



Ершова Виктория Бэртовна

**Реконструкция источников сноса и геодинамических обстановок формирования девон-пермских обломочных пород российского сектора Арктики (архипелаги Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова и север Сибири)**

Специальность 1.6.1– Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2024 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении  
высшего образования  
“Санкт-Петербургский государственный университет”

**Официальные оппоненты:**

**Гладкочуб Дмитрий Петрович**

член-корреспондент РАН, профессор РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор  
Института земной коры Сибирского отделения РАН (ИЗК СО РАН, г. Иркутск)

**Буслов Михаил Михайлович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, и.о. заведующего  
лабораторией геодинамики и магматизма Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения РАН (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск)

**Тевелев Александр Вениаминович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (г. Москва).

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва)

Дата защиты: 19 декабря 2024 г. в 14.30 на заседании Диссертационного совета 24.1.019.02, созданного  
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института  
Российской академии наук по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на  
соискание ученой степени доктора наук, по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр.1  
конференц-зал (4 этаж).

Отзыв в двух экземплярах, оформленный в соответствии с требованиями ВАК, просим направлять  
секретарю совета к.г.-м.н. Латышевой И.В. по адресу: 119017, г.Москва, Пыжевский пер., д.7, стр.1,  
ГИН РАН, тел. (495)959-34-96, e-mail: loam@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГЕМ РАН, г.Москва, Старомонетный пер., 35 и  
на официальном сайте ГИН РАН: <http://ginras.ru/struct/>

Автореферат разослан

сентября 2023 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
к.г.-м.н.



И.В.Латышева

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность исследований

Арктический регион России – пассивная окраина северной Евразии уникален, прежде всего, значительно более широким распространением шельфовых бассейнов, чем на других пассивных окраинах Мира, а также сочленением современной зоны спрединга (хребет Гаккеля) с континентальной корой Сибири. Изучение геологического строения этого уникального природного объекта необходимо для понимания эволюции планеты Земля и построения моделей происходивших в ней процессов. Важную роль играет и прикладной аспект – Арктика является одним из наиболее перспективных регионов для прироста ресурсной базы России, главным образом углеводородов. Осадочный чехол и фундамент морей восточной Арктики не вскрыт глубокими скважинами и непосредственные наблюдения возможны лишь в прибрежных частях континента и на островах. Это обусловило многочисленные дискуссии о геологической эволюции арктического региона и появление различных концепций его геодинамического развития. Если мезо-кайнозойская геологическая история хоть и вызывает споры, но последовательность геологических событий этого возраста реконструирована значительно на более детальном уровне, чем для более древних этапов развития арктического региона. Реконструкция девон-пермской геологической эволюции Арктики во многом затрудняется наложенными мезо-кайнозойскими тектоно-магматическими событиями, приведшими к открытию молодых океанических бассейнов, которые разобщили некогда единые континентальные блоки. Большой частью с этим связано существование различных геодинамических моделей развития Арктики в палеозое. Этим определяется актуальность проведенных исследований.

**Цели и задачи** – реконструкция источников сноса девон-пермских терригенных отложений российского сектора Арктики, определение последовательности геодинамических и палеогеографических обстановок в девоне–перми.

В задачи исследования входило:

- Анализ собственных данных и материалов предшественников по стратиграфической полноте, составу и фаціальным особенностям девон-пермских отложений Арктики, тектонике и проявлений синхронного магматизма.

- U-Pb датирование обломочных цирконов из девон-пермских отложений севера Сибирской платформы и окружающих складчато-надвиговых поясов, архипелагов Северная Земля и Новосибирские острова, а также реконструкция источников сноса обломочного материала.

- Реконструкция домезозойской осадочной последовательности северо-востока баренцевоморского шельфа на основе комплексных аналитических исследований каменноугольных отложений из скв. Нагурская и нижнеюрских конгломератов архипелага Земля Франца-Иосифа.

- (U-Th)/He датирование обломочных цирконов из палеозойских отложений изученного региона для реконструкции тектонических событий и источников сноса обломочного материала.

- Определение последовательности тектонических событий и геодинамических обстановок позднего палеозоя изученного региона.

- Определение основных этапов геологической эволюции арктического региона в девон-пермское время.

