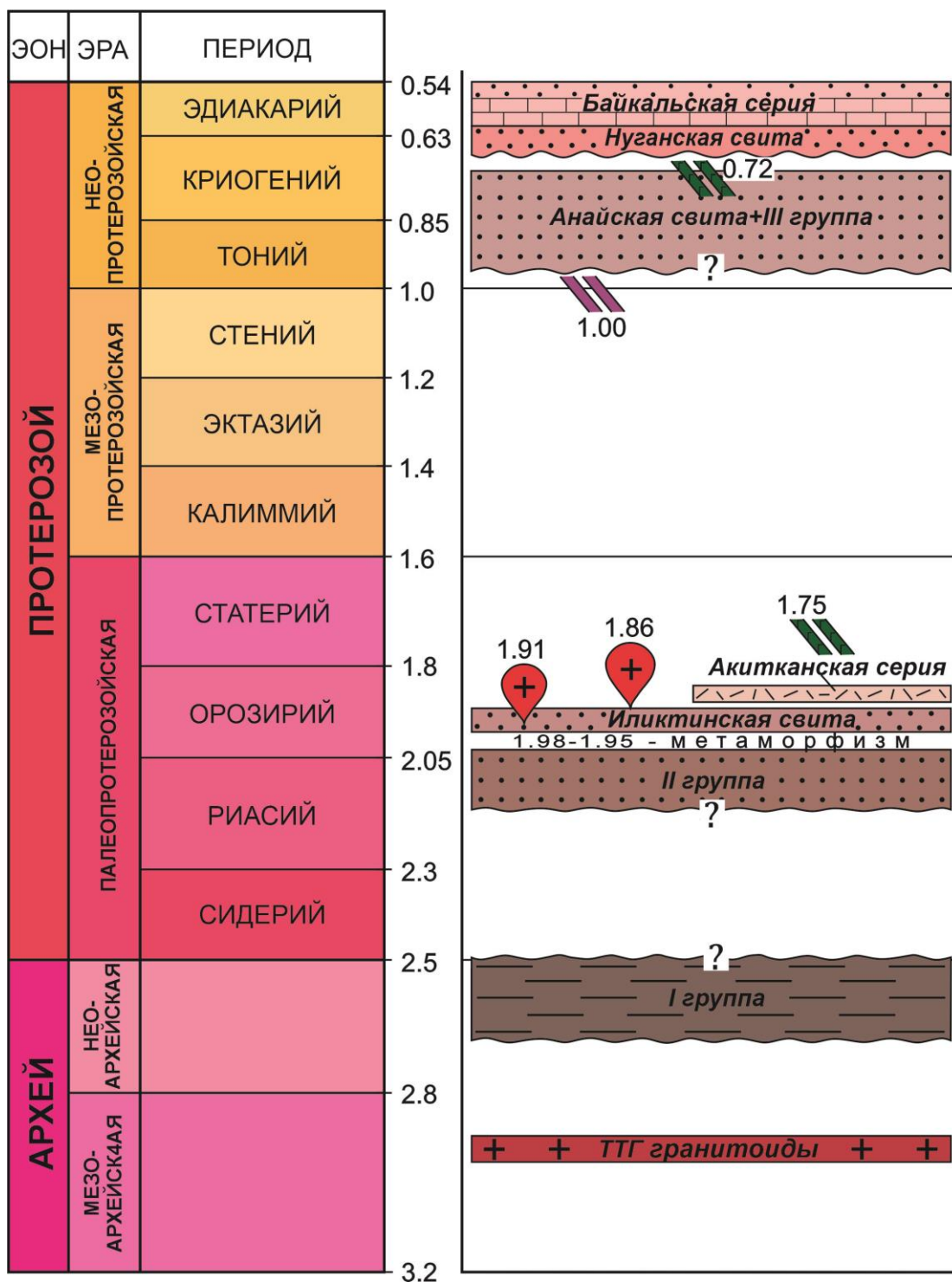


Рис. 6. Схема основных этапов эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса Сибирского кратона (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы).

