

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи



Соболев Иван Дмитриевич

**Основные временные рубежи и эволюция магматизма
Полярноуральской островодужной системы**

25.00.01 – Общая и региональная геология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре региональной геологии и истории Земли
геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

- Научный руководитель** – *Тевелев Александр Вениаминович* – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
- Официальные оппоненты:**
- *Плечов Павел Юрьевич* – доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана Российской академии наук», директор
 - *Худолей Андрей Константинович* – доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», профессор кафедры региональной геологии
 - *Романюк Татьяна Валентиновна* – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук», главный научный сотрудник лаборатории фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики

Защита диссертации состоится «04» октября 2019 г. в 16:30 на заседании диссертационного совета МГУ.04.04 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: nvbadulina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»: <https://istina.msu.ru/dissertations/197200667/>

Автореферат разослан «27» июня 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.04.04,
кандидат геолого-минералогических
наук, доцент



Т.В. Кузнецова

Введение

Актуальность исследований. Урал – один из наиболее представительных фанерозойских складчато-надвиговых поясов, прошедших полный цикл Уилсона. Однако на сегодняшний день остается много вопросов, касающихся палеозойской истории геологического развития Урала, особенно его полярной части, где местами отсутствуют современные аналитические данные, прежде всего, изотопные.

С разными этапами развития островных дуг связаны различные типы магматических горных пород и руд, поэтому всестороннее изучение островодужных (ОД) комплексов имеет важное значение для металлогенических реконструкций и прогнозирования месторождений в регионе.

Степень разработанности темы. Палеозойские ОД образования, широко представленные в восточной части Полярного Урала, активно изучались при проведении геолого-съёмочных и поисковых работ с середины 20-го века (Беляков, Бушканец, 1954ф; Прохорова и др., 1959ф; Литовченко, Романенко, 1964ф; Костюк, Неведов, 1964ф; Воронов и др., 1976ф; Кучерина и др., 1991ф; Прямоносов и др., 1994ф, 2001, 2010; Кузнецов и др., 2000ф; Шишкин и др., 2007; Шишкин, 2009ф; Душин и др., 2007, 2014; Зылева и др., 2014; Ремизов и др., 2014а, б, 2015; Агафонов и др., 2015ф и др.). Большой вклад в их исследования сделан российскими и зарубежными учеными (Дедеев, 1959; Сирин, 1962; Лупанова, Маркин, 1964; Соболев, 1965; Молдаванцев, 1972; Перевозчиков, 1974; Бевз, 1976; Добрецов и др., 1977; Буякайте и др., 1983; Язева, Бочкарев, 1984; Бочкарев, Язева, 2000; Старков, 1985; Охотников, 1985; Савельева, 1987; Ремизов, 1998, 2004; Диденко и др., 2001; Андреичев, 2004; Удоратина, Кузнецов, 2007; Основные черты..., 2010; Estrada et al, 2012; Шмелев, Мон, 2013; Кузнецов, Романюк, 2014 и др.).

Цели и задачи исследований. Главная цель исследований – уточнение характера эволюции магматизма, обновление и обоснование моделей геотектонических и палеогеографических реконструкций для палеозойской ОД системы Полярного Урала на базе новых изотопно-геохронологических, минералогических и геохимических данных. Для достижения этой цели решались следующие задачи: 1) получение новых данных о возрасте и вещественном составе наиболее ранних вулканитов и ассоциирующих с ними гранитоидов Щучьинской и Войкарской зон Полярного Урала; 2) уточнение возраста и условий формирования пород конгорского плутонического комплекса; 3) проведение корреляции возрастов и веще-

ственных характеристик пород собского и конгорского плутонических комплексов; 4) установление преобладающих возрастов питающих провинций для палеозойских ОД терригенно-вулканогенных пород Полярного Урала с помощью U-Pb датирования детритовых цирконов (DZ); 5) уточнение существующих палеотектонических реконструкций.

Объект исследования – палеозойские ОД магматические и вулканогенно-осадочные образования Полярного Урала.

Фактический материал и методы исследования. В основу работы положены материалы, собранные диссертантом за шесть полевых сезонов в 2007–2018 гг. в рамках работ по ГМК-200 листов Q-41-XVI, Q-41-XXII, Q-42-III (Ремизов и др., 2014, 2015; Агафонов и др., 2015) и в составе полевых отрядов ИГ Коми НЦ УрО РАН (2011 г., рр. Макарузь и Хараматолоу) и ИГЕМ РАН (2015 и 2018 гг., м-я Новогоднее-Монто и Петропавловское). При исследованиях использовались методы оптической и электронной микроскопии. Содержания петрогенных элементов в горных породах определялись методом рентгено-флуоресцентного анализа и классическим химическим методом. Элементы-примеси в породах анализировались на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Датирование пород выполнялось U-Pb методами по цирконам: масс-спектрометрией вторичных ионов (SIMS) и лазерной абляцией в сочетании с ICP-MS (LA-ICP-MS). Внутреннее строение зерен циркона изучалось по катодоллюминесцентным изображениям, а состав – методами рентгеноспектрального микроанализа, LA-ICP-MS и SIMS.

Достоверность полученных результатов достигается представительностью каменного материала, комплексным подходом к изучению и опробованию объектов, использованием современных методик пробоподготовки и интерпретации аналитических данных, применением высокоточного аналитического оборудования.

Личный вклад автора. Автор проводил полевое изучение и опробование магматических и вулканогенно-осадочных пород. Им произведена основная часть пробоподготовки для минералогических, геохимических и изотопно-геохронологических исследований, выполнено описание петрографических шлифов, дана петрогеохимическая характеристика пород, определен состав породообразующих и акцессорных минералов методами микрондового анализа и элек-

тронной микроскопии, выявлены особенности внутреннего строения и микроэлементного состава цирконов, выполнено их U-Pb датирование и проведена интерпретация полученных данных.

Научная новизна. Уточнена схема магматизма Полярного Урала (Соболев, 2013; Соболев и др., 2012, 2015б, 2016, 2017а-е, 2018а, б; Шадрин, Соболев, 2017). Для Щучьинской зоны впервые доказан средне-позднеордовикский возраст и надсубдукционная природа гранитоидов хоймпэйского плутонического комплекса и родственных им вулканитов сядайской свиты (Соболев и др., 2016, 2017а; Шадрин, Соболев, 2017). Установлено, что часть гранитоидов, включавшихся ранее в состав юньягинского плутонического комплекса (D₁₋₂), следует относить к хоймпэйскому комплексу (O₂₋₃), а часть вулканитов, считавшихся венлокско-лудловскими образованиями янганапэйской толщи, соответствует сядайской свите (O₂₋₃). Для Войкарской зоны существенно уточнен временной диапазон формирования конгорского плутонического комплекса. В результате U-Pb (SIMS, LA-ICP-MS) датирования и локальных исследований кристаллов циркона из габброидов, диоритоидов и монцодиоритов обоснован эмско-раннеэйфельский возраст этого комплекса (Соболев и др., 2017в, д, е, 2018а), который ранее считался более молодым. Впервые для рассматриваемого региона проведено U-Pb датирование DZ из палеозойских ОД вулканогенно-осадочных пород (Соболев и др., 2015а, 2017б, 2018в), что позволило предположить существование докембрийского фундамента в основании Полярноуральской ОД системы.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы связана с полученными новыми знаниями о глубинном строении палеозойской ОД системы и этапах становления ее плутонических комплексов, что важно для моделирования внутреннего строения современных островных дуг, еще не вскрытых эрозией на большую глубину. Данные о возрасте DZ могут быть использованы для глобальных палеогеографических и тектонических реконструкций.

Результаты исследования гранитоидов и вулканитов Щучьинской зоны использованы при составлении ГК-200 нового поколения (лист Q-42-III), вошли в состав отчета по ГК-200 листа Q-42-III (Агафонов и др., 2015) и в серийную легенду Полярноуральской серии листов Госгеолкарты-200.

Новые высокоточные U-Pb датировки цирконов и систематические геохимические данные для магматических пород существенно меняют сложившиеся

представления о палеозойской геодинамике восточного склона Полярного Урала, а также расширяют перспективы обнаружения месторождений колчеданного и других типов.

Основные защищаемые положения

1. В Щучьинской зоне Полярного Урала к средне-позднеордовикскому этапу относятся островодужные вулканиты сядайского комплекса, часть которых ранее относилась к силурийскому янганапэйскому комплексу, а также комагматичные им плагиогранитоиды хоймпэйского комплекса, которые ранее считались силурийскими.