### Фактический материал

В основу представленной работы положены материалы, собранные лично автором с 2009 по 2022 г. при проведении полевых работ на севере Сибирской платформы, п-ове Таймыр, архипелагах Северная Земля, Новосибирские острова, Земля Франца Иосифа, Новая Земля, северо-западе Московской синеклизы и при описании керна скважин, пробуренных на Сибирской платформе и п-ове Гыдан (рис. 1.). Также обрабатывались переданные коллегами коллекции каменного материала, отобранные на арх. Северная Земля и северном Таймыре (Макарьев А.А., Макарьева Е.А.), Таймыре (Проскурнин В.В., Худолей А.К., Тучкова М.И.), из скважин северо-востока Сибирской платформы (Худолей А.К.), пермских отложений запада Лено-Анабарского прогиба (Тучкова М.И., Федоров П.В.), пермских отложений востока Лено-Анабарского прогиба (Прокопьев А.В.), скв. Нагурская (арх. ЗФИ, Костева Н.Н.), которым автор искренне признателен.

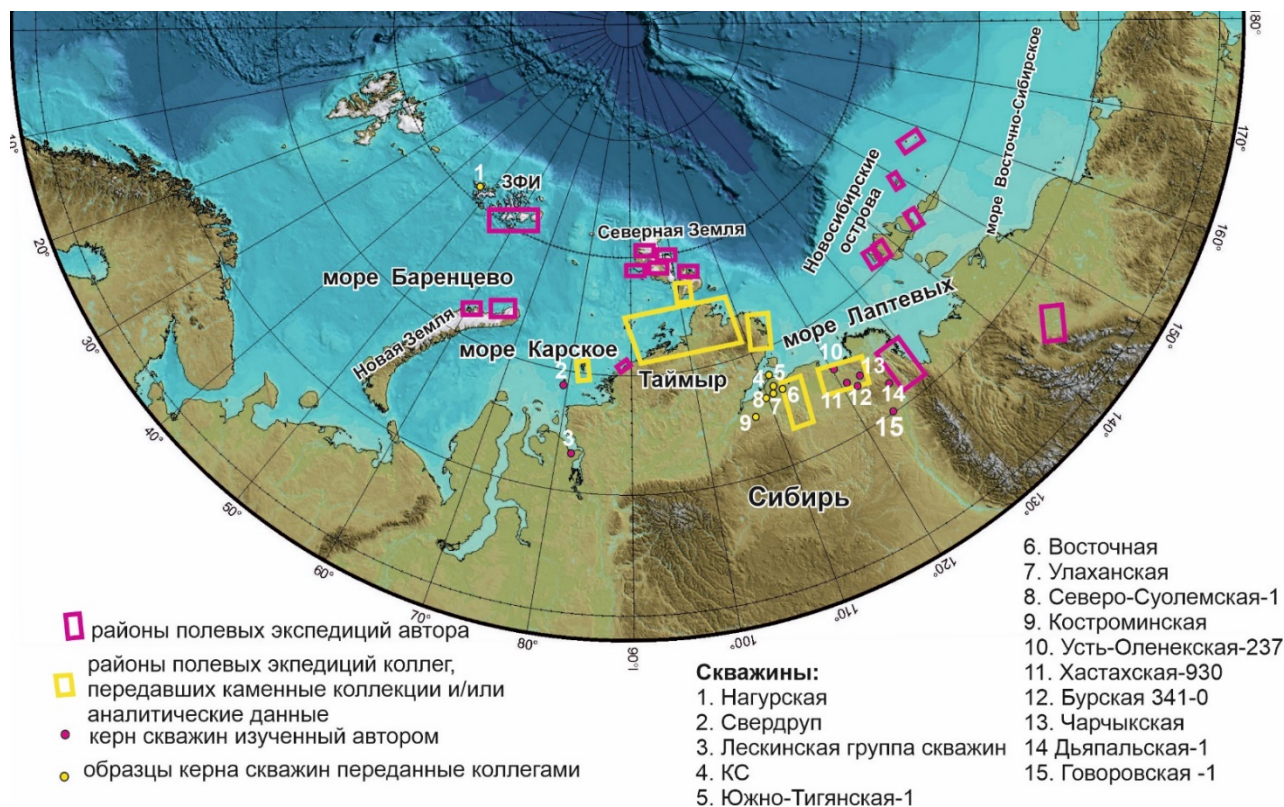


Рис. 1. Карта, иллюстрирующая районы полевых исследований и местоположение скважин, керновый материал из которых был использован в настоящей работе.