На мезоархейском этапе (2.9 млрд лет) были сформированы гранитоиды ТТГ серии (Donskaya et al., 2009), которые представляли собой кристаллическое основание Сарминского сегмента, являющегося на тот момент отдельным тектоническим блоком, на котором в интервале 2.7–2.5 млрд лет, преимущественно за счет разрушения гранитоидов ТТГ серии, накапливались полимиктовые песчаники и граувакки, представляющие собой протолиты лейкократовых гнейсов первой группы, относимой к харгитуйской свите.

Далее на временном этапе 2.15–1.95 млрд лет назад происходило накопление зрелых терригенных пород, относимых ко второй группе, которые в составе харгитуйской свиты сарминской серии представлены кварцитами, слюдисто-кварцевыми и плагиоклаз-слюдисто-кварцевыми сланцами. Формирование этих пород происходило также в пределах отдельного на тот момент Сарминского блока.

Немного позднее, но в пределах этого же временного интервала (2.02–2.00 млрд лет) вблизи архейского Анабарского супертеррейна происходит субдукция океанической коры раннепротерозойского океана под этот супертеррейн. В пределах Аkitканского орогенного пояса образования активной континентальной окраины фиксируются в пределах Чуйского и Голоустенского сегментов (Донская и др., 2016; Donskaya, 2020). В пределах Сарминского сегмента комплексов активной континентальной окраины не отмечается. Завершились процессы субдукции коллизией Анабарского и Алданского супертеррейнов и формированием Аkitканского орогенного пояса, в структуре которого были объединены породы Сарминского, Голоустенского и Чуйского блоков. Этот крупномасштабный процесс маркируется проявлением регионального метаморфизма на этапе 1.98–1.95 млрд (Донская и др., 2016; Савельева и др., 2019; Donskaya, 2020), и, непосредственно, в породах харгитуйской свиты, распространенных к северу от пос. Онгурен, фиксируется на временной отметке 1.95 млрд лет (Савельева и др., 2019).

После окончательного становления Аkitканского орогенного пояса и завершения процессов коллизии произошел коллапс Аkitканского орогена, и в пределах Сарминского сегмента начали формироваться внутриконтинентальные бассейны, в которых накапливались молассоидные отложения иликтинской свиты (1.95–1.91 млрд лет) (Ефремова и др., 2024). Процессы коллапса орогена завершились постколлизийным растяжением и привели к проявлению масштабного гранитоидного магматизма на временном интервале 1.88–1.84 млрд лет в пределах Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, который прослеживается вдоль всей южной окраины Сибирского кратона (Ларин и др., 2003; Диденко и др., 2003; Donskaya, 2020; Donskaya, Gladkochub, 2021). В пределах Сарминского сегмента к породам Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса относятся кислые вулканиты аkitканской серии (1.88–1.84 млрд лет (Ларин и др., 2003; Донская и др., 2008)), перекрывающие раннепротерозойские образования сарминской серии, а также гранитоиды приморского и ирельского комплексов (1.86 млрд лет (Донская и др., 2003; Poller et al., 2005)), которые интродуцируют породы двух наиболее древних групп, относимых к харгитуйской свите, и породы иликтинской свиты. Финальным этапом раннепротерозойской эволюции Сарминского сегмента и всего Аkitканского орогенного пояса является внедрение даек долеритов чайского комплекса с возрастом 1.75 млрд лет (Gladkochub et al., 2010b, 2019a), которые прорывают породы Сарминского и Чуйского сегментов.