2. В Войкарском сегменте Полярноуральской островодужной системы основной объем плутонических пород был сформирован в лохковско-раннеэйфельское время (418–393 млн лет). В ходе эволюции островной дуги на фоне завершения формирования известково-щелочной серии в позднеэмско-раннеэйфельское время (399–393 млн лет) происходило образование пород высококалиевой известково-щелочной и шошонит-латитовой серий.

3. Полярноуральская островодужная система заложилась на докембрийском фундаменте, о чем свидетельствует преобладание детритовых цирконов с возрастными от 1 до 2 млрд лет в ордовикско-девонских вулканогенно-терригенных породах Войкарской и Щучьинской зон.

Публикации и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 17 работ: 6 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных WoS, Scopus, RSCI, в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ, в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 25.00.01 – «Общая и региональная геология»; 1 статья – в журнале «Горные ведомости»; 10 материалов совещаний и тезисов докладов.

Основные результаты работы представлены на научных конференциях и совещаниях: «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» (г. Сыктывкар, **2012, 2015, 2017** г.); «От минералогии до геохимии» (Крым, с. Береговое, **2013** г.); «Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогеническое прогнозирование» (г. Новосибирск, **2014** г.); «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (г. Владивосток, **2016** г.); «Металлогения древних и современных океанов–2017» (г. Миасс, **2017** г.); «Мето-

ды и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород» (г. Москва, 2018 г.); «Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России» (г. Сыктывкар, 2019 г.).

Структура и объем работы. Диссертация объемом 211 стр. состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных сокращений, списка цитируемой литературы из 165 наименований и 24 приложений с таблицами анализов. Работа содержит 56 рисунков.

Благодарности. Диссертационная работа выполнена на кафедре региональной геологии и истории Земли геологического факультета МГУ. Автор искренне признателен Ал.В. Тевелеву, под чьим руководством была выполнена данная работа. Автор выражает благодарность А.А. Соболевой и И.В. Викентьеву за научные консультации и поддержку, П.Л. Тихомирову, Н.Б. Кузнецову, С.Д. Соколову, М.В. Лучицкой, Г.В. Ледневой, А.В. Моисееву, А.В. Ганелину, М.А. Шишкину, А.М. Никишину, А.В. Латышеву, Д.И. Панову, Арк.В. Тевелеву, И.В. Панченко за ценные советы и разностороннюю помощь. Автор признателен О.В. Удоратиной, К.В. Куликовой, Д.Н. Ремизову, Т.А. Каневой, А.Н. Шадрину, В.А. Расторгуеву, А.Г. Агафонову, Ю.А. Корчагину, И.З. Галиулину, с которыми ему посчастливилось работать на Полярном Урале; С.Г. Рвачеву и М.С. Пушкиной за возможность исследований на месторождениях Новогоднее-Монто и Петропавловское. Автор благодарит Д.А. Варламова, С.Е. Борисовского, В.О. Япаскурта за проведение микрозондовых исследований; С.Т. Неверова, А.М. Ходакову, А.И. Якушева за силикатный анализ пород; А.Ю. Бычкова, Я.В. Бычкову, С.А. Ермакову за помощь в освоении методик пробоподготовки и анализ элементов-примесей в породах методом ICP-MS; Т.И. Голованову за проведение катодолюминесцентных исследований циркона; В.Б. Хубанова, М.Д. Буянтуева, М.А. Кобла, Дж. Хоуригана, П.А. Львову, Е.Н. Лепехину за U-Pb датирование цирконов; Е.А. Минервину – за анализ элементов примесей в цирконах. Неоценимую помощь в работе оказали сотрудники лаборатории минералогического и трекового анализа Геологического института РАН: А.В. Соловьев, А.И. Хисамутдинова, И.С. Ипатьева, Т.Б. Афонина, А.Е. Голдырев, Т.С. Милюкова, Н.А. Пелих, Н.Я. Щербачева. Автор благодарит своих родных и близких за поддержку. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 16-35-00552, 18-05-70041); РНФ (№ 16-17-10251); Программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-57; Программы Пре-

зидиума РАН №55 («Арктика»); грантов молодых ученых ГИН РАН (2012–2013 и 2013–2014 гг.).

Глава 1. Краткий геологический очерк

Традиционно на Урале выделяют Западно-Уральскую и Восточно-Уральскую мегазоны (рис. 1 А), разделенные Главным Уральским надвигом (Пейве, 1945; Пучков, 2010 и др.). Полярноуральский сегмент Восточно-Уральской мегазоны разделяют на Щучьинскую зону, расположенную к северу от р. Лонготъеган и Собского докембрийского поперечного поднятия и к югу от р. Байдарата (Зылева и др., 2014), а также Войкарскую зону, включающую южную и среднюю части Полярного Урала и расположенную к югу от р. Харбей и Собского поднятия и к северу от р. Хулга (Шишкин и др., 2007) (рис. 1 Б). В строении Щучьинской и

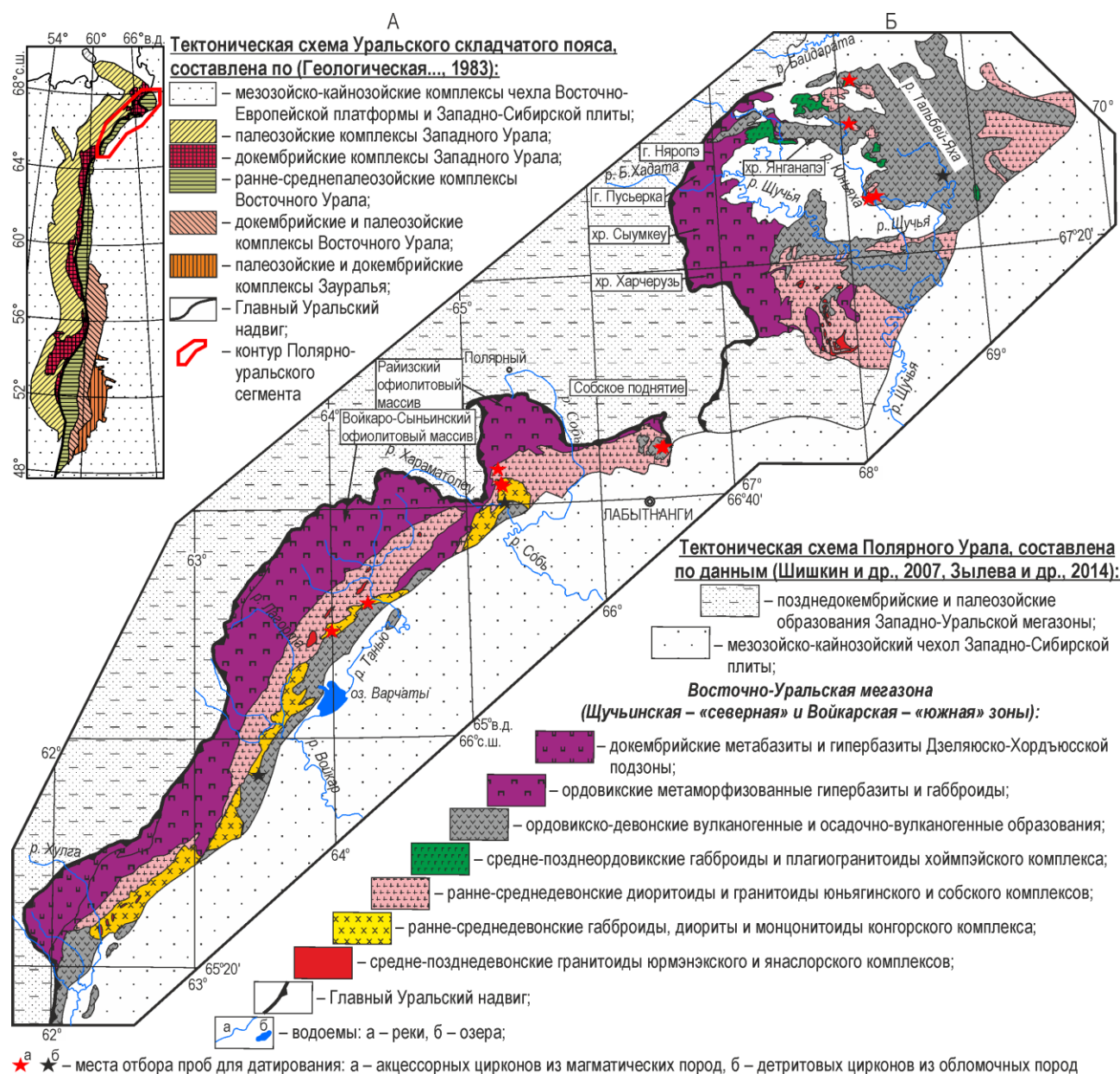


Рис. 1. Схемы тектонического районирования Урала (А) и Полярного Урала (Б)