Всего автором было отобрано более 2000 образцов для дальнейших исследований. Было изготовлено и изучено более 900 шлифов, выделение тяжелой фракции проведено для более 200 образцов. U-Pb датирование цирконов и рутилов, (U-Th)/He датирование цирконов и апатитов проведено для более чем 150 образцов. Большая часть аналитических исследований проводилась лично автором в различных изотопных лабораториях.

### Научная новизна работы

Впервые на основе современных изотопно-геохронологических и термохронологических методов охарактеризованы палеозойские отложения архипелагов Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова, включая острова Де-Лонга.

Впервые проведено U-Pb датирование цирконов из девон-пермских отложений северной и северо-восточной окраин Сибирской платформы. Установлены основные источники сноса обломочных зерен и реконструирована крупная речная система позднего палеозоя.

Для Карского террейна (север п-ва Таймыр и арх. Северная Земля) установлены особенности распределения возрастов обломочных цирконов из кембрий-пермских отложений и реконструированы источники сноса терригенных отложений. Также впервые были проведены U-Pb датирование обломочных цирконов и реконструкция источников сноса для каменноугольных-нижнепермских отложений арх. Северная Земля. На основе двойного (U-Th)/He и U-Pb датирования цирконов установлена последовательность тектонических событий в источнике сноса палеозойских отложений Карского террейна и их влияние на поступление терригенного материала в бассейн осадконакопления. Установлена последовательность магматических событий палеозоя, дана их геодинамическая интерпретация и определена роль в тектонической истории региона.

Для арх. Новосибирские острова проведено U-Pb датирование обломочных цирконов из палеозойских отложений, охватывающее кембрийский-пермский интервал разреза, реконструированы источники сноса терригенных отложений. Выполнена палеогеографическая и геодинамическая интерпретация полученных данных. На основе (U-Th)/He датирования цирконов и апатитов установлены основные эпизоды воздымания территории и дана их геодинамическая интерпретация.

Для арх. Земля Франца-Иосифа установлена домезозойская осадочная последовательность, определены особенности осадконакопления и эпизоды магматизма в девоне-перми.



Комплексная интерпретация полученных данных позволила существенно уточнить имеющиеся модели палеозойской геологической эволюции арктического региона.

### **Основные защищаемые положения**

1) Верхнедевонские терригенные породы северо-востока Сибирской платформы имели местный источник сноса, присутствие в них популяции зерен обломочного циркона с возрастом около 400–390 млн лет свидетельствует о проявлении здесь магматизма среднего и кислого состава, связанного с эволюцией Якутско-Виллюйской крупной изверженной провинцией. Для визейско-пермских отложений северо-востока Сибирской платформы основными питающими провинциями являлись комплексы Урало-Монгольского складчатого пояса, включая его Таймырскую ветвь, и поднятия фундамента севера платформы. Обломочный материал, начиная с раннекаменноугольного времени, переносился крупной речной системой Палео-Хатанги, сформировавшей многокилометровую терригенную толщу на севере Верхоянской пассивной окраины Сибирского континента.

2) Основными источниками сноса для девонских осадочных толщ, слагающих передовой прогиб на севере Карского террейна (архипелаг Северная Земля), по данным U-Pb и (U-Th)/He (низкотемпературная термохронология) датирования цирконов являлись верхнедевонские и кембрийские комплексы северо-восточного продолжения Каледонского орогена, эксгумированные в результате двух эпизодов воздымания - в конце среднего ордовика (~ 465 млн лет) и в начале позднего девона (~ 380 млн лет). Для верхнекаменноугольно-нижнепермских отложений, выполнявших межгорные впадины, питающими провинциями были локальные поднятия в пределах Карского террейна, воздымание которых в основном произошло в турнейское время (~ 340 млн лет).

3) Источниками сноса для девонско-нижнекаменноугольных осадочных отложений арх. Новосибирские острова являлись комплексы фундамента континента Балтика и орогенов его северного и восточного обрамления (Каледонского, Гренвильско-Свеконорвежского, Тиманского). Резкая смена источников сноса терригенного материала произошла в пермское время, когда в этот осадочный бассейн стал поступать обломочный материал с Урало-Монгольского орогена после закрытия Уральского палеоокеана.

