

На правах рукописи



ИВАНОВ Александр Владимирович

**СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ
ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА
КОНГЛОМЕРАТОВ РАННЕГО ПАЛЕОЗОЯ ЮГА
ТУВЫ**

1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические
методы поисков полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук»

Научный руководитель **Летникова Елена Феликсовна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник ИГМ СО РАН

Официальные оппоненты: **Воронцов Александр Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ИГХ СО РАН

Третьяков Андрей Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ГИН РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЗК СО РАН), г. Иркутск

Защита диссертации состоится **4 октября 2023 г. в 14 часов** на заседании диссертационного совета 24.1.050.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук» по адресу: 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissovet/d-003-067-02>

Автореферат разослан 24 августа 2023 г.

Ученый секретарь совета, д.г.-м.н.



Гаськова О.Л.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) широко распространены островодужные комплексы позднедокембрийского и раннепалеозойского возраста, включающие породы магматических дуг, аккреционных призм, преддуговых и задуговых бассейнов [Берзин и др., 1994; Гордиенко, 2004, 2019]. В Тувинском сегменте ЦАСП эти комплексы слагают протягивающуюся более чем на 600 км раннепалеозойскую Таннуольско-Хамсаринскую систему, имеющую продолжение на юге в Озерной зоне Монголии. Основной объем этой системы (Хамсаринский, Уюкский, Каахемский и Таннуольский террейны) сложен вулканическими комплексами и близкими по возрасту гранитоидами, состав которых позволяет идентифицировать их как палеостроводужные структуры [Монгуш и др., 2011; Козаков и др., 2017; Руднев и др., 2015, 2020; Ветров и др., 2019, 2021 и др.]. В непосредственном контакте с этими структурами находится Агардагская зона офиолитов и меланжа [Монгуш и др., 2011а; Симонов и др., 2010]. Восточнее этой зоны выделяется Эрзинский метаморфический комплекс [Козаков и др., 2005, 2017, 2021]. Существующие представления о тектоническом строении Тувинского сегмента ЦАСП основаны на изучении исключительно магматических и метаморфических пород. При этом в осадочных и осадочно-вулканогенных разрезах раннего палеозоя в пределах южной части Тувы встречаются в достаточном большом количестве горизонты и толщи грубообломочных пород, в основном, конгломератов. В отличие от более мелкозернистых обломочных отложений, изучение слагающих их галек и валунов, а также матрикса дает прямую информацию о составе и возрасте пород питающих провинций. С этим типом отложений в мире связаны крупные месторождения золота, марганца, железа, урана, меди, серебра, полиметаллов, РЗЭ и др. В настоящий момент этот класс осадочных пород полностью выпадает из исследований Тувинского сегмента ЦАСП. Отсутствие данных об обстановках седиментации, составе и возрасте пород источников сноса в пределах этого сегмента складчатого пояса не позволяет проводить корректные геодинамические реконструкции, региональные и глобальные корреляции, металлогенический прогноз. Все это делает крайне актуальной проблему изучения грубообломочных пород.

Объектами исследования стали раннепалеозойские конгломераты терегтигской, шурмакской и адырташской свит юга Тувы. Были изучены матрикс и обломочная часть этих грубообломочных пород, а также породы из разрезов, дающие информацию о возрасте и обстановках формирования осадочных и вулканогенно-осадочных последовательностей: карбонатные породы и кварцевые гравелиты терегтигской свиты, туфы и вулканиты шурмакской и адырташской свит.

Цель исследования – установить состав, возраст и источники обломочного материала конгломератов осадочных и вулканогенно-осадочных последовательностей раннего палеозоя юга Тувы.

Задачи исследования:

1. Изучение геологического строения осадочных и вулканогенно-осадочных комплексов юга Тувы, в составе которых присутствуют конгломераты различного генезиса;

2. Петрографическое и минералогическое исследование состава, текстур и структур обломков и матрикса, в том числе, с помощью поляризационного и сканирующего электронного микроскопов. Выделение основных литотипов среди обломков конгломератов;

3. Геохимическое и изотопное (Sm-Nd) изучение пород, в том числе, матрикса и обломков грубообломочных пород в выделенных литотипах. Геохронологическая и изотопная (Rb-Sr, C и O) оценка возраста изучаемых осадочно-вулканогенных толщ, а также магматических и вулканических пород, представленных в обломках конгломератов и их матрикса, на основе U-Pb датирования методом LA ICP-MS;

4. Реконструкция состава и возраста пород раннепалеозойского эрозионного среза при седиментации конгломератов юга Тувы на основе проведенных петрографических, минералогических, геохимических, изотопных и геохронологических исследований.

Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора.

В работе использована коллекция образцов, отобранная автором совместно с сотрудниками лаборатории литодинамики осадочных бассейнов в ходе экспедиционных работ 2015-2022 гг., а именно: 79 образцов из шурмакской свиты, 69 образцов из терегтигской свиты и 92 образца из адырташской свиты. В ходе исследования для 215 образцов были изучены петрографические шлифы, для 174 образцов определены содержания петрогенных элементов, для 136 образцов – редких и рассеянных элементов, для 56 – редкоземельных элементов. Также было проведено U-Pb изотопное датирование циркона для 26 проб методом LA ICP-MS, при этом было изучено внутреннее строение циркона на изображениях, полученных катодолюминесцентным методом (CL) для 812 зерен этого минерала. Для 9 проб карбонатных пород получен их изотопный состав C и O, для 6 проб – данные Sr-изотопии; для 8 образцов проведен Sm-Nd изотопный анализ и для 6 проб – изучение их минерального состава с помощью электронного сканирующего микроскопа (СЭМ) TECSCAN MIRA.

Содержания петрогенных компонентов определены методом РФА на спектрометре ARL-9900, редких и редкоземельных элементов – методом ICP-MS на масс-спектрометре Finnigan Element в ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск. Внутреннее строение цирконов было изучено на сканирующих электронных микроскопах JEOL JSM 6510LV и LEO 1430VP с катодолюминесцентной приставкой Detector Centaurus, ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск. U-Pb геохронологические исследования проводились методом LA-ICP-MS на масс-спектрометре Element XR (Thermo Finnigan), ГЕОХИ РАН, Москва, на масс-спектрометре Thermo Scientific Element XR, ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, Новосибирск. Sm-Nd изотопно-геохимические исследования выполнены в ГЕОХИ РАН на многоколлекторном масс-спектрометре Triton.

Основные защищаемые положения

1. Осадочные породы терегтигской свиты накапливались в раннем кембрии 520-530 млн лет назад в обстановках шельфа. Источниками сноса для конгломератов этой свиты служили породы нео-, мезо-, палеопротерозоя, в том числе, офиолиты Агардагского комплекса и породы вулканоплутонической серии с возрастом 574-580 млн лет.

2. Вулканогенно-осадочные породы шурмакской свиты образовались 500 млн лет назад в пределах докембрийского блока земной коры. Обломочный материал туфоконгломератов этой свиты представлен продуктами синхронного вулканизма и обломками более древних пород, в том числе, неопротерозойских гранитоидов.

3. Разрез адырташской свиты в междуречье рек Деспен и Холу представлен вулканическими породами, в том числе туфоконгломератами. Установлено вулканическое событие в интервале 444-463 млн лет и выделено три эпизода его вулканической активности. Обломочный материал туфоконгломератов и вулканические породы в разрезе относятся к единой вулканоплутонической серии.