Войкарской зон участвуют в разной степени метаморфизованные породы офиолитовой ассоциации (Перевозчиков, 1974; Савельев, 1974; Дергунов и др., 1975; Савельев, Савельева, 1977; Добрецов и др., 1977; Савельева, 1987; Шмелев, 1990, 1991; Ремизов, 2004; Кузнецов, Куликова, 2007 и др.) и расположенные к востоку от них палеозойские надсубдукционные магматические образования (Дедеев, 1959; Сирин, 1962; Лупанова, Маркин, 1964; Соболев, 1965; Молдаванцев, 1972; Бевз, 1976, 1983; Язева, Бочкарев, 1984; Охотников, 1985; Старков, 1985; Диденко и др., 2001; Ремизов, 2004; Удоратина, Кузнецов, 2007; Шишкин и др., 2007 и др.) (рис. 1 Б), которые и являются объектами данного исследования.

Глава 2. Методы исследований

В главе рассмотрены использованные методы (перечислены во введении).

Глава 3. Магматизм ранней островодужной стадии

3.1. Щучьинская зона

В центральной и северной частях Щучьинской зоны Полярного Урала изучены гранитоиды палеовулканов Речной и Яляпэ (рис. 1 Б), отнесенные при геологической съемке к силурийскому хоймпэйскому комплексу, а также гранитоиды массивов Нганотский-1 и Нганотский-2, закартированные в качестве юньягинского комплекса (D₁₋₂). Эти массивы сложены в различной степени катаклазированные кварцевыми диоритами, плагиогранитами и лейкоплагиогранитами с порфировидной структурой.

По петрохимической классификации (Петрографический..., 2008) породы относятся преимущественно к натриевым и низко-калиевым гранитоидам и диоритоидам нормальной и пониженной щелочности (рис. 2).

При увеличении содержания SiO₂ от 62,1 до 79,1 мас. % для них свойственны следующие вариации состава (мас. %): TiO₂ (0,7→0,2), Al₂O₃ (14,8→11,6), FeO_{total} (8,8→0,9), MgO (3,6→0,2), CaO (6,8→1,0), Na₂O (3,0→6,5), K₂O (0,1–1,3), P₂O₅ (0–0,3) (Соболев и др., 2017а).

Хондрит-нормированное распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в гранитоидах палеовулкана Речной и массива Нганотский-2 демонстрирует слабое обогащение легкими редкоземельными элементами (ЛРЗЭ) относительно тяжелых редкоземельных элементов (ТРЗЭ) – La_N/Yb_N – 1,12–2,09 и дефицит европия (Eu* – 0,15–0,86). На мультиэлементной диаграмме (рис. 3) спектры составов гранитоидов характеризуются слабым обогащением некоторыми крупноионными

литофильными элементами (КИЛЭ) – Rb, Ba, Th, U и Pb относительно высокозарядных элементов (ВЗЭ), отчетливо проявлены отдельные минимумы Ta, Nb, Sr и максимумы U-Th и Pb (Соболев и др., 2017а).

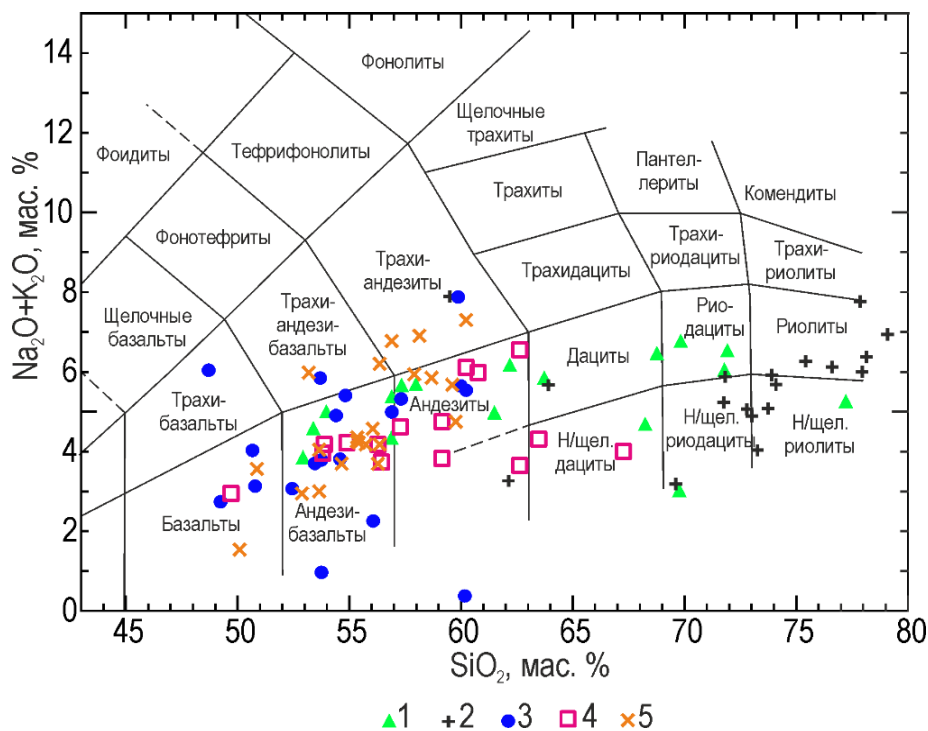


Рис. 2. Классификационная диаграмма $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$, для палеозойских магматических пород Полярного Урала, поля составов вулканических пород по (Шарпенюк и др., 2013).

1–2 магматические породы Щучьинской зоны (1 – вулканы сядайской свиты (O_{2-3}) палеовулканов Речной и Яляпэ, вулканы, вмещающие массив Нганотский-3; 2 – гранитоиды хоймпэйского комплекса (O_{2-3}) палеовулкана Речной, Яляпэ, массивов Нганотский-1 и Нганотский-2); 3–5 – магматические породы Войкарской зоны (3 – вулканы устьконгорской свиты (O_{2-3}), 4 – габброиды, диоритоиды и гранитоиды собского комплекса (D_{1-2}), 5 – габброиды, диоритоиды и монцонитоиды конгорского комплекса (D_{1-2}))

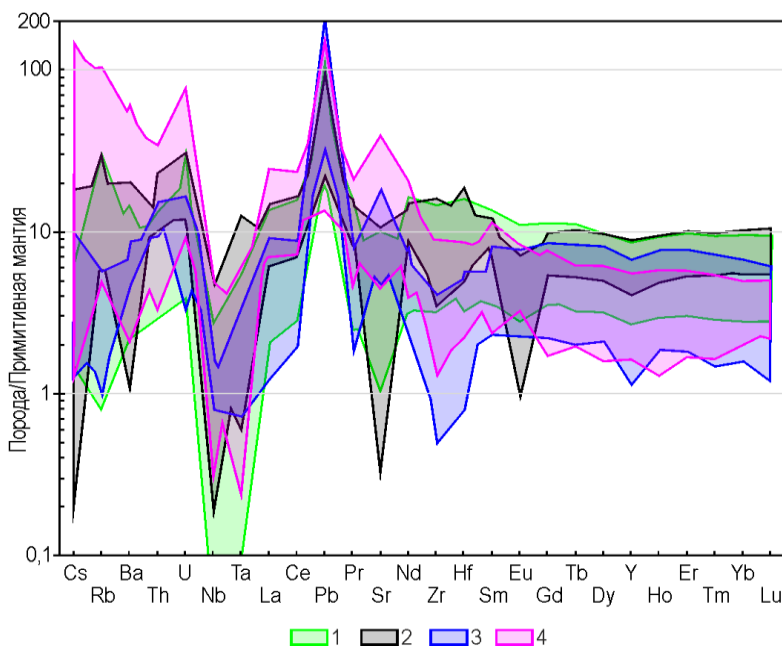


Рис. 3. Мультиэлементная диаграмма распределения элементов-примесей для магматических пород Полярного Урала (нормировано к примитивной мантии (Sun, McDonough, 1989))