4) Показано, что в строении домезозойского фундамента северо-востока баренцевоморского региона (арх. Земля Франца-Иосифа) участвуют протерозойские-нижнекембрийские метаморфические породы, выше залегают нижнекаменноугольные песчаники, выполнявшие межгорные впадины, перекрытые ниже-верхнекаменноугольными платформенными карбонатными отложениями и, вероятно, нижнепермскими карбонатно-кремнистыми толщами. Выявлены два этапа гранитоидного магматизма: раннекембрийский (~520 млн лет) и каменноугольный (360–320 млн лет).

5) Территория арх. Новосибирские острова и Карский террейн в девонское и раннекаменноугольное время располагались вблизи северной окраины Лавруссии на северо-восточном (в современных координатах) продолжении Каледонского орогена; в позднекаменноугольно-пермское время после закрытия Таймырской ветви Уральского палеоокеана Карский террейн в составе Лавруссии приключился к северной окраине Сибири.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Геологическое строение и геодинамическая эволюция Арктики изучены значительно слабее, чем для других регионов Земли. Получение новых сведений об особенностях геологической эволюции региона в палеозое несомненно является важной фундаментальной задачей. Применение современных методов аналитических исследований позволило уточнить геодинамические модели предшественников и предложить авторские. Арктический регион богат различными месторождениями полезных ископаемых, а арктические шельфы содержат значительные залежи углеводородов, что определяет практическую значимость всестороннего изучения его геологического строения. Результаты проведенных исследований могут использоваться при проведении геологоразведочных работ различного масштаба и оценки нефтегазоносности региона.

### **Апробация работы**

Основные результаты и положения работы докладывались на российских и международных конференциях, в том числе в форме устных докладов: Тектоническое совещание, г. Москва (2013–2018, 2023), International Sedimentological Congress, Аргентина (2010), AAPG, США (2011, 2012),

AAPG/SEG, Великобритания (2017), EAGE, г. Санкт-Петербург (2010), 3P Arctic, Норвегия (2011, 2013, 2015), CSPG CSEG CWLS, Канада (2011), Современное состояние наук о Земле, г. Москва, Россия (2011), EGU General Assembly, Австрия (2014, 2016, 2019, 2020), AGU 100 Chapman Conference, Исландия (2019), ICAM VIII, Швеция (2018), GSA, США (2012, 2016, 2017), Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту), г. Иркутск (2015), Geo Convention, Канада (2010, 2012), GAC/MAC, Канада (2012).

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 95 работ, из них в рецензируемых изданиях, индексируемых в Web of Sciences и Scopus – 48 статей; 2 главы в монографических изданиях (в соавторстве).

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 7 глав, и заключения, списка литературы, включает 131 рисунок и занимает 362 печатные страницы.

### **Благодарности.**

Исследования были поддержаны в разные годы грантами РФФИ (10-05-00718, 13-05-00700, 16-05-00705, 19-05-00945), РФФИ (17-17-01171, 20-17-00169), внутренними грантами СПбГУ, грантами президента РФ, совместными проектами РФФИ и научного фонда Норвегии (16-55-20012), научным фондом Норвегии.

При проведении полевых исследований и изучении скважин неоценимую помощь оказали Бакай Е.А. (МГУ), Белякова О.А. (ВСЕГЕИ), Васильев Д.А. (ИГАБМ СО РАН), Васильев М.А. (НТЦ Газпромнефть), Вилесов А.П. (НТЦ Газпромнефть), Гагиева А.М. (СВКНИИ ДВО РАН), Ульянов Г.В. (ПАО Роснефть), Зверьков Н.Г. (ГИН РАН), Калинин М.А. (ВСЕГЕИ), Леонтьев Д.И. (ВСЕГЕИ), Малышев С.В. (СПбГУ), Никишин А.М. (МГУ), Никишин В.А. (ПАО Роснефть), Петров Е.О. (ВСЕГЕИ), Проскурнин В.Ф. (ВСЕГЕИ), Рогов М.А. (ГИН РАН), Синдерский И.В. (ВСЕГЕИ), Соболев Н.Н. (ВСЕГЕИ), Старикова Е.В. (ВСЕГЕИ), Шманяк А.В. (ВСЕГЕИ), Юдин С.В. (ВСЕГЕИ). Всем им автор выражает глубокую признательность.