Научная новизна. Впервые проведено петрографическое, геохимическое и изотопное изучение осадочных и вулканогенно-осадочных комплексов юга Тувы, в составе которых присутствуют конгломераты различного генезиса. На основе этих исследований определено время образования осадочно-вулканогенных последовательностей терегтигской, шурмакской, адырташской свит. Установлено, что грубообломочные породы шурмакской и адырташской свит не являются осадочными отложениями, а образовались в результате вулканической деятельности и представляют собой туфоконгломераты. Sm-Nd-изотопное и геохронологическое изучение обломочного материала грубозернистых пород и пород из разрезов всех трех свит показали, что при формировании терегтигской, шурмакской и адырташской свиты принимали участие породы нео-, палеопротерозоя и, реже, архея, находившихся на эродируемой поверхности и/или в погребенном залегании, где были захвачены при подъеме магм при вулканической деятельности. Это указывает на формирование изучаемых свит в пределах блока земной коры с длительной историей развития.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований позволяют более точно охарактеризовать раннепалеозойскую историю развития тектонических структур юга Тувы, что будет способствовать более корректной металлогенической оценке этой территории, а также могут быть использованы при геолого-съемочных и геолого-поисковых работах.

Апробация работы.

По теме диссертации опубликовано 20 работ, из них 8 статей в российских рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Основные положения работы прошли апробацию в ходе очного участия на 6 российских и международных конференциях: IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2018), XLIX, L, LII Тектонических

совещаниях (2017, 2018, 2020 гг.), IX Всероссийском литологическом совещании «Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей» (Казань, 2019), VIII Российской конференции по изотопной геохронологии (Санкт-Петербург, 2022), VI Международной научной конференции «Геодинамика и минерагения Северной Евразии» (Улан-Удэ, 2023).

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения общим объемом 192 страницы. В ней содержится 104 рисунка, 8 таблиц и 25 приложений. Список литературы включает 117 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Е.Ф. Летниковой за помощь на всех этапах работы, ценные консультации, обсуждения и поддержку при подготовке диссертации. Глубоко признателен за участие в совместных полевых работах в Туве к.г.-м.н. С.И. Школьник, а также А.И. Прошенкину и К.К. Колесову.

Важными при проведении данного исследования стали рекомендации к.г.-м.н. Е.В. Ветрова при выборе и полевом изучении конгломератов адырташской свиты и А.А. Котлярова при выборе тереттигской свиты как объекта исследования. Ценными для автора стали консультации и обсуждения с д.г.-м.н. А.Э. Изохом проблем раннепалеозойского магматизма Тувы. Признателен к.г.-м.н. И.А. Избродину за обсуждения результатов кандидатской диссертации. Автор искренне благодарен всем за это сотрудничество.

На заключительном этапе подготовки диссертационной работы автор признателен к.г.-м.н. Н.И. Ветровой и к.г.-м.н. А.Р. Агатовой за моральную поддержку и методические рекомендации в оформлении диссертации.

Автор отдельно благодарен Дмитрию Николаевичу Шаповалову за плодотворные и объёмные дискуссии, а также формирование представления о геологической истории развития Тувинского сегмента ЦАСП.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЮГА ТУВЫ

В юго-восточной части Тувы выделяется Таннуольская зона, где широко распространены породы раннепалеозойских островодужных структур, которые тектонически совмещены с комплексами офиолитовых пород и высокоградными метаморфитами [Берзин и др., 1994]. В этой главе рассмотрены существующие представления об осадочных, магматических и метаморфических сериях раннего палеозоя, участвовавших в сложноскладчатом мозаичном строении этих тектонических блоков юга Тувы.

Проведенный обзор современного состояния геологического изучения магматических комплексов южной и сопредельных частей Тувинского сегмента ЦАСП показал существующую неопределенность в оценке природы земной коры в ее строении [Изох и др., 2001; Куренков и др., 2002; Pfander et al., 2002; Козаков и др., 2005; Шелепаев, 2006; Овчинникова и др., 2009;

Симонов и др., 2010; Гибшер и др., 2012; Владимиров и др., 2013; Ветров и др., 2019; Кузнецова и др., 2021 и др.]. На основе данных о происхождении магматических пород нормальной щелочности и щелочных нельзя однозначно судить о преобладании в этом регионе только пород островодужных структур. Показано отсутствие данных минералогических, геохимических и изотопных исследований для осадочных комплексов юга Тувы.

ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД ЮГА ТУВЫ

В главе 2 приведен обзор результатов исследований конгломератов в современной мировой практике [Turner, 2010; Козаков и др., 2013; Yaseen et al., 2013; Wang et al., 2013; Santos et al., 2014; Хисамутдинова и др., 2015; Lamminen et al., 2015; Figueiredo et al., 2016; Mtelela et al., 2016; Никишин и др., 2016; Прокопьев и др., 2016; Uhlein et al., 2017; Zhao et al., 2017; Schobel et al., 2017; Obrist-Farner et al., 2017; Hinchey, 2021 и др.]. Показано, что конгломераты являются индикаторными при диагностике обстановок континентального рифтогенеза и информативными при реконструкции состава и возраста пород питающих провинций, востребованы в мировой практике при палеореконструкциях. При этом грубообломочные породы, при их наличии в разрезах, являются одним из основополагающих источников информации при последующих тектонических построениях и обосновании металлогенической специализации определенных структур.

В работе использованы коллекции образцов отобранные автором из разрезов раннего палеозоя юга Тувы – терегтигской, шурмакской и адырташской свит (рис. 1).

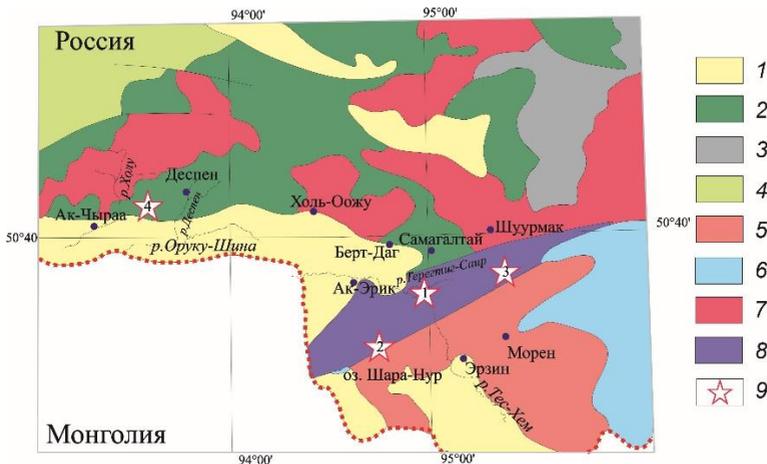


Рис. 1. Геологическая схема юга Тувы. 1 – кайнозойские отложения, 2 – породы Таннуольской зоны, 3 – среднепалеозойский гранитный и нефелин-сиенитовый комплекс, 4 – среднепалеозойские континентальные и морские молассы, 5 – Эрзинский метаморфический комплекс, 6 – Восточно

Сангиленские осадочные последовательности, 7 – раннепалеозойские гранитоиды, 8 – офиолитовая ассоциация Агардагского комплекса, 9 – местоположения изученных разрезов :1 – терегтигская свита, 2-3 – шурмакская свита, 4 – адырташская свита.

Приведен алгоритм исследований конгломератов юга Тувы, который автор использовал при выполнении данной работы. Это совокупность полевых наблюдений и опробования, минералогическое, петрографическое, геохимическое, изотопное (Sm-Nd и Rb-Sr) и геохронологическое изучение.

Показано, что важным является изучение матрикса конгломератов, его состава и текстурно-структурных особенностей. В двух из трех изученных конгломератах, их осадочный генезис был ранее определен ошибочно. В действительности, они представляют собой туфоконгломераты, где матрикс имеет вулканогенную природу.