1 – вулканы Щучьинской зоны 2 – плагиогранитоиды Щучьинской зоны, 3 – вулканы устьконгорской свиты Войкарской зоны, 4 – типичные надсубдукционные диоритоиды, монцонитоиды и плагиогранитоиды собского и конгорского комплексов Войкарской зоны

По генетической классификации (Chappell, White, 1974; Loiselle, Wones, 1979; Collins et al., 1982; Pitcher, 1983) все рассматриваемые гранитоиды можно отнести к гранитам М-типа, в меньшей степени – к лейкократовому подтипу гранитов I-типа. Плагиигранитоиды Щучьинской зоны отличаются от типичных офиолитовых плагиигранитоидов, не связанных с процессами субдукции, обогащением крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Th) и обеднением высокозарядными элементами (PЗЭ, Ta, Nb, Zr, Hf, Y). Они наиболее близки к трондьемитам из раннеостроводужных комплексов Омана и из надсубдукционных офиолитов Троодоса, образовавшихся в преддуговой обстановке. На диаграммах Дж.А. Пирса (Pearce et al., 1984) фигуративные точки составов плагиигранитоидов находятся в поле гранитоидов вулканических дуг (Соболев и др., 2017а).

В результате U-Pb (SIMS) датирования установлено, что гранитоиды палеовулканов Речной и Яляпэ, а также массива Нганотский-1, сформировались на рубеже среднего и позднего ордовика (456 ± 6 , 454 ± 4 и 463 ± 3 млн лет соответственно) (рис. 4), а не в позднем силуре и раннем–среднем девоне, как считалось раньше, поэтому они относятся к хоймпейскому комплексу, уточненный возраст которого – средний–поздний ордовик (Соболев и др., 2016, 2017а; Шадрин, Соболев, 2017).

Вулканиды Щучьинской зоны изучались в районах палеовулканов Речной, Яляпэ и массива Нганотский-3 (рис. 1 Б). Их принято относить к верхнеордовикско-нижнесилурийской сядайской свите и венлокско-лудловской янганапэйской толще (Воронов и др., 1976ф; Зылева и др., 2014).

Палеовулкан Речной имеет кольцевое строение. Его центральная часть сложена псаммитовыми и мелколапиллиевыми кристалло-литокластическими туфами плагииодацитов, плагииориодацитов, плагииориолитов и андезибазальтов. В его южной части преобладают пироксен-плагииофировые андезибазальты, менее развиты пироксен-плагииофировые базальты, плагииофировые андезиты и плагииодациты. Юго-восточная часть сложена туфами плагииодацитов и андезитов, плагииофировыми андезитами и плагииодацитами.

Палеовулкан Яляпэ сложен чередующимися брекчированными и рассланцованными клинопироксен-плагииофировыми базальтами, андезибазальтами, их мелколапиллиевыми туфами и плагииофировыми метариолитами. Вулканиды, вмещающие гранитоидный массив Нганотский-3, – преимущественно плагииофировые

андезиты.

По петрохимической классификации (Петрографический..., 2008) вулкани- ты палеовулканов Речной и Яляпэ относятся к натриевым, реже калиево- натриевым низко- и умерено-калиевым породам нормальной и пониженной ще- лочности. На диаграммах AFM (Irvine, Baragar, 1971) и $\text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO} - \text{TiO}_2, \text{SiO}_2 - \text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}$ (Miyashiro, 1974) фигуративные точки составов вулкани- тов палеовул- кана Речной образуют тренды, характерные для известково-щелочной серии, в меньшей степени – для толеитовой. В вулкани- тах с увеличением содержания SiO_2 (52,9→77,2 мас. %), как правило, закономерно изменяется содержание других пет- рогенных оксидов (мас. %): TiO_2 (1,2→0,3), Al_2O_3 (19,7→11,0), $\text{FeO}_{\text{total}}$ (10,4→3,9), MgO (5,3→1,1), CaO (10,6→1,2), K_2O (0,04–1,7), Na_2O (2,6–6,6).

Все породы палеовулкана Речной демонстрируют геохимические особен- сти, свойственные породам, сформированным в надсубдукционных условиях – для них характерно слабое обогащение КИЛЭ относительно ВЗЭ с хорошо проявлен- ными минимумами Ta-Nb и максимумами Pb, U-Th (рис. 3). При общем сходстве, вулкани- ты существенно отличаются друг от друга по концентрации и распределе- нию РЗЭ. *Андезибазальты, туфы андезибазальтов и андезиты* характеризуются низкими суммарными концентрациями РЗЭ (28,4–53,6 г/т) и слабым обогащением ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ – $\text{La}_N/\text{Yb}_N - 1,3-1,7$. *Умеренно-кислые и кислые вулка- ниты* образуют две группы. Для первой группы – плагиориодациты и туфы пла- гиодацитов из юго-восточной части палеовулкана – характерны повышенные сум- марные концентрации РЗЭ – 64,7–99,4 г/т. Хондрит-нормированные спектры рас- пределения РЗЭ демонстрируют слабое обогащение ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ ($\text{La}_N/\text{Yb}_N - 1,4-1,6$). Ко второй группе относятся туфы плагиориодацитов и низко- щелочных плагиориолитов из центральной части палеовулкана. Они characterи- зуются очень низкими для кислых пород суммарными концентрациями РЗЭ – 24,9– 25,5 г/т, а хондрит-нормированные спектры распределения отличаются обеднени- ем ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ ($\text{La}_N/\text{Yb}_N - 0,4-0,6$).

На диаграммах Дж.А. Пирса (Pearce et al., 1984) фигуративные точки соста- вов андезитов, плагиодацитов, плагиориодацитов, плагиориолитов и туфов кисло- го состава находятся в поле гранитов вулканических дуг, но при этом близки к границе с полем гранитов СОХ. Фигуративные точки составов андезибазальтов на диаграмме $\text{MgO}-\text{FeO}_{\text{total}}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (Pearce, Gale, 1977) попадают в область базальтои-

дов вулканических дуг и активных континентальных окраин, а на диаграммах La–Y–Nb (Cabanis, Lecolle, 1989) и MnO–TiO₂–P₂O₅ (Mulen, 1983) – в поле толеитов островных дуг.

В результате U–Pb датирования цирконов из плагиориодацитов уточнен возраст вулканитов палеовулкана Речной – 446±9 млн лет (рис. 4), что согласуется с результатами U–Pb датирования цирконов из лейкогранитов позднеордовикского хоймпэйского комплекса, прорывающих эти вулканиты, – 456±6 млн лет (Соболев и др., 2016, 2017а; Шадрин, Соболев, 2017).