Отдельные вопросы геологического строения и эволюции арктического региона обсуждались с Акининым В.В. (СВКНИИ ДВО РАН), Соколовым С.Д. (ГИН РАН), Лучицкой М.В. (ГИН РАН), Моисеевым А.В. (ГИН РАН), Тучковой М.И. (ГИН РАН), Худолеем А.К. (СПбГУ), Прокопьевым А.В. (ИГАБМ СО РАН), Никишиным А.М. (МГУ), Вержбицким В.Е. (ПАО Роснефть), Малышевым Н.А. (ПАО Роснефть), Проскурниным В.Ф. (ВСЕГЕИ), Драчевым С.С. (ArcGeoLink), Кураповым М.Ю. (СПбГУ), за что автор выражает им благодарность.

Особую благодарность хочется выразить Клишевич И.А. (СПбГУ) и д.г.-м.н. Бискэ Г.С. (СПбГУ), встреча с которыми в школьные годы зародила интерес к геологии, и чья поддержка в годы учебы и дальнейшей работы не дала свернуть с намеченного пути.

Неоценимую помощь оказали мои коллеги, аспиранты и студенты Санкт-Петербургского государственного Университета при выполнении исследований и обсуждении результатов.

Исследования Сибирской платформы и арктических регионов были бы невозможны без поддержки д.г.-м.н. Худолея А.К. (СПбГУ) и к.г.-м.н. Прокопьева А.В. (ИГАБМ СО РАН), которым автор выражает глубокую признательность.

Особенная благодарность моим друзьям и семье, которые долгие годы мирились с моими длительными экспедициями и поддерживали на всех этапах моей работы.

### **Глава 1. Методы исследований.**

В данном разделе приводятся сведения об аналитических методиках и лабораториях, в которых проводились исследования, положенные в основу данной работы, включающие: полевые и петрографические исследования (более 900 шлифов), U-Pb (более 70 образцов) и (U-Th)/He (более 30 образцов) датирование обломочных и магматических цирконов, Lu-Hf (5 образцов) характеристика цирконов, U-Pb датирование рутилов (3 образца).

### **Глава 2. Север Сибирской платформы и смежные складчато-надвиговые пояса.**

#### **2.1. Общие сведения о геологическом строении.**

Архейско-палеопротерозойские породы кристаллического фундамента обнажаются на Анабарском щите и Оленекском поднятии. К северу и востоку они перекрыты различными по мощностям преимущественно мезопротерозойско-мезозойскими осадочными комплексами.

## 2.2. Фундамент.

Фундамент Сибири является коллажем террейнов, которые выделяются в основном по геофизическим данным и немногочисленным скважинам (Розен, 2003; Smelov, Timofeev, 2007; Donskaya, 2020). Террейны объединяют в более крупные единицы – супертеррейны и тектонические провинции: Тунгусская, Анабарская, Оленекская, Алданская и Становая. Провинции сложены в основном архейскими породами с возрастом от 3.2 до 2.5 млрд. лет, с несколькими этапами метаморфизма в интервале возрастов 2.7–2,4 млрд лет (Розен, 2003; Smelov, Timofeev, 2007; Donskaya, 2020). Амальгамация террейнов фундамента Сибирской платформы произошла в палеопротерозое, что подчеркнуто интенсивным метаморфизмом и внедрением коллизионных гранитоидов около 1.9–1.8 млрд лет назад (Ковач, 1994; Розен, 2003; Frost et al, 1998; Smelov, Timofeev, 2007; Donskaya, 2020 и ссылки в этих работах). С позднего палеопротерозоя и до середины неопротерозоя в пределах фундамента Сибирского кратона не отмечается значительного магматизма кислого и среднего состава и метаморфизма. Это закономерность в научной литературе получила название “Siberian Gap” – Сибирский амагматический интервал (Gladkochub et al., 2010).

## 2.3. Северо-восток Сибирской платформы (Хатангская седловина, Лено-Анабарский прогиб, север Хараулахского антиклинория).

### 2.3.1. Стратиграфия.

В этом разделе приводятся сведения о девон-пермских отложениях Хатангской седловины, Лено-Анабарского прогиба и низовьев р. Лены (включая Хараулахский антиклинорий) рис. 2.1.