Проведенные исследования позволили провести реконструкцию состава и возраста пород, представленных на эрозионном срезе тектонических блоков в кембрии и ордовике, в пределах которых происходило накопление конгломератов на юге Тувы. Все это значительно повысило валидность проводимых тектонических реконструкций для тектонических блоков Тувинского сегмента ЦАСП.

ГЛАВА 3. СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ СНОСА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ТЕРЕГТИГСКОЙ СВИТЫ

Породы терегтигской свиты распространены в междуречье рек Терегтиг-Саир и Тес-Хем (см рис. 1). Нижняя часть свиты контактирует с позднекембрийскими базит-ультрабазитами Карашатского массива Агардагского комплекса офиолитов. В основании изученного разреза залегают тонкослоистые аргиллиты, перекрывающиеся валунно-галечными конгломератами, в которых наблюдаются обломки размером от 1 до 30 см по длинной оси. Гальки имеют уплощенную форму, типичную для обстановок с активной гидродинамикой среды накопления, и строго ориентированы по слоистости, а валуны изометричную, различной размерности. В обломочной части конгломератов преобладают обломки гранитоидов, в меньшем количестве присутствуют обломки красно-розовых кремнистых пород и вулканитов. Грубообломочные породы с вышележащими карбонатными породами имеют резкий согласный контакт. В карбонатных отложениях обнаружена линза кварцевых гравелитов, где среди обломков преобладают хорошо окатанные зерна кварца. Присутствие в разрезе рециклированных осадков – кварцевых гравелитов, указывает на седиментацию изучаемых отложений в пределах континентального блока.

Наблюдения над текстурно-структурными особенностями осадочных пород терегтигской свиты и состав обломков позволили заключить, что их накопление происходило в прибрежно-морских обстановках, где в процессе трансгрессии моря произошла смена терригенной седиментации на карбонатную.

Матрикс конгломератов состоит в основном из не окатанных зерен кварца, полевого шпата, слюд, изменённых темноцветных минералов, циркона, апатита, рудных минералов, хлорита и карбонатов. Изучение его с помощью СЭМ позволило установить в нем присутствие значительного количества не окатанных зерен пироксена, оливина и хромшпинелидов (рис. 2). Последние по составу отвечают хромитам, ферриалюмохромитам и субалюмоферрихромитам и подобны таким же разновидностям хромшпинелидов в верлитах, дунитах и гарцбургитах Агардагского комплекса офиолитов (см рис. 2).

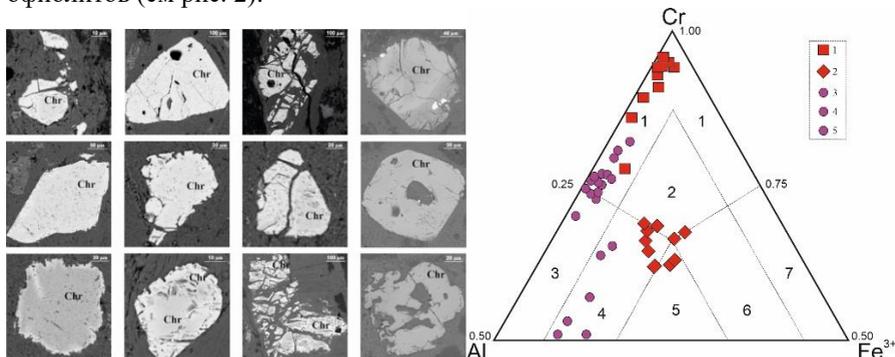


Рис. 2. BSE-изображения зерен хромшпинелидов из матрикса конгломератов терегтигской свиты и их сопоставление с хромшпинелидами из пород Агардагского офиолитового комплекса на классификационной диаграмме (Al–Cr–Fe) [Павлов, 1949]. Поля: 1 – хромиты, 2 – субферрихромиты, 3 – алюмохромиты, 4 – субферриалюмохромиты, 5 – ферриалюмохромиты, 6 – субалюмоферрихромиты, 7 – феррихромиты. Легенда: 1–2 хромиты из матрикса конгломератов терегтигской свиты; породы Агардагского комплекса: 3 – гарцбургиты, 4 – дуниты, 5 – верлиты [Пешков и др., 2021].

Гранитоиды и вулканиты из обломочной части конгломератов терегтигской свиты имеют подобные спектры REE и рассеянных элементов (рис. 3). Изотопное U-Pb датирование (LA-ICP-MS) зерен циркона из валунов конгломератов позволило определить их возраст: диорит – 579.8 ± 1.9 млн лет, гранит – 576.9 ± 1.7 млн лет, риолит – 574.4 ± 3.8 млн лет. Проведенное исследование показало, что они являются единой вулcano-плутонической серией.

Изучение распределения возраста детритового циркона из матрикса конгломератов и кварцевого гравелита терегтигской свиты показало их полное совпадение. На основе средневзвешенного возраста самой молодой популяции зерен детритового циркона из обеих проб можно ограничить верхнюю границу накопления данной свиты (рис. 4).

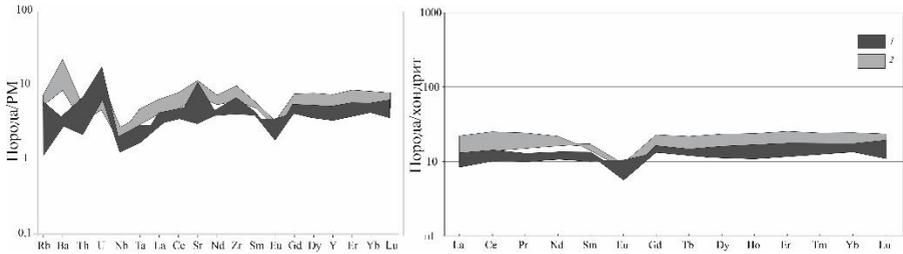


Рис. 3. Мультиэлементная и редкоземельная спайдер-диаграммы для пород обломочной части конгломератов терегтигской свиты: 1 – кислые вулканиды; 2 - гранитоиды. Нормировано на примитивную мантию (PM) и хондрит по [Sun, McDonough, 1989].

Основная популяция детритового циркона имеет возраст в интервале 614–558 млн лет с максимумом 580 млн лет. Зерна циркона имеют осциляторную зональность и не окатаны. В значительном количестве присутствуют окатанные зерна циркона более древнего докембрийского возраста - 2880, 2806, 2802, 2781, 2683, 2466, 1888, 1871, 1860, 1848, 1780, 1490, 1364, 1078, 883, 838, 777 и 654 млн лет.

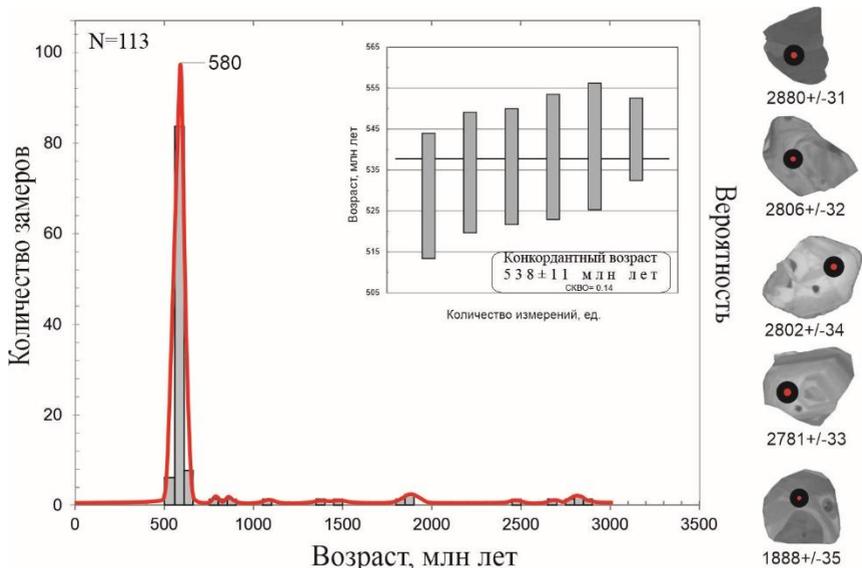


Рис. 4. Сводная гистограмма и кривая относительной вероятности плотности распределения возрастов детритового циркона, средневзвешенный возраст матрикса конгломератов и кварцевого гравелита терегтигской свиты; катодолуминесцентные изображения наиболее древних зерен циркона.