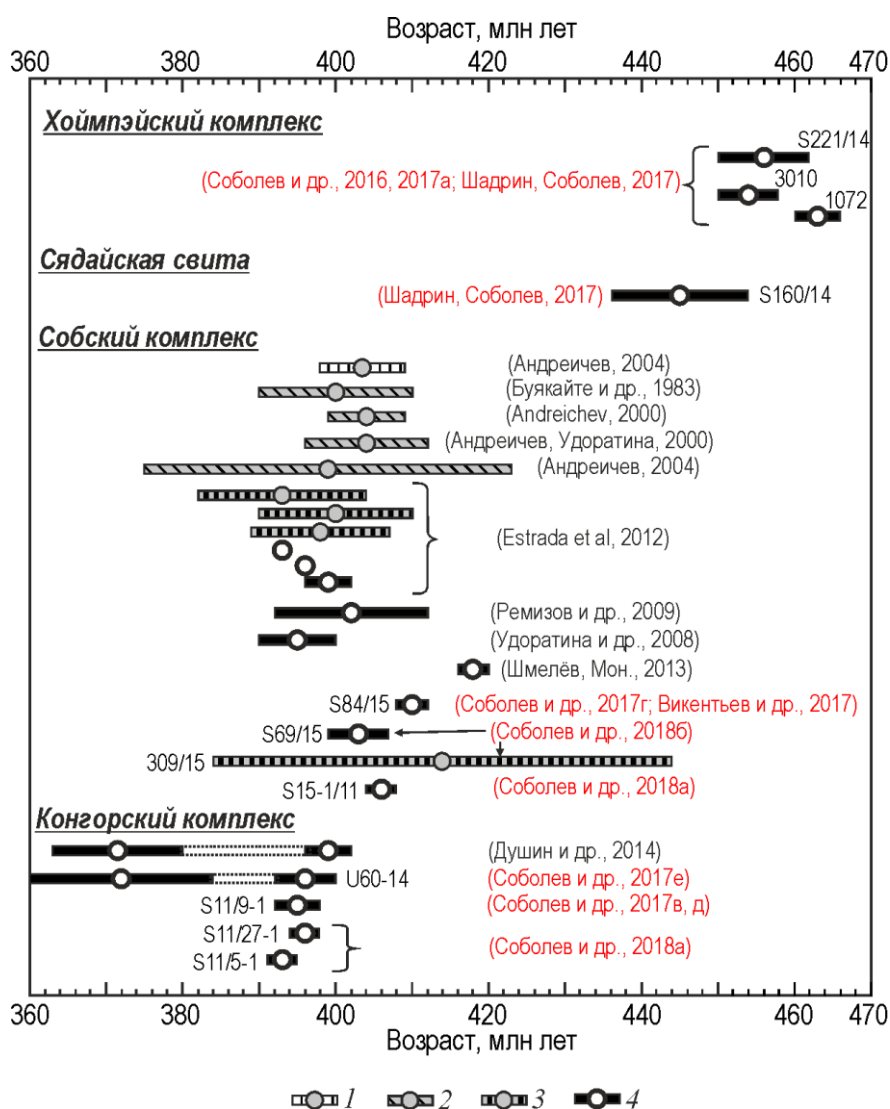


Рис. 4. Данные изотопного датирования магматических пород Полярного Урала. Методы изотопного датирования: 1 – K/Ar; 2 – Rb/Sr; 3 – Ar/Ar; 4 – U/Pb. Красным цветом даны ссылки на работы диссертанта, черным – данные других авторов

3.2. Войкарская зона

В Войкарской зоне по р. Хараматолоу изучена нижняя часть стратотипического разреза устьконгорской свиты. А.П. Прямонов считает, что вулканиты этой свиты сформировались в геодинамической обстановке близкой к СОХ (Прямонов и др., 2010), а Д.Н. Ремизов (Ремизов и др., 2014) относит аналогичные

образования войкарской свиты более южных районов Полярного Урала к раннеостроводужным. Средне-позднеордовикский возраст устьконгорской свиты обоснован фаунистически (Лупанова, Маркин, 1964; Прямоносков, Бороздина, 2006; Прямоносков и др., 2010).

В нижней части изученного разреза устьконгорская свита представлена апобазальтовыми милонитами, апобазальтовыми хлорит-альбит-тремолитовыми, цоизит-альбитовыми и альбит-эпидот-актинолитовыми сланцами, с маломощными зонами углеродистых кварцито-сланцев. Выше по разрезу залегают переслаивающиеся в разной степени измененные туфы, туффиты и андезиты, а затем – милонитизированные разности андезибазальтов и апоандезибазальтовые эпидот-альбит-хлоритовые и эпидот-альбит-актинолитовые сланцы (Соболев и др., 2017б).

Вулканиты устьконгорской свиты относятся к нормально-щелочным натриевым базальтам, андезибазальтам и андезитам (рис. 2). При увеличении содержания SiO_2 от 48,8 до 60,3 мас. % уменьшается содержание TiO_2 (1,5→0,5 мас. %), Al_2O_3 (18,2→11,1 мас. %), $\text{FeO}_{\text{total}}$ (14,9→5,4 мас. %) и CaO (11,4→5,0 мас. %). Вариации MgO , Na_2O , K_2O и P_2O_5 хаотичны (Соболев и др., 2017б), что вероятно связано с зеленосланцевым метаморфизмом пород.

Базальты и андезибазальты по характеру распределения РЗЭ могут быть разделены на две группы. Первая группа представлена базальтами, для которых характерно слабое обогащение ТРЗЭ (Er, Tm, Yb, Lu) относительно ЛРЗЭ (La, Ce, Pr, Nd) ($\text{La}_n/\text{Yb}_n - 0,76-0,97$), а также слабое обогащение средними РЗЭ (Sm, Gd, Tb, Dy, Ho) относительно ЛРЗЭ ($\text{La}_n/\text{Sm}_n - 0,53-0,80$). Вторая группа пород представлена андезибазальтами и базальтами, обогащенными ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ ($\text{La}_n/\text{Yb}_n - 1,59-3,06$). Андезитовые туффиты характеризуются наибольшей величиной $\text{La}_n/\text{Yb}_n - 7,86$ (Соболев и др., 2017б). На мультиэлементной диаграмме (рис. 3) спектры распределения микроэлементов в породах устьконгорской свиты характеризуются обогащением КИЛЭ (Cs, Rb, Ba, Th, U, Pb, Sr) относительно ВЗЭ (Ta, Nb, Zr, Hf, Y, ТРЗЭ). Отчетливо проявлены отрицательные – Ta-Nb, Zr-Hf – и положительные – Pb, Sr, U-Th – аномалии. Концентрация ЛРЗЭ повышена, а средних РЗЭ и ТРЗЭ понижена относительно среднего состава NMORB и близка к составу EMORB (Соболев и др., 2017б).

Порфиновые структуры вулканитов и закономерные вариации содержаний TiO_2 , Al_2O_3 , $\text{FeO}_{\text{total}}$, и CaO можно рассматривать как свидетельство наличия про-

межуточных магматических камер и ведущей роли процесса кристаллизационного фракционирования при формировании вулканических пород устьконгорской свиты.

На классификационных диаграммах $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}_{\text{total}}-\text{MgO}$ (Irvine, Baragar, 1971); $\text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}-\text{TiO}_2$ (Miyashiro, 1974); $\text{SiO}_2-\text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}$ (Miyashiro, 1974); $\text{MnO} \cdot 10-\text{TiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 10$ (Mullen, 1983) фигуративные точки составов вулкаников устьконгорской свиты попадают в области, соответствующие ОД базальтоидам толеитовой и известково-щелочной серий (Соболев и др., 2017б).

Глава 4. Магматизм стадии зрелой островной дуги

В Войкарской зоне Полярного Урала plutонические породы глубинных уровней палеозойской островной дуги представлены габброидами, диоритами и плагиогранитоидами собского комплекса и габброидами, диоритами и монцонитоидами конгорского комплекса. Собский комплекс сложен биотит-роговообманковыми породами, в них практически нет пироксенов, очень характерных для конгорского комплекса. В ранней и главной фазах конгорского комплекса, наряду с амфиболами и биотитом, обычно присутствие ромбического и моноклинного пироксенов, в поздней фазе ромбический пироксен исчезает, но реликты моноклинного все же постоянно присутствуют. Составы клино- и ортопироксенов от ранней к поздней фазе конгорского комплекса становятся все более магнезиальными (67,9→77,8 и 57,0→64,0). По сравнению с породами собского комплекса, в породах конгорского комплекса заметно выше содержание калиевого полевого шпата, плагиоклаз имеет менее кальциевый состав, а роговая обманка – более магнезиальная, калиевая и менее глиноземистая (Соболев и др., 2018а).

Порфириовидная структура пород конгорского и собского комплексов свидетельствует об относительно небольшой глубине застывания расплава, а наличие в их составе роговой обманки и биотита – о вероятной высокой флюидонасыщенности магмы. Рассчитанная по геотермобарометрам (Johnson, Rutherford, 1989; Ridolfi et al., 2010) глубина и температура формирования пород конгорского и собского комплексов составляет 3,6–12,7 км, 783–860°C и 8,6–14,4 км, 859±22°C соответственно. Содержание воды в расплаве, равновесном с кристаллизующейся роговой обманкой, оценивается в 5–8 мас. %, что характерно для надсубдукционных расплавов. Оно уменьшается от ранней фазы собского комплекса к поздней фазе конгорского комплекса (Соболев и др., 2018а).

Породы собского комплекса образуют непрерывную известково-щелочную габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовую серию, в которой преобладают кварцевые диориты и тоналиты (рис. 2). Для конгорского комплекса характерен переход от пород нормальной щелочности с умеренным содержанием калия к субщелочным высококалийным составам. При этом выделяются две серии: породы ранней и частично главной фазы образуют известково-щелочную габбронорит-габбродиорит-диорит-кварцеводиоритовую серию, а оставшаяся часть пород главной фазы и породы поздней дайковой фазы можно объединить в высококалийную, переходящую в шошонит-латитовую непрерывную монцогаббродиорит-монцодиорит-кварцевомонцодиорит-сиенитовую серию (Соболев и др., 2018а) (рис. 2).