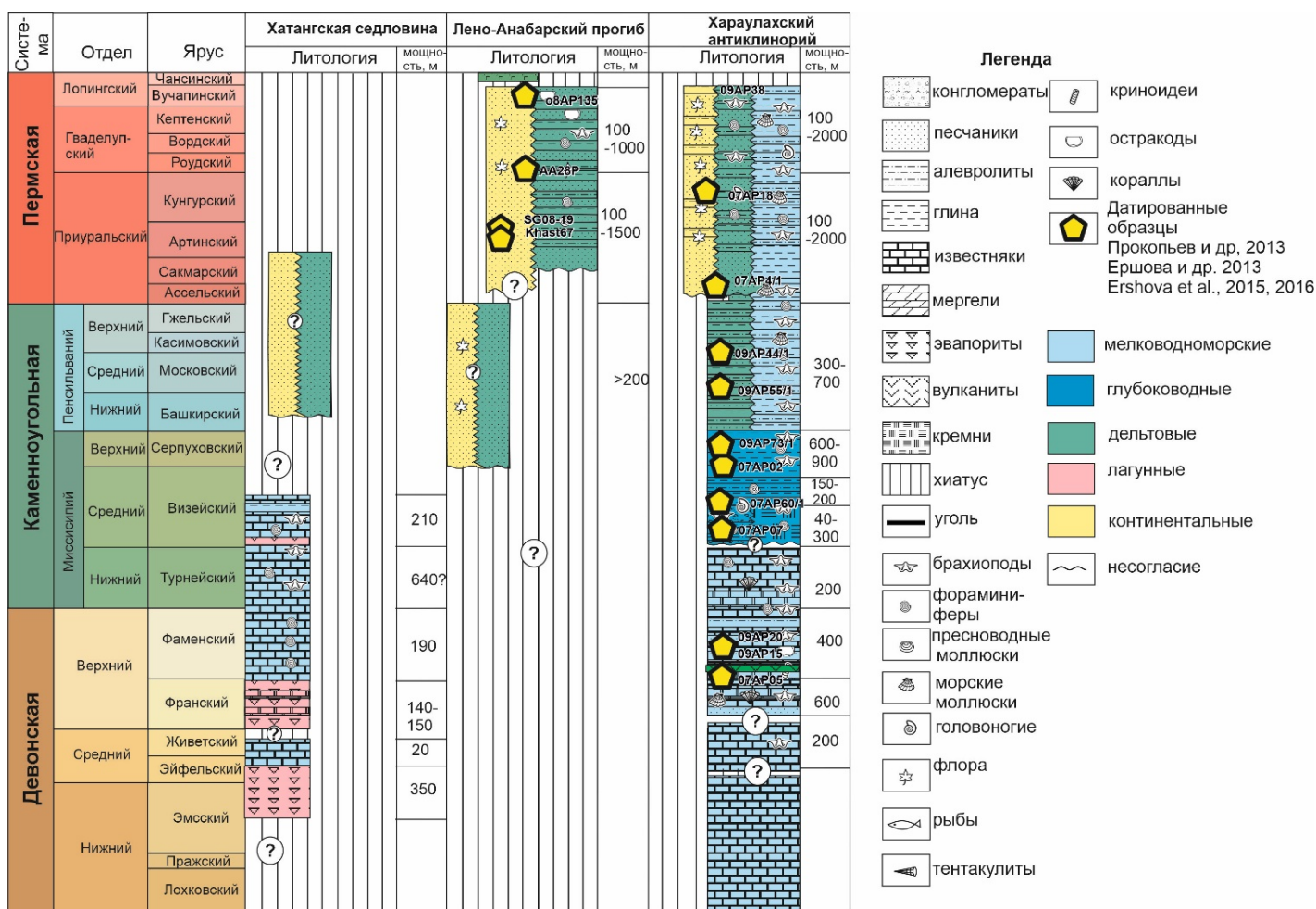


Рис. 2.1. Обобщенная стратиграфическая схема девон-пермских отложений северо-востока Сибири (по Абрамов, Григорьева, 1986; Бобров, 2000; Большианов и др., 2014; Клец, 2005; Кутыгин, 2009; Матухин, 1991; Матухин др., 1995; Меннер, Сидяченко, 1975; Решения..., 2009; Проскурнин и др., 2013, 2017; Язиков и др., 2013; Ershova et al., 2016в и др.) и местоположение датированных образцов.

## 2.3.2. Петрография песчаников.

### 2.3.2.1. Верхнедевонские отложения низовья р. Лены.

Изученные песчаники представлены плохо сортированными аркозовыми аренидами, субаркозами и сублитаренидами с карбонатным и глинисто-карбонатным цементом (рис. 2.2).