Для оценки возраста отложений терегтигской свиты с помощью данных хемотратиграфии были отобраны пробы карбонатных пород из нижней части разреза. Они представлены известняками (Mg/Ca 0.003–0.009) (рис. 5). Величина $\delta^{13}C$ в известняках изменяется в диапазоне от -1.1 ‰ до $+2.9$ ‰. Петрографические и геохимические характеристики 7 проб этих пород указывают на их незначительное постседиментационное изменение и пригодность для Sr-хемотратиграфии. Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в этих пробах варьирует от 0.70794 до 0.70826. С учетом данных об изотопном составе Sr в воде Мирового океана в докембрии и раннем палеозое [Halverson et al., 2007, 2010; Melezhik et al., 2015] и результатов U-Pb датирования зерен детритового циркона из нижележащих терригенных пород терегтигской свиты, можно оценить время седиментации этой свиты в интервале 530–520 млн лет.

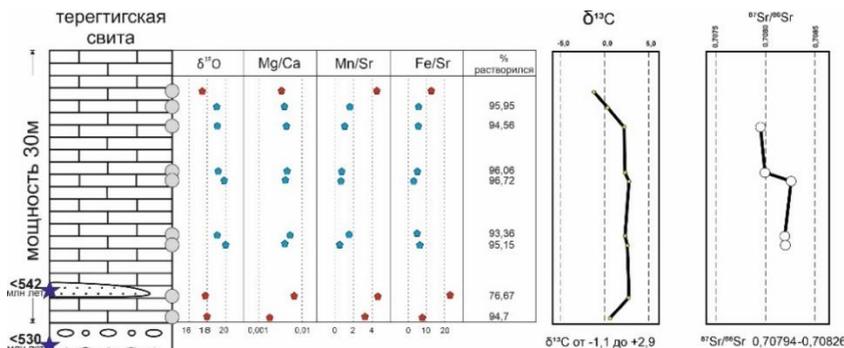


Рис. 5. Геохимические и C-, Sr – изотопные характеристики карбонатных пород терегтигской свиты.

Итак, на рубеже 530 млн лет, в пределах прибрежно-морских обстановок происходит накопление терригенных пород, в том числе конгломератов терегтигской свиты, седиментация которых сменяется накоплением карбонатных отложений. При изучении грубообломочных пород в составе матрикса были обнаружены зерна хромшпинелидов и измененных темноцветных минералов (оливина и пироксена). На основе химических особенностей хромшпинелидов установлен их источник - ультраосновные породы Агардагского комплекса офиолитов. Рассматривать более удаленный источник нет оснований, т.к. хромиты могут переноситься на значительное расстояние, а оливин и пироксен – нет, т.к. неустойчивы в зоне гипергенеза [Staddon et al., 2021., Захарова, 2006]. Можно считать, что породы офиолитового комплекса в момент накопления терегтигской свиты находились вблизи от области седиментации в пределах эродированной суши,

где так же широко были распространены породы единой вулканоплутонической серии с возрастом 574-578 млн лет [Иванов и др., 2023]. В поставке обломочного материала в осадочный бассейн также принимали участие многократно переотложенные осадки, послужившие обломочным материалом для кварцевых гравелитов теретигской свиты. Присутствие в разрезе рециклированных осадков, образующихся только в пределах континентальных блоков с длительной историей развития, согласуется также с присутствием среди обломочной части терригенных пород значительного количества зерен детритового циркона с докембрийским возрастом, от архея до неопротерозоя.

ГЛАВА 4. СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА ТУФОКОНГЛОМЕРАТОВ ШУРМАКСКОЙ СВИТЫ

Изучены два разреза шурмакской свиты – по реке Шурмак (полный разрез свиты) и в левом борту реки Тес-Хем (фрагменты разреза). Здесь преобладают валунные конгломераты, в обломочной части которых много гранитоидов, а также вулканитов основного состава. В средней части конгломератовой толщи обнаружены несколько горизонтов туфов и вулканитов (рис. 6).



Рис. 6. Стратиграфическая последовательность позднекембрийских и кембрийских отложений юго-восточной части Сангилен (фрагмент стратиграфической колонки к геологической карте М-46-ХVIII под редакцией Ю.М. Шейнманна, 1956г).

Петрографические исследования с использованием данных, полученных с помощью СЭМ, позволили установить вулканогенную природу матрикса конгломератов. Это дало возможность отнести их к туфоконгломератам,

породам, образованным в результате вулканического процесса, а не осадочного. Вероятнее всего они являются образованиями пирокластических потоков, где наряду с вулканогенным материалом в туфоконгломератах присутствуют более древние обломки осадочных, интрузивных и эффузивных пород, захваченные пирокластическим потоком при своем движении вне вулканической постройки. Матрикс туфоконгломератов, туфы и вулканиты из разреза шурмакской свиты по своим геохимическим характеристикам отвечают андезитам и андезибазальтам, реже щелочным базальтам. Вулканогенные породы из разреза шурмакской свиты имеют ряд особенностей: повышенные содержания Ba, Rb, Th, K и Ta, пониженные Nb, Sr, Zr и Hf. Степень обогащения LREE над HREE составляет от 1.5 до 3.5, присутствует европиевый минимум (0.74 - 0.9). Матрикс туфоконгломератов имеет отрицательное значение $\epsilon\text{Nd}(T)$ -9.4 и модельный возраст $T_{\text{Nd}}(\text{DM}_{1\text{st}})$ 1.96 млрд лет; вулканомиктовый песчаник из нижней части разреза шурмакской свиты - $\epsilon\text{Nd}(T)$ -4.5 и модельный возраст $T_{\text{Nd}}(\text{DM}_{1\text{st}})$ 1,72 млрд лет.

Полученные геохронологические данные на основе датирования зерен циркона для туфа из разреза шурмакской свиты позволяют обосновать ее возраст на рубеже 500 млн лет (рис. 7). Эти данные согласуются с таковыми для вулканогенного матрикса туфоконгломератов и туфопесчаников. Следует отметить присутствие во всех пробах зерен циркона неопалеопротерозойского и неогаргейского возраста.

Вулканиты обломочной части туфоконгломератов, представлены базальтами, андезибазальтами, андезитами. Для андезитов характерна Eu-аномалия и обогащение LREE относительно HREE (рис. 8). Для базальтов типично отсутствие Eu-аномалии и более плоский тренд распределения REE. На основе геохимических характеристик андезиты и часть базальтов можно объединить в одну группу, с максимумом по Th и для андезитов по Zr и Hf и минимум по K и Ti, и отсутствием для всех Ta-Nb аномалии. Другая часть базальтов имеет другие характеристики с присутствием минимума по Nb и Zr, максимум по Ti, P и Sr (см рис. 8). На основе геохимических характеристик можно выделить как минимум два источника поступления обломочного материала базитового и андезитового состава. Один из них связан с корой континентального типа, другой - океанического (рис. 9). Обломки вулканических пород первой группы имеют подобные характеристики с вулканитами из разреза шурмакской свиты. Другая группа базальтов возможно генетически связана с породами Агардагского офиолитового комплекса или другим подобным комплексом.