Спектры распределения элементов-примесей в породах собского и конгорского комплексов демонстрируют обогащение ЛРЗЭ относительно ТРЗЭ (La/Yb – 1,7–5,9 и 1,4–4,2) и КИЛЭ (Cs, Rb, Ba, Sr) относительно ВЗЭ (Zr, Hf, Y и РЗЭ), с хорошо выраженными максимумами Pb, Sr, U-Th и минимумами Nb и Ta (рис. 3). С увеличением содержания K_2O в породах конгорского комплекса и их переходом в область составов высококалийной известково-щелочной и шошонит-латитовой серий относительная обогащенность ЛРЗЭ и КИЛЭ усиливается (Соболев и др., 2018а).

В результате U–Pb датирования цирконов установлены близкие конкордантные значения возрастов для цирконов из габбродиоритов (406 ± 2 млн лет), диоритов (410 ± 2 млн лет) и плагиогранитов (402 ± 4 млн лет) собского комплекса (Соболев и др., 2018а; Соболев и др., 2017г; Викентьев и др., 2017; Соболев и др., 2018б), а также для цирконов из габбродиоритов (396 ± 1 , 393 ± 2 млн лет), диоритов (397 ± 5 млн лет) и монцодиоритов (395 ± 3 млн лет) конгорского комплекса (Соболев и др., 2018а; Соболев и др., 2017в, д, е) (рис. 4). Полученные данные о возрасте, с учетом данных предшественников (Андреичев, 1996, 2004, Буякайте и др., 1983; Андреичев, Удоратина, 2000; Estrada et al., 2012; Ремизов и др., 2009; Удоратина и др., 2008; Шмелев, Мон, 2013; Душин и др., 2014; Зылева и др., 2014 и др.) (рис. 4) позволили установить, что наибольшие объемы ОД магматических пород, относящихся к известково-щелочной габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовой серии (собский комплекс), сформировались в лохковско–раннеэйфельское время (418–393 млн лет). В позднеэмско-раннеэйфельское время (399–393 млн лет) об-

разовывались значительно меньшие тела, сложенные более калиевыми породами конгорского комплекса. Их формирование, вероятно, связано с затуханием девонского надсубдукционного магматизма и уменьшением степени частичного плавления в очаге магмогенерации или вовлечением второго магматического источника (Соболев и др., 2018а).

Глава 5. Результаты датирования детритовых цирконов

из островодужных обломочных пород

5.1. Войкарская зона

U-Pb датирование цирконов из туффилов (рис. 1 Б) нижней части устьконгорской (O₂₋₃) свиты (р. Хараматолоу, обр. K11-1/11) дало диапазон возрастов 331–3055 млн лет (Соболев и др., 2017б) (рис. 5 А). Единичные силурийско-каменноугольные датировки (от 331±7 до 433±10 млн лет) существенно моложе фаунистических определений возраста устьконгорской свиты; цирконы, вероятно, омоложены. Только одна датировка (452±14 млн лет) не противоречит возрасту свиты. В туффилах преобладают цирконы с палеопротерозойско-мезопротерозойскими возрастными 1017–2126 млн лет (83%). Возраст пяти наиболее древних зерен – неоархейский (2650–2703 млн лет) и мезоархейский (3055±59 млн лет) (Соболев и др., 2015а, 2017б).

В верховьях руч. Погрымшор изучена пачка переслаивания вулканомиктовых песчаников и алевролитов малоуральской (S₂-D₂) свиты (рис. 1 Б). В результате U-Pb датирования DZ из песчаников (обр. U22-12) получен диапазон возрастов 419–2733 млн лет (Соболев и др., 2015, 2017б) (рис. 5 Б). Возраст наиболее молодого зерна (419±30 млн лет), вероятно, близок к нижнему пределу осадконакопления малоуральской свиты, а наиболее древнего – 2733±29 млн лет (неоархей). Наибольшее количество датировок (около 50%) попадает в интервал 475–763 млн лет (неопротерозой – ранний ордовик). Цирконы с мезо-палеопротерозойскими возрастными (1167–1893 млн лет) составляют около 42% (Соболев и др., 2015а, 2017б).

5.2. Щучинская зона

В нижнем течении р. Тальбей-Яха датированы (Соболев и др., 2018в) DZ из вулканомиктовых песчаников верхней части вулканогенно-терригенного разреза ензорской толщи (D₂₋₃) (рис. 1 Б), которые по содержанию петрогенных элементов сопоставимы с граувакками островных дуг. Нормированные к составу примитив-

ной мантии спектры распределения элементов-примесей в песчаниках энзорской толщи характеризуются обогащением Ba, Th и U относительно P3Э, Zr, Hf, также в них отчетливо проявлены Ta-Nb минимум и Pb-максимум (Соболев и др., 2018в).

В результате U-Pb датирования DZ получен значительный диапазон возрастов от 721 до 2703 млн лет (рис. 5 В). Наиболее молодые цирконы имеют неопро-