После завершения становления структуры Сибирского кратона, согласно (Gladkochub et al., 2010a), в пределах его южной окраины фиксируется длительный перерыв в магматической активности и, как следствие, период геодинамического покоя и высокого стояния суши. Перерыв в тектономагматической активности в этом временном интервале связывается с тем, что южная окраина Сибири в рассматриваемый период времени занимала внутреннее положение в пределах существовавших в то время суперконтинентов Колумбии, а затем и Родинии (Gladkochub et al., 2010a; Zhang et al., 2012; Pisarevsky et al., 2021; Li et al., 2023), а отсутствие мезопротерозойских осадочных комплексов связано с активными процессами эрозии. В пределах Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса этот перерыв отмечается в период от 1.75 до 1.00 млрд лет. Только в начале неопротерозоя

начинают проявляться процессы внутриконтинентального растяжения, которые в пределах Сарминского сегмента проявились приблизительно на отметке в 1 млрд лет, что обосновывается внедрением даек карбонатитов этого возраста (Савельева и др., 2016). С началом процессов растяжения начинают формироваться внутриконтинентальные бассейны. Именно с началом этого периода связано накопление зрелых осадков анайской свиты (Ефремова и др., 2023), а также кварцитов и сланцев третьей группы, выделенной в составе харгитуйской свиты, на временном интервале 1.00–0.72 млрд лет (Efremova et al., 2024).

К концу тония – началу криогения процессы растяжения становятся более широко проявленными в пределах всей южной части Сибирского кратона и фиксируются внедрением роев даек долеритов (Иркутская крупная магматическая провинция) с возрастом 720–715 млн лет, в том числе и в пределах Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса (Гладкочуб и др., 2007; Донская и др., 2023; Ernst et al., 2016, 2023). В это же время начинают формироваться рифтовые бассейны, в том числе в пределах Сарминского сегмента начинают накапливаться терригенные осадки нуганской свиты (Мазукабзов и др., 2018). Масштабные процессы внутриконтинентального растяжения привели к отделению Сибирского кратона от суперконтинента Родиния и к открытию Палеоазиатского океана (Gladkochub et al., 2019b). Открытие Палеоазиатского океана на временном интервале 710–650 млн лет привело к формированию пассивной континентальной окраины вдоль южного края Сибирского кратона, индикаторами которой являются породы нижней части байкальской серии, широко распространенные в пределах сарминского сегмента Байкальского выступа (Gladkochub et al., 2019b). В венде пассивная континентальная окраина сменяется форландовыми бассейнами, в которых накапливались породы верхней части байкальской серии (Gladkochub et al., 2019b).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения данного исследования впервые были получены комплексные петрографические, геохимические и геохронологические данные для пород харгитуйской, иликтинской и анайской свит Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса (центральная часть Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) с использованием современных аналитических методов. Полученные данные дали возможность охарактеризовать состав, время формирования и условия осадконакопления пород этих свит. Результаты проведенного исследования позволили восполнить «пробелы» в истории геодинамической эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса, а с использованием уже известных опубликованных данных была предложена модель геодинамической эволюции центральной части Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы в протерозойское время.

Наиболее важные результаты:

1. Выявлено и обосновано, что в единую харгитуйскую свиту сарминской серии были объединены три разновозрастные толщи пород, формирование которых происходило на абсолютно разных этапах эволюции Сарминского сегмента. Формирование наиболее древних пород, изученных в составе харгитуйской свиты, происходило на временном интервале 2.7–2.5 млрд лет назад, что обосновывается возрастом наиболее молодой популяции обломочного циркона и отсутствием цирконов с возрастом 2.5 млрд лет и моложе, распространенных в других исследованных породах сарминской серии. Накопление кварцитов и сланцев второй обособленной группы пород происходило на этапе 2.15–1.95 млрд лет назад. Нижняя граница осадконакопления этих пород подтверждается возрастом наиболее молодых зерен детритового циркона, а верхняя граница проводится в соответствии с установленным возрастом метаморфизма (1.95 млрд лет), в который эти породы были вовлечены. Формирование наиболее молодой – третьей – группы пород, представленной также кварцитами и сланцами, происходило на временном интервале 1.00–0.72 млрд лет. Полученные данные по возрасту зерен детритового циркона из этих пород позволили

установить, что накопление этих пород началось после временной отметки в 1.7 млрд лет, а совокупность геологических данных, свидетельствующих о том, что породы третьей группы не интродуцированы дайками карбонатитов с возрастом 1.00 млрд лет и прорываются дайками долеритов с возрастом 0.72 млрд лет, позволила сузить интервал осадконакопления до тонийского времени.