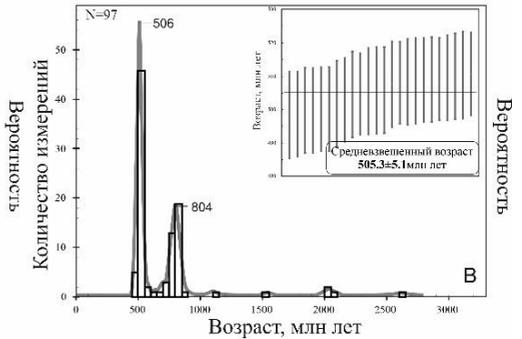
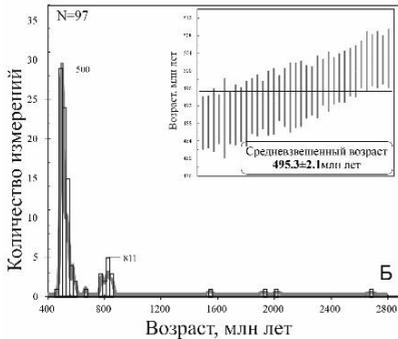
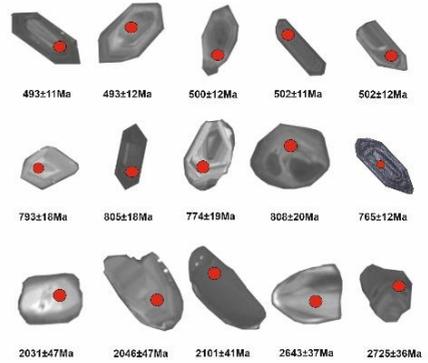
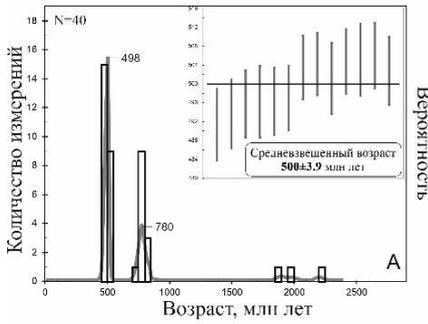


Рис. 7. Гистограммы и кривые относительной вероятности возрастов циркона, средневзвешенный возраст для пород шурмакской свиты: А- туф, Б- матрикс туфоконгломератов, В- вулканомиктовый песчаник. Катодолуминесцентное изображение зерен циркона.

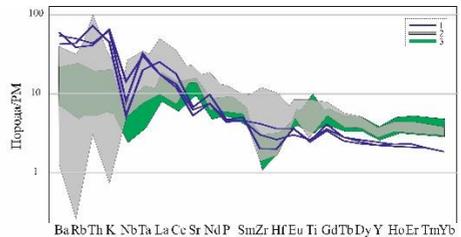
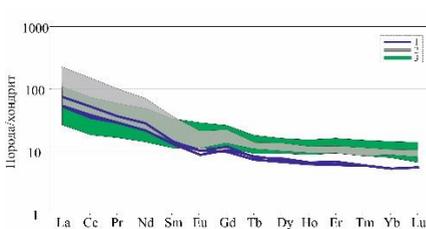


Рис.8. Мультиэлементная и редкоземельная спайдер-диаграммы для вулканических пород шурмакской свиты. 1 – вулканиты из разреза; вулканиты из обломков конгломератов: 2 – андезиты, 3 – базальты. Нормировано на PM и хондрит по [Sun, McDonough, 1989].

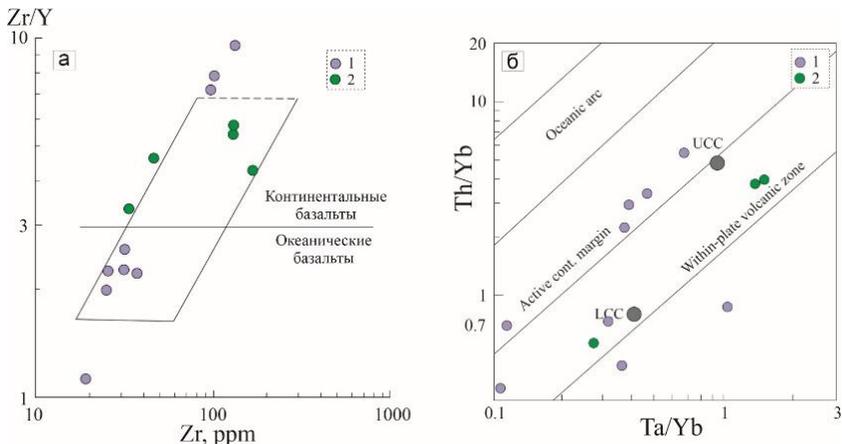


Рис. 9. (а) Дискриминационные диаграммы для базальтов шурмакской свиты: а - $Zr-Zr/Y$ [Pearce, Norry, 1979]. 1 – вулканиты из обломочной части туфоконгломератов, 2 – вулканиты из разреза. (б) $Ta/Yb - Th/Yb$ [Gorton and Schandl, 2000]. UCC верхняя континентальная кора, LCC нижняя континентальная кора.

В обломочной части туфоконгломератов шурмакской свиты среди интрузивных пород преобладают низкощелочные гранодиориты, реже кварцевые диориты ($SiO_2 - 64-69\%$, $Na_2O - 2-4\%$, $K_2O - 0.8-2.5\%$). Гранитоиды имеют суммарные содержания REE от 125 до 140 г/т. Для них всех характерно обогащение лёгких над тяжёлыми REE ($(LREE/HREE)_n = 2.5-3.6$), при $(La/Yb)_n$ от 7.3 до 12.6 и проявление отрицательной европиевой аномалии (0.52-0.6). Для них также характерны минимум по Ta, Nb, P и Ti, максимум по Th, Zr. На дискриминационных диаграммах Дж. Пирса [Pearce et al., 1984] фигуративные точки составов изучаемых гранитоидов отвечают полям гранитов вулканических дуг. Возраст гранитоидов из обломков туфоконгломератов варьирует от 786 до 773 млн лет, также присутствуют ксеногенные цирконы с возрастом в интервале 1.8 - 2.1 млрд лет.

Модельный одностадийный возраст для матрикса туфоконгломератов составляет 1.84 млрд лет при $\epsilon Nd(t) - 8.6$, для туфа из разреза шурмакской свиты $\epsilon Nd(T) - 4.5$, $T(DM_{1st})$ 1.6 млрд лет. Отрицательные значения ϵNd и палеопротерозойские модельные возраста субстрата этих вулканических пород указывают на то, что их формирование происходило в пределах древнего континентального блока. Близкие Sm-Nd изотопные характеристики имеют валуны гранодиорита и андезита, модельный возраст $T(DM_{2st})$ которых составляет 1.85 и 1.6 млрд лет, $\epsilon Nd(t) - 3.3$ и -4.1 , соответственно. Учитывая возраст гранодиорита из обломочной части конгломератов шурмакской свиты, который оставляет около 790 млн лет [Иванов 2019], и близость переноса обломков валунной размерности, нет никаких сомнений, что формирование

пород этой свиты происходило в пределах докембрийского континентального блока.