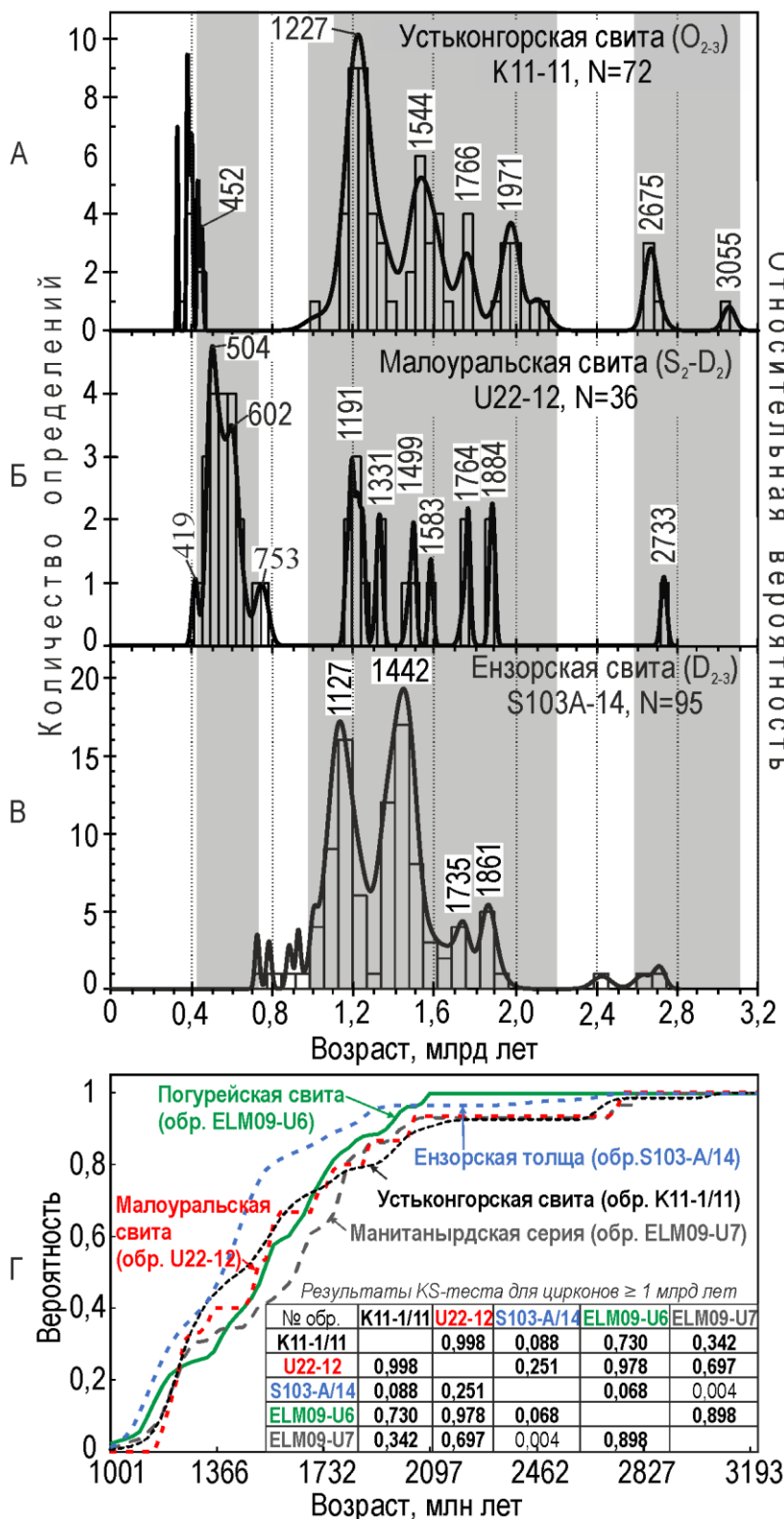


Рис. 5. Результаты U-Pb датирования DZ Войкарской и Щучинской зон Полярного Урала и их сравнение с данными по DZ Западно-Уральской мегазоны. А-В – гистограммы и кривые вероятности распределения возрастов DZ из обломочных пород Полярного Урала: А – из туффигов устьконгорской свиты (O_{2-3}), Б – из вулканомитовых песчаников малоуральской свиты (S_2-D_2) Войкарской зоны; В – из вулканомитовых песчаников энзорской толщи (D_{2-3}) Щучинской зоны. Г – Кумулятивные кривые и результаты K-S-теста для возрастов DZ (≥ 1 млрд лет): из туффигов устьконгорской (обр. K11-1/11), песчаников малоуральской (обр. U22-12) свит Войкарской зоны, песчаников энзорской толщи (обр. S103-A/14) Щучинской зоны (Соболев и др., 2017б, 2018в), а также погурейской свиты (обр. ELM09-U6) и манитанырдской серии (обр. ELM09-U7) Западно-Уральской мегазоны Полярного Урала по данным (Соболева и др., 2012)

терозойские возрасты – 721–998 млн лет (5%). Среди цирконов с возрастом от 1 до 2 млрд лет, на долю которых приходится 92%, преобладают зерна с мезопротерозойскими возрастными – 1030–1294 и 1333–1508 млн лет с максимумами плотности вероятности (МПВ) – 1127 и 1442 млн лет, соответственно. Мезопротерозойско-палеопротерозойских цирконов (1547–1890 млн лет с двумя МПВ 1735 и 1861 млн лет) существенно меньше. Наиболее древние зерна – 2418, 2619, 2703 млн лет (Соболев и др., 2018в).

Среди исследованных DZ из ОД вулканогенно-терригенных пород Войкарской и Щучьинской зон Полярного Урала содержится значительное количество зерен с возрастными древнее 1 млрд лет, наиболее распространены цирконы с возрастными 1–2 млрд лет. Практически такие же возрастные распределения характерны для цирконов из верхнекембрийско-нижнеордовикских песчаников манитаньрдской серии и погурейской свиты Западно-Уральской мегазоны Полярного Урала, образование которых происходило за счет эрозии орогена Протоуралид-Тиманид и включенных в его состав магматических комплексов активной окраины Арктиды и кристаллических комплексов Аркт-Европы (Соболева и др., 2012) (рис. 5 А–В).

Применение теста Колмогорова-Смирнова (рис. 5 Г) для датировок древнее 1 млрд лет показало, что $P(KS)$ почти во всех случаях значительно превышает пороговое значение 0,05, что говорит о высокой степени сходства распределений. Это сходство, а также наличие в ОД обломочных породах и в песчаниках Западно-Уральской мегазоны цирконов с позднепротерозойско-раннеордовикскими возрастными, свидетельствует о преобладании близких по возрасту питающих провинций, поставивших обломочный материал как на уральскую континентальную окраину Аркт-Европы (начиная с середины силура – Аркт-Лавруссии), так и в ордовикско-девонские ОД вулканогенные породы (Соболев и др., 2015а, 2017б, 2018в). Такая ситуация соответствует геодинамической модели (Кузнецов, Романюк, 2014), согласно которой в процессе позднекембрийско-раннеордовикского рифтинга от уральского края Аркт-Европы откололся микроконтинент (рис. 6), отделенный от нее Войкарским спрединговым бассейном. Не позднее среднего – позднего ордовика (Соболев и др., 2016, 2017г, е; Шадрин, Соболев, 2017) началось формирование островной дуги на этом микроконтиненте, и зона субдукции стала погружаться под микроконтинент (рис. 6 А), а Войкарский бассейн с новообразованной ко-

рой океанического типа трансформировался в задуговой бассейн.

Преобладание докембрийских DZ в ордовикско-девонских обломочных породах позволяет предполагать наличие докембрийского фундамента в основании ОД системы Полярного Урала (Соболев и др., 2017б).

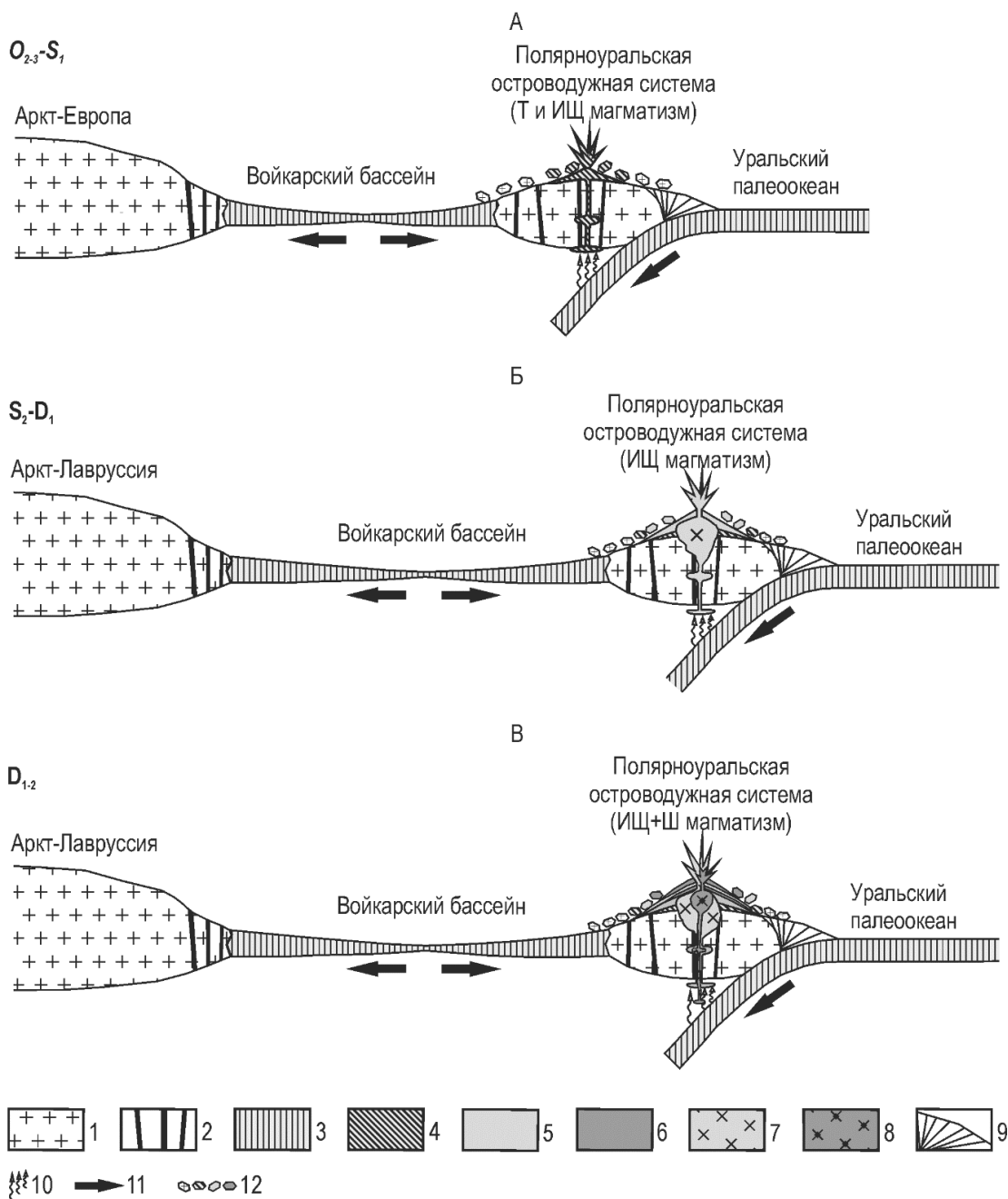


Рис. 6. Палеотектонические реконструкции Полярноуральской ОД системы (по данным (Кузнецов, Романюк, 2014), с изменениями и дополнениями).