2. Изученные разрезы иликтинской свиты сарминской серии сложены преимущественно песчаниками с прослоями сланцев. Петрографические и петрохимические характеристики позволяют рассматривать песчаники иликтинской свиты как полимиктовые и граувакковые песчаники, а сланцы как граувакковые алевролиты и алевропелитовые аргиллиты. Установлено, что породы иликтинской свиты не были подвержены раннепротерозойскому региональному метаморфизму, а вторичные изменения в породах отражают в разной степени проявленную метаморфическую переработку, связанную с раннепалеозойскими коллизийными событиями. На основании данных о возрасте регионального метаморфизма, а также с учетом возраста прорывающих породы иликтинской свиты гранитоидов, время накопления иликтинской свиты можно оценить в узком диапазоне 1.95–1.91 млрд лет. Полученные данные по возрасту детритовых цирконов из песчаников иликтинской свиты не противоречат сделанным выводам, поскольку самые молодые зерна детритового циркона имеют возраст в интервале 1.99–1.95 млрд лет. В результате проведенных исследований было установлено, что основными источниками обломочного материала для терригенных пород иликтинской свиты могли являться кислые магматические и метаморфические породы раннепротерозойского Аkitканского орогенного пояса при некотором добавлении материала из пород Анабарского и Алданского супертеррейнов. Анализ геодинамических условий осадконакопления в совокупности с петрографическими и геохимическими характеристиками пород позволили сделать вывод, что породы иликтинской свиты сарминской серии могли накапливаться как молассоидные образования в осадочных бассейнах, сформированных после образования Аkitканского орогенного сооружения.

3. Установлено, что породы анайской свиты не могут рассматриваться в составе раннепротерозойской сарминской серии, поскольку возраст основной популяции зерен детритового циркона составляет 1.86 млрд лет, что указывает на формирование этих пород после внедрения пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса, а также позволяет рассматривать породы этого пояса как основные источники обломочного материала для терригенных пород анайской свиты. На основании геологического положения, состава пород и геологических корреляций установлено, что накопление высоко зрелых пород анайской свиты происходило одновременно с породами третьей группы, выделенной в составе харгитуйской свиты, на временном интервале 1.00–0.72 млрд лет во внутриконтинентальных бассейнах.

4. Результаты проведенных исследований позволяют охарактеризовать важные этапы эволюции Сарминского сегмента Аkitканского орогенного пояса. Около 2.9 млрд лет назад происходило образование архейского блока, далее, на этапе 2.7–2.5 млрд лет, имело место накопление первых незрелых осадочных толщ на архейском основании. Временной интервал 2.15–1.95 млрд лет характеризуется накоплением зрелых пород раннепротерозойского чехла, которые на этапе 1.98–1.95 млрд лет были вовлечены в процессы регионального метаморфизма, связанного с формированием Аkitканского орогенного пояса, как единой структуры. Период 1.95–1.91 млрд лет связан с накоплением терригенных толщ в обстановке растяжения, обусловленного коллапсом Аkitканского орогена. На временном интервале 1.88–1.84 млрд лет процессы растяжения привели к широкомасштабному проявлению постколлизийного магматизма, после которого в пределах рассматриваемой территории отмечается длительный перерыв в осадконакоплении, и только на этапе 1.00–0.72 млрд лет происходит накопление зрелых терригенных толщ во внутриконтинентальных бассейнах.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П., Хубанов В.Б. Положение анайской свиты в разрезе протерозоя Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы // Геодинамика и тектонофизика. – 2023. – Т. 14. – № 2. – 0695.
2. Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Демонтерова Е.И., **Ефремова У.С.** Геохимические критерии разделения протерозойских долеритов даек центральной части Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона // Геохимия. – 2023. – Т. 68. – № 5. – С. 488–507.
3. **Efremova U.S.**, Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Ivanov A.V., Bryansky N.V. Division of the Early Proterozoic Khargitui Formation of the Sarma Group (Akitkan Orogenic Belt, Siberian Craton) into different age sequences based on the results of U–Pb isotopic analysis of zircon // Doklady Earth Sciences. – 2024. – V. 517. – No. 1. – P. 1119–1125.
4. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Иванов А.В., Брянский Н.В. Раннепротерозойские отложения иликтинской свиты как индикаторы эволюции Аkitканского орогена (юг Сибирского кратона) // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – № 5. – С. 631–654.
5. Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Бадашкова Е.Е., Мазукабзов А.М., Ковач В.П., **Ефремова У.С.** Возраст и петрогенезис раннепротерозойских диоритов даек Байкальского выступа фундамента Сибирского кратона // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65. – № 11.