При этом, в обломочной части туфоконгломератов также в значительном количестве присутствуют обломки базитов, возраст которых принят условно как 600 млн лет, т.к. в это время на сопредельных территориях происходили различные спрединговые процессы в пределах Палеоазиатского океана [Монгуш и др., 2011]. Для них Sm-Nd изотопные характеристики отличаются от приведенных выше, но близки между собой. Так модельный $T(DM_{1st})$ возраст варьирует от 1.2 до 1.3 млрд лет, а $\epsilon Nd(t)$ от +1.2 до +3.5. Эти данные свидетельствуют о существовании источника поступления этого обломочного материала, связанного с земной корой переходного типа, где был проявлен существенный вклад ювенильного материала. Возможно, эти базиты генетически связаны с офиолитами Агардагского комплекса, которые уже в раннем кембрии выступали как поставщики обломочного материала в осадочный бассейн при накоплении отложений терегтигской свиты [Иванов и др., 2023].

Таким образом, проведенные Sm-Nd изотопные исследования пород шурмакской свиты, включая обломочную часть туфоконгломератов позволили установить, что формирование вулканогенно-осадочных пород происходило при активизации древнего докембрийского блока при участии обломочного материала, образовавшегося изначально при смешении в различных пропорциях древнекорового и ювенильного вещества.

Рассматривать, расположенный в непосредственной близости от шурмакской свиты, Эрзинский метаморфический комплекс, как возможный континентальный блок земной коры, в пределах которого происходило формирование пород этой свиты, не представляется возможным. Так как одновременно на рубеже 500 млн лет в результате вулканического события была сформирована шурмакская свита [Иванов и др., 2020], а породы метаморфического комплекса в это время претерпели метаморфизм гранулитовой фации [Козаков и др., 2019]. Таким образом, метаморфическое несогласие пород шурмакской свиты и образований Эрзинского метаморфического комплекса указывает на их совмещение в более позднее время.

Разнообразие обломочной части конгломератов шурмакской свиты и значительное количество разновозрастных зерен детритового циркона в них указывает на то, что эти породы не могут являться частью океанической короткоживущей системы. Их формирование связано с вулканическими процессами в пределах континентального блока. При этом породы океанической коры, представленные Агардагским офиолитовым комплексом или другими подобными комплексами, могли в раннем кембрии в составе эродируемой суши быть источниками обломочного материала.

Источником основной части обломочного материала при формировании туфоконгломератов шурмакской свиты послужили продукты синхронного вулканизма и неопротерозойские магматические и вулканические породы. Присутствие во всех изученных пробах древних цирконов, с преобладанием

зерен палеопротерозойского возраста позволяет предполагать, что накопление этой толщи происходило в результате разрушения пород древнего палеопротерозойского блока, что согласуется с Sm-Nd изотопными данными для пород шурмакской свиты.

ГЛАВА 5. СОСТАВ, ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА ТУФОКОНГЛОМЕРАТОВ АДЫРТАШСКОЙ СВИТЫ

В строении раннепалеозойского Таннуольского террейна выделяется система грабенов. Ранее считалось, что данные структуры заполнены терригенным материалом ордовика, в том числе породами адырташской свиты (рис. 10). При этом, автором на основе полевого и петрографического изучения пород этой свиты на водоразделе рек Холу и Деспен были обнаружены вулканические породы.

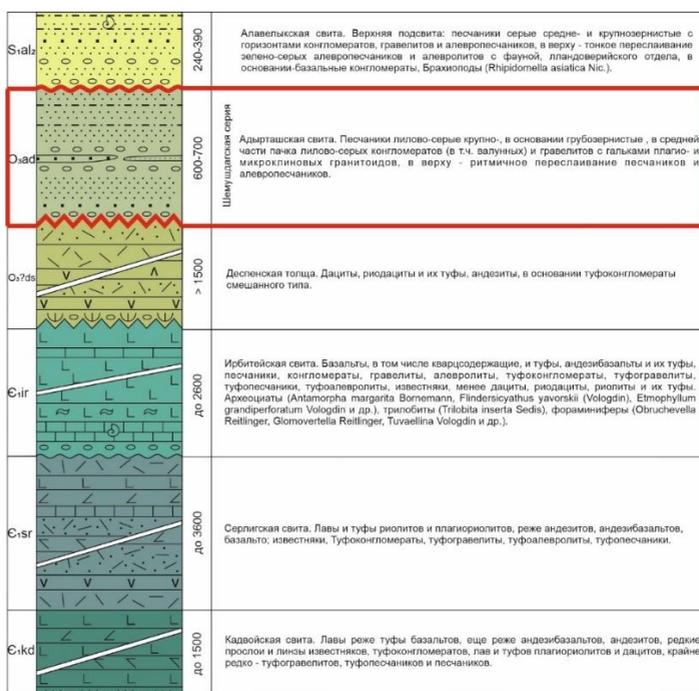


Рис. 10. Фрагмент стратиграфической колонки Геологической карты М-46-Х (Холу-Аксы). Под ред. Ветрова Е.В., Бабина Г.А., 2016.

Установлено, что в центральной части грабена преобладают вулканы, туфы и туфопесчаники. В южной и северной его краевых частях широко распространены грубообломочные породы (мощностью до 150 м), матрикс которых представлен кристаллокластической туфолоавой (рис. 11), а многочисленные разноразмерные обломки (до глыбовой размерности)

гранитоидами, различными вулканитами и, реже, щелочными магматическими породами с нефелином. Вулканогенная природа матрикса указывает на отнесение этих обломочных пород к туфоконгломератам. Повсеместно в разрезе отмечены тела трахибазальтов и миндалекаменных базальтов, как правило, пространственно приуроченных к выходам туфоконгломератов.

Среди валунов интрузивных пород из обломочной части туфоконгломератов адырташской свиты преобладают низкощелочные гранодиориты и кварцевые диориты, гранодиориты, граносиениты. Гранитоиды имеют содержания SiO_2 62-69 масс. %, Na_2O 2.7-5.2%, K_2O 0.5-2.7%. Основная часть вулканитов в обломочной части туфоконгломератов представлена андезитами, андезибазальтами, субщелочными базальтами и дацитами/риодацитами.

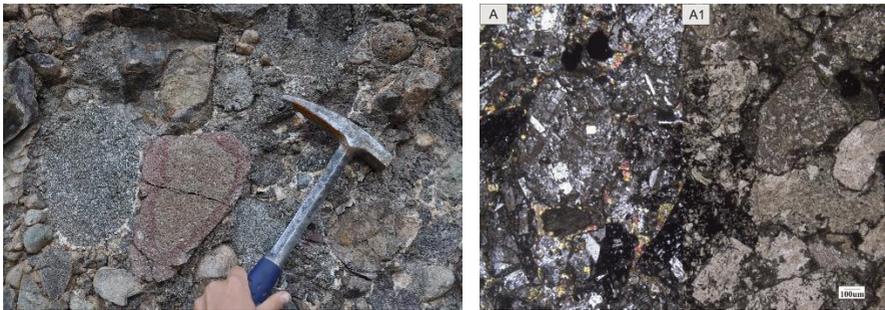


Рис. 11. Фотография туфоконгломератов в обнажении и микрофотография шлифа их матрикса (А николи X, А1 николи II).

Все изученные разности магматических и вулканических пород, в том числе обломочная часть туфоконгломератов, имеют подобные мультиэлементные спектры. Для них характерны повышенные концентрации Th (от 4 до 13 г/т) и P_2O_5 (от 0.2 до 0.35 %). Для группы обломков разнообразных по составу (от дацитов до щелочных базальтов) характерной чертой является присутствие Ta максимума. На основе распределения РЗЭ можно выделить две группы пород независимо от их петрохимического состава. В первую основную группу входят породы с отношением $(\text{LREE}/\text{HREE})_n$ от 1.7 до 3.1 с выраженной отрицательной Eu-аномалией. Вторая группа представлена породами с этим отношением от 1.5 до 1.6 и отсутствием Eu-аномалии (рис. 12).