Палеопрофили вкрест Полярноуральского сегмента Уральского орогена: А – средне-позднеордовикско-раннесилурийский, Б – позднесилурийско-раннеэзмский; В – позднеэзмский и раннеэйфельский (рубеж раннего и среднего девона). Магматические серии пород: Т – толеитовая, ИЩ – известково-щелочная, Ш – шошонит-латитовая.

1 – преимущественно докембрийская кора; 2 – рифтогенные магматические образования (Є3-О1); 3 – океаническая кора; 4 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования

устьконгорской и сядайской свит (O_{2-3}); 5 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования малоуральской свиты (S_2-D_2); 6 – рифовые известняки, шошониты, латиты и известково-щелочные вулканиты верхней части малоуральской свиты (D_{1-2}); 7 – габброиды и плагиогранитоиды собского комплекса (D_{1-2}); 8 – габброиды, диориты и монцонитоиды конгорского комплекса (D_{1-2}); 9 – аккреционная призма; 10 – дегидратация слэба; 11 – направления относительного движения плит; 12 – обломочные породы, отлагающиеся на склонах островной дуги за счет эрозии вулканических построек и торчащих фрагментов докембрийского фундамента

Глава 6. Ордовикско-девонские надсубдукционные комплексы в геологической истории развития Полярного Урала

В начале главы кратко резюмируются результаты, предыдущих глав. Основные тезисы касаются: 1) ордовикского этапа Полярноуральской ОД системы, который ранее не был надежно обоснован; 2) субсинхронного проявления в ранне-среднедевонское время плагиогранитоидного и монцонитоидного ОД магматизма в Войкарской зоне Полярного Урала; 3) наличия докембрийского фундамента в основании ордовикско-девонской ОД системы. Во второй половине главы новые данные рассмотрены уже в контексте палеозойской истории геологического развития Щучьинского и Войкарского сегментов Полярноуральской ОД системы.

Заключение

По результатам проведенных исследований предложены уточнения истории эволюции магматизма Полярного Урала и обоснован один из современных вариантов палеотектонических реконструкций для области палеозойской ОД системы восточного склона Полярного Урала.

Обоснован средне-позднеордовикский возраст и надсубдукционное происхождение гранитоидов и вулканитов Щучьинской зоны. Выяснено, что вулканиты устьконгорской свиты (O_{2-3}) Войкарской зоны сформировались в ОД обстановке. Таким образом, установлено время начала закрытия Палеоуральского океана.

Для Войкарской зоны показано, что формирование пород собского и конгорского плутонических комплексов было сильно сближено во времени – 418–393 и 399–393 млн лет соответственно.

Преобладание докембрийских DZ в ордовикско-девонских обломочных породах позволяет предполагать наличие докембрийского фундамента в основании ОД системы Полярного Урала.

**СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**
**Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI,
а также в изданиях, рекомендованных для защит
в диссертационном совете МГУ по специальности**

1. *Соболева А.А., Карчевский А.Ф., Ефанова Л.И., Кузнецов Н.Б., Гроув М., Соболев И.Д., Маурин М.В.* Свидетельства позднерифейского гранитообразования на территории Полярного Урала // Доклады академии наук. 2012. Т. 442. № 4. С. 524–530.
2. *Соболев И.Д., Шадрин А.Н., Расторгуев В.А., Козырева Д.А.* Раннеостроводужные гранитоиды Щучьинской зоны Полярного Урала (результаты U-Pb (SIMS) датирования цирконов) // Вестн. МГУ. Сер. 4 Геология. Изд-во Моск. ун-та. 2017а. № 1. С. 22–32.
3. *Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Канева Т.А., Куликова К.В., Викентьев И.В., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Хоуриган Дж.К.* Первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из палеозойских островодужных обломочных пород Полярного Урала // Бюлл. МОИП. Отдел геол. 2017б. Т. 92. Вып. 4. С. 3–26.
4. *Викентьев И.В., Мансуров Р.Х., Иванова Ю.Н., Тюкова Е.Э., Соболев И.Д., Абрамова В.Д., Выхристенко Р.И., Хубанов В.Б., Трофимов А.П., Грознова Е.О., Двуреченская С.С., Кряжев С.Г.* Золото-порфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541.
5. *Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Варламов Д.А., Хоуриган Дж.К., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Соболева Д.А.* Девонский островодужный магматизм Войкарской зоны Полярного Урала // Геотектоника. 2018а. № 5. С. 39–74.

**Статьи в журналах, входящих в перечень изданий,
рекомендованных ВАК при Минобрнауки России**

6. *Соболев И.Д., Соболева А.А., Варламов Д.А.* Возраст монцодиорит-порфиров из поздней дайковой фазы Конгорского массива (Полярный Урал) по результатам U-Pb (SIMS)-датирования цирконов // Вестн. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН. 2017в. № 12. С. 16–24.

Иные публикации

7. **Соболев И.Д., Хоуриган Дж.К., Соболева А.А.** Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования цирконов из пород Конгорского массива (Полярный Урал). // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Мат-лы 21 науч. конф. Сыктывкар: Геопринт. 2012. С. 215–218.
8. **Соболев И.Д.** Новые данные об особенностях состава и возрасте пород Конгорского массива (Полярный Урал). // От минералогии до геохимии. Сборник науч. трудов к 130-летию со дня рождения академика А.Е. Ферсмана. Крым. 2013. С. 186–191.
9. **Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоротина О.В., Хоуриган Дж.К.** Первые результаты U-Pb датирования детритных цирконов из вулканогенно-терригенных пород малоуральской свиты, Полярный Урал // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Мат-лы 24 науч. конф. Сыктывкар: Геопринт. 2015а. С. 148–152.
10. **Соболев И.Д., Удоротина О.В., Кобл М.** U-Pb (SIMS) возраст цирконов из диоритов конгорского комплекса (массив Диоритовый, Полярный Урал) // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. Мат-лы VI Рос. конф. по изотопной геохронологии. СПб: Springer. 2015б. С. 284–285.
11. **Соболев И.Д., Шадрин А.Н., Расторгуев В.А.** Первые результаты U-Pb (SIMS) датирования цирконов из островодужных гранитоидов хоймпэйского плутонического комплекса Щучьинской зоны Полярного Урала // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Мат-лы Третьей Всерос. конф. с междунар. участием. Владивосток: Дальнаука. 2016. С. 232–235.
12. **Соболев И.Д., Латышев А.В., Викентьев И.В., Козырева Д.А., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д.** Результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования цирконов и первые палеомагнитные данные из интрузивных пород месторождений Петропавловское и Новогоднее-Монто, Полярный Урал // Металлогения древних и современных океанов–2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Мат-лы XXIII молод. науч. школы. Миасс: ИМин УрО РАН. 2017г. С. 210–213.
13. **Соболев И.Д., Соболева А.А., Кобл М.А., Варламов Д.А.** Результаты U-Pb SIMS датирования и микроэлементный состав цирконов из монцодиоритов Кон-

горского массива, Полярный Урал // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Мат-лы XXVI науч. конф. Сыктывкар: Геопринт. 2017д. С. 203–209.

14. **Соболев И.Д., Удоратина О.В., Ген Ц.** Возраст и изотопно-геохимические характеристики диоритов конгорского комплекса (массив Диоритовый, Полярный Урал) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. Сборник статей V Всерос. молод. геол. конф. Уфа: ООО Альфа-реклама. 2017е. С. 132–139.

15. **Соболев И.Д., Викентьев И.В., Соболева А.А., Травин А.В.** Результаты U/Pb SIMS датирования цирконов и $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ возраст плагиоклаза из пород собского комплекса (Петропавловское золоторудное месторождение, Полярный Урал) // Методы и геологические результаты изучения изотопных геохронометрических систем минералов и пород. Мат-лы конф. М.: ИГЕМ РАН. 2018б. С. 398–401.

16. **Соболев И.Д., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д.** Первые результаты U-Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из средне-верхнедевонских островодужных песчаников Щучьинской зоны Полярного Урала. Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит. Мат-лы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Владивосток: Дальнаука. 2018в. С. 103–104.

17. **Шадрин А.Н., Соболев И.Д.** Результаты геохронологических исследований магматических пород Сибилейской площади (Восточный склон Полярного Урала) // Горные ведомости. 2017. № 2 (150). С. 54–69.