Тезисы докладов и материалы конференций:

1. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Ван К.-Л., Ли Х.-Я. Особенности состава и возраста метаморфических пород харгитуйской свиты (Западное Прибайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 19. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. – С. 86–88.
2. **Ефремова У.С.** Петрографическая характеристика и оценка возраста метаморфических пород харгитуйской свиты Западного Прибайкалья // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 11–16 мая 2021 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. – С. 100–102.
3. **Ефремова У.С.** Петрографо-геохимическая характеристика метаморфических пород харгитуйской свиты Западного Прибайкалья // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: мат-лы VI Всерос. молодежной науч. конф., посвящ. памяти академика Н.Л. Добрецова (23–27 августа 2021 г., Улан-Удэ – Горячинск). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2021. – С. 46–48.
4. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Мазукабзов А.М. Новые данные о возрасте пород анайской и харгитуйской свит Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы // Геологический Международный студенческий саммит = Geological International student summit: сборник материалов, 9 апреля 2022 г., Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург: Первый ИПХ, 2022. – С. 21–26.
5. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Брянский Н.В. Состав, U–Pb возраст детритовых цирконов и источники вещества терригенных пород иликтинской свиты (Западное Прибайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Вып. 20. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2022. – С. 101–104
6. **Efremova U.S.**, Donskaya T.V. Petrography, U–Pb detrital zircon geochronology and provenance of the Pikta formation of the Siberian craton (Western Baikal area) // X International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13–17 June 2022, Novosibirsk, Russia). – Novosibirsk: IPC NSU, 2022. – P. 132–133.

7. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Иванов А.В., Брянский Н.В. Оценка возраста детритовых цирконов как инструмент в разделении сильно дислоцированных метаморфических толщ (на примере харгитуйской свиты Байкальского выступа фундамента Сибирской платформы) // VIII Российская конференция по изотопной геохронологии (Санкт-Петербург, 7–10 июня 2022 г.). – СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2022. – С. 52–54.

8. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В. U-Pb возраст детритовых цирконов, состав и источники вещества терригенных пород иликтинской свиты (Западное Прибайкалье) // Geological international student summit 2023. Геологический международный студенческий саммит 2023: Материалы конференции (6–10 апреля 2023 года, Санкт-Петербург). – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2023. – С. 213–216.

9. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Иванов А.В., Брянский Н.В. U-Pb возраст детритовых цирконов из протерозойских пород харгитуйской свиты (Западное Прибайкалье) // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 16–21 мая 2023 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. – С. 94–96.

10. **Ефремова У.С.**, Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Иванов А.В., Брянский Н.В. Обоснование выделения трех разновозрастных толщ в составе харгитуйской свиты сарминской серии (Западное Прибайкалье) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научной конференции. Вып. 21. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2023. – С. 103–105.