Матрикс туфоконгломератов имеет андезитовый состав и не отличим по составу от андезитов из обломков туфоконгломератов.

Проведенное геохимическое изучение показало однотипность геохимических характеристик гранитов и риодацитов/дацитов из обломочной части туфоконгломератов адырташской свиты, что позволяет предполагать их отнесение к единой вулcano-плутонической серии.

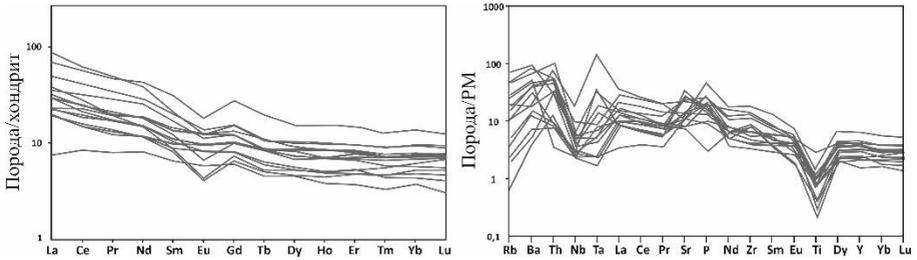


Рис. 12. Мультиэлементная и редкоземельная спайдер-диаграммы для пород обломочной части туфоконгломератов адырташской свиты. Нормировано на РМ и хондрит по [Sun, McDonough, 1989].

Подобная вулcano-плутоническая ассоциация установлена в этой части Тувинского сегмента и представлена деспенской вулканической толщей и гранитами арголикского комплекса [Ветров и др., 2021]. В отличие от изученных нами пород вулcano-плутонической серии, для этих пород характерны Ta-Nb и P минимумы и более значительное обогащение LREE над HREE. Эти различия, возможно, обусловлены различными по составу первичными расплавами.

Результаты U-Pb датирования пород адырташской свиты позволяют нам установить вулканическое событие в интервале 444-463 млн лет и выделить три эпизода вулканической активности (рис. 13). В центральной части этой Миндалескаменные

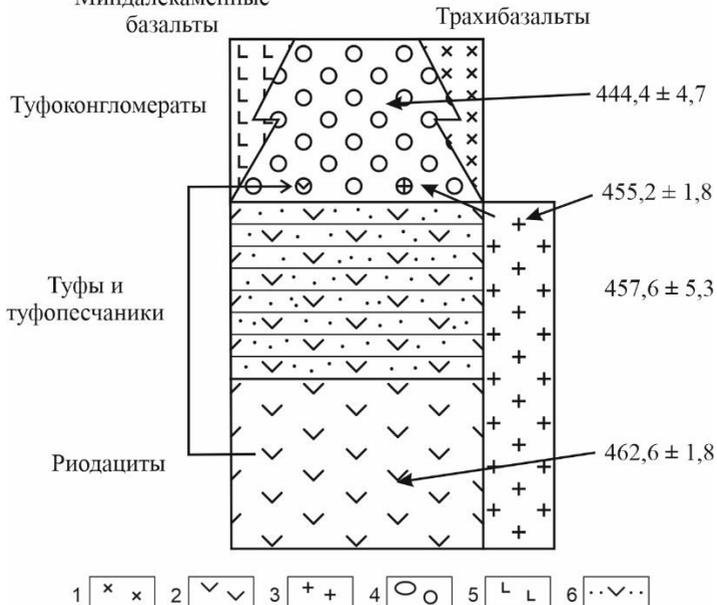


Рис. 13. Последовательность вулканических событий, проявленных в разрезе адырташской свиты. Примечание 1 - трахибазальты, 2 - риодациты,

3- гранодиориты, 4- туфоконгломераты, 5- миндалекаменные базальты, 6- туфы и туфопечаники.

структуры находятся наиболее древние вулканы с возрастом 462 млн лет, которые также представлены в виде обломков риолитов в более молодых туфоконгломератах. Второй эпизод проявлен 455-457 млн лет назад и маркируется горизонтами туфов и туфопесчаников. С этим эпизодом вулканической активности сопряжено формирование гранодиоритов, широко представленных в обломочной части туфоконгломератов этой вулканической последовательности.

ГЛАВА 6. РЕКОНСТРУКЦИЯ СОСТАВА И ВОЗРАСТА ПОРОД РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ПРИ СЕДИМЕНТАЦИИ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД НА ЮГЕ ТУВЫ

Изучение осадочных и вулканогенных грубообломочных пород раннего палеозоя юга Тувы позволило обоснованно выделить этапы осадконакопления, магматизма и вулканизма, проявленные в южной части Тувинского сегмента ЦАСП, связанные с различными этапами его тектонического развития (рис. 14).

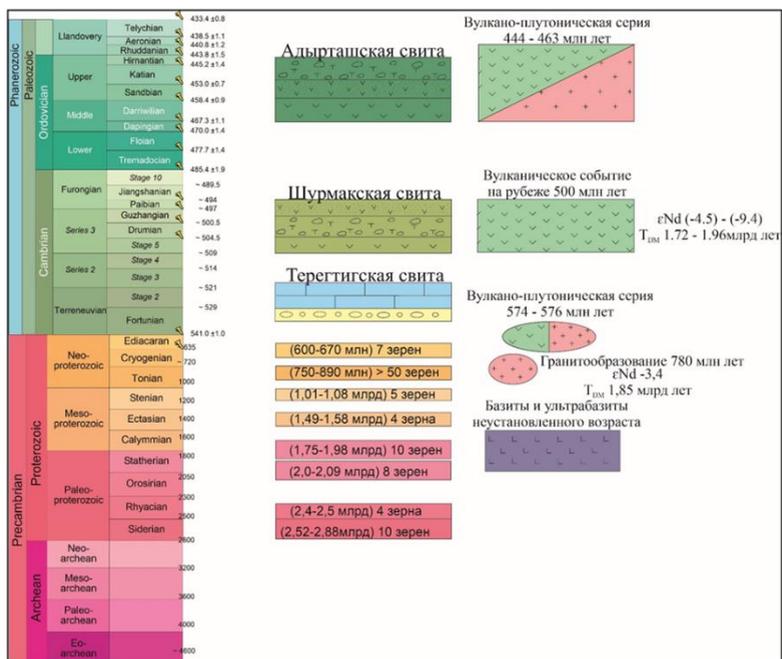


Рис. 14. Установленные на основе данного исследования этапы осадконакопления, магматизма и вулканизма, проявленные в южной части

Тувинского сегмента ЦАСП, связанные с различными этапами его тектонического развития.

Проведенные исследования показали, что вулканиты и граниты раннепалеозойских островодужных комплексов Таннуольской и Хамсаринской тектонических зон не участвовали в поставке обломочного материала при формировании кембрийских туфоконгломератов и конгломератов шурмакской и терегтигской свит юга Тувы. В терегтигский осадочный бассейн 530 млн лет назад в большом количестве поступал терригенный материал, образовавшийся в результате разрушения гранитов и вулканитов с возрастом 570-580 млн лет, древних, в том числе, рециклированных осадков и пород офиолитового Агардагского комплекса. Спустя 30 млн лет при формировании туфоконгломератов шурмакской свиты одними из основных поставщиков обломочного материала были тоналиты с возрастом 780-760 млн лет и андезиты, образовавшиеся в результате переработки палеопротерозойской континентальной коры, а также базиты, связанные со смешанными мантийно-коровыми источниками магм. В туфоконгломератах ордовика обломочный материал практически синхронен по времени образования с ними, представляя в целом собой единую вулканоплутоническую серию, имеющую широкое площадное распространение и за пределами Тувы, но не связанную с процессами островодужного вулканизма Таннуольской и Хамсаринской тектонических зон.

Однотипность распределения возрастных популяций циркона в породах терегтигской, шурмакской и адырташской свит юга Тувы между собой позволила получить первые сведения о происхождении и эволюции тектонического блока, в пределах которого происходило их формирование (рис. 15). На основе этого можно предполагать, что формирование структуры, в пределах которой происходило накопление С-О толщ, произошло в неорхее (2.5-2.9 млрд лет).

Впоследствии эта структура испытывала тектоно-магматическую активизацию в палеопротерозое в интервале 2.4-2.5 и 1.7-2.1 млрд лет. Установленные на основе анализа возраста циркона его докембрийские популяции согласуются с глобальными тектоно-магматическими процессами, протекающими при сборке суперконтинентов: Суперкратон (неорхей/ранний палеопротерозой), Колумбия/Нуна (на рубеже 2 млрд лет) [Liu et al., 2022]. В неопротерозое отчетливо выделяются две доминирующие популяции циркона с возрастом 820-780 и 580 млн лет, отражающие этапы тектоно-магматической активности в пределах данной структуры.

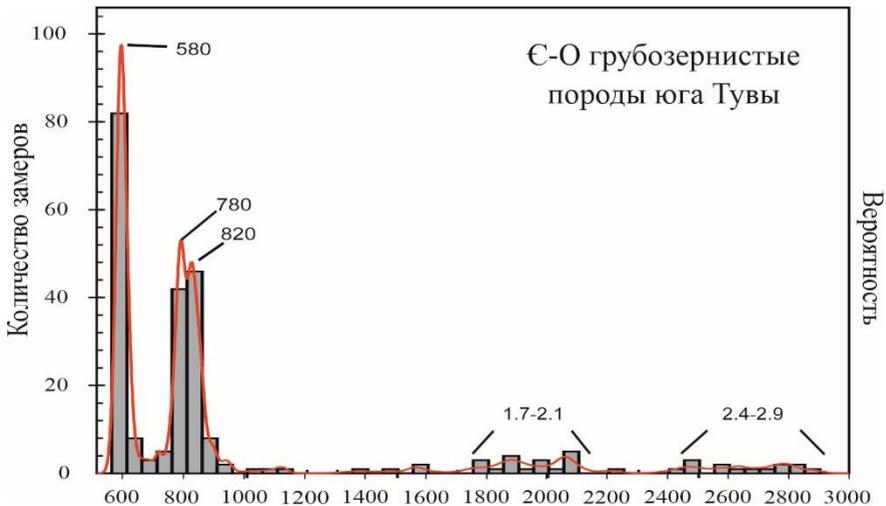


Рис. 15. Сводная гистограмма плотности распределения возрастов докембрийских зерен циркона из кембро-ордовикских пород: терегтигской, шурмакской и адырташской свит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований раннепалеозойских конгломератов юга Тувы, в составе терегтигской, шурмакской и адырташской свит, можно сделать следующие выводы:

1. Накопление валунно-галечных конгломератов терегтигской свиты проходило 520-530 млн лет назад, валунные туфоконгломераты шурмакской свиты образовались на рубеже 500 млн лет, валунно-галечные туфоконгломераты адырташской свиты имеют возраст 444 млн лет.

2. Геохимические и Sm-Nd-изотопные характеристики, данные U-Pb датирования цирконов указывают на формирование изученных грубообломочных пород в пределах древнего континентального блока.

3. На раннепалеозойском эрозионном срезе палеосуши этого блока в кембрии присутствовали неопротерозойские гранитоиды и базиты, в том числе, породы Агардагского комплекса офиолитов; в ордовике туфоконгломераты формировались в результате единого вулканоплутонического события, где обломочный материал представлен фрагментами интрузивных и эффузивных пород более ранних эпизодов этого события.

Проведенные автором исследования уверенно показали широкое распространение в раннем палеозое конгломератов осадочного и вулканогенного происхождения на юге Тувинского сегмента ЦАСП, образование которых происходило за счет магматической и осадочной переработки более древнего раннедокембрийского материала и связано с эволюцией древнего континентального блока. Полученные результаты ни в коем случае не перечеркивают многолетние исследования пород

поздневендской-раннекембрийской Таннуольско-Хамсаринской островодужной системы. Логично предположить, что породы этой островодужной системы находятся в тектонических пластинах, надвинутых на породы древнего континентального блока и его активные окраины, подобно аллохтону в Тункинских гольцах, где на породы Тувино-Монгольского микроконтинента надвинуты палеозойские осадочно-вулканогенные породы островных дуг и задуговых бассейнов [Боос, 1991; Беличенко и др., 2003].

Список работ, опубликованных по теме диссертации.

Статьи в рецензируемых научных журналах по списку ВАК:

- 1) Летникова Е.Ф., Школьник С.И., Летников Ф.А., Караковский Е.А., Костицын Ю.А., Вишневская И.А., Резницкий Л.З., **Иванов А.В.**, Прошенкин А.И. Основные этапы тектоно-магматической активности Тувино-Монгольского микроконтинента в докембрии: данные U-Pb датирования цирконов // Доклады Академии наук. 2017. Т.474. №5. С.599-604.
- 2) **Иванов А.В.**, Летникова Е.Ф., Школьник С.И., Прошенкин А.И., Бродникова Е.А. Возраст пород шурмакской свиты по данным U-Pb датирования цирконов методом LA-ICP-MS (Юго-Восточная Тува) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. №4. С. 702-716.
- 3) Школьник С.И., **Иванов А.В.**, Летникова Е.Ф., Аносова М.О. Источники сноса вендских высокоглиноземистых пород Тункинских гольцов, Восточный Саян: результаты изотопных, геохимических и минералогических исследований // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. № 3. С. 27-47.
- 4) Школьник С.И., Летникова Е.Ф., Резницкий Л.З., **Иванов А.В.**, Прошенкин А.И. Этапы тектоно-магматической активизации в зоне сочленения Сибирской платформы и Таннуольско-Хамсаринского сегмента ЦАСП: по результатам U-Pb изотопных исследований // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 498. № 2. С. 115–120.
- 5) Бродникова Е.А., Ветров Е.В., Летникова Е.Ф., **Иванов А.В.**, Руднев С.Н. Позднерифейские и вендские гранитоиды в источниках сноса раннекембрийских грубозернистых пород баянкольской свиты Систигхемского прогиба Тувы // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 6. С. 783-800.
- 6) **Иванов А.В.**, Летникова Е.Ф., Школьник С.И., Маслов А.В., Ветрова Н.И. Фрагмент раннекембрийской континентальной окраины в структуре Тувинского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (терегтигская свита): результаты U-Pb датирования циркона и Sr-хемостратиграфии // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 5-13.
- 7) Школьник С.И., Беляев В.А., Летникова Е.Ф., Демонтерова Е.И., Брянский Н.В., Колесов К.К., **Иванов А.В.** Бутугольская глыба — экзотический докембрийский блок в строении фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (Восточный Саян) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 2. С. 127–133.
- 8) Shkolnik S., Letnikova E., Vetrov E., **Ivanov A.**, Reznitsky L., Proshenkin A. Proterozoic – Paleozoic tectonic evolution of the northern Central Asian Orogenic Belt: New constraints from igneous and metamorphosed rocks of the Khamsara Terrane (East Sayan, Russia) // Journal of Asian Earth Sciences. 2023. doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105785