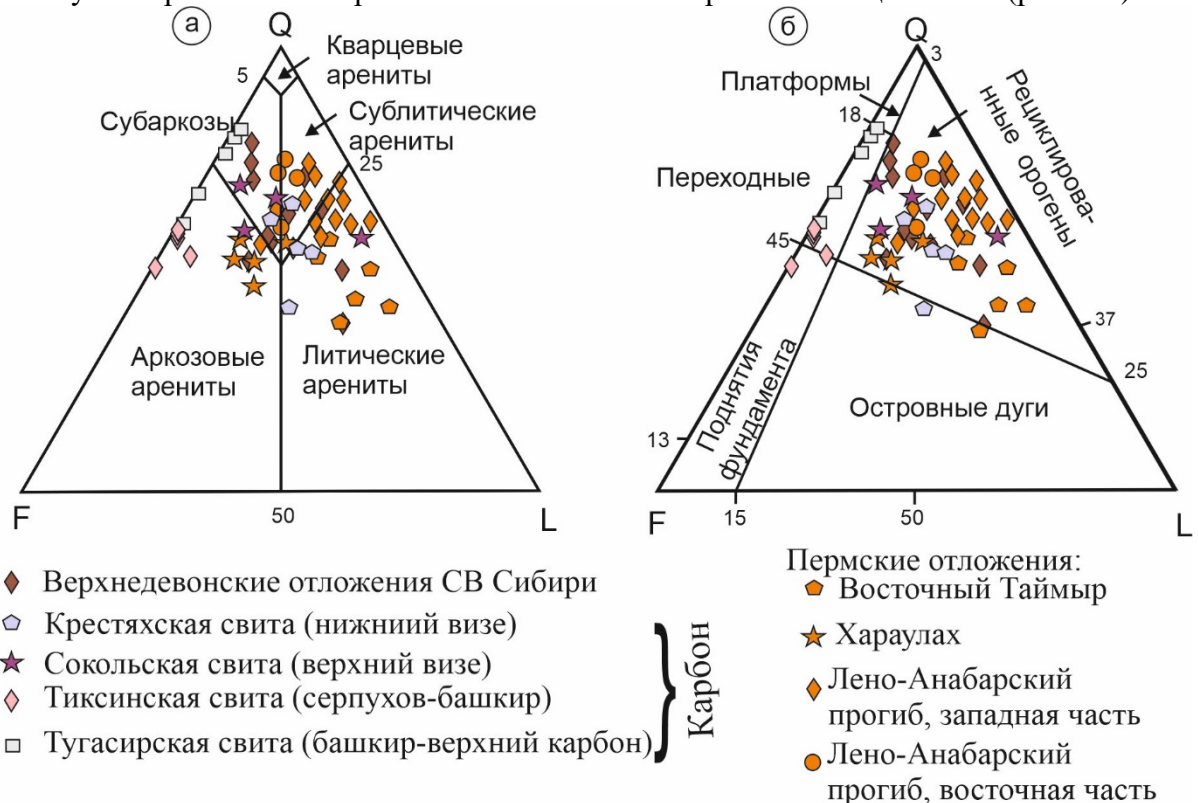


Рис. 2.2. Классификационные диаграммы QFL песчаников из верхнедевонских-пермских отложений севера Сибирской платформы и смежных складчато-надвиговых поясов: а – петрографическая характеристика (Pettijohn et al., 1987); б – диаграмма геодинамических обстановок формирования песчаников (Dickinson et al., 1983). Q – кварц, F – полевошпат, L – обломки горных пород.

### 2.3.2.2. Каменноугольные отложения.

Песчаники крестьянской и сокольской свит (визе) представлены плохо сортированными, со слабо окатанными зернами средне-крупнозернистыми литическими аренидами, сублитаренидами и субаркозами с карбонатным и глинисто-карбонатным цементом (рис.2.2). На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) фигуративные точки составов изученных песчаников расположены в поле рециклированных орогенов и одна проба – в поле островных дуг.

Серпуховские-верхнекаменноугольные песчаники представлены мелко-среднезернистыми аркозовыми аренидами и субаркозами с глинистым и карбонатно-глинистым цементом (рис. 2.2). На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) фигуративные точки составов изученных песчаников расположены в поле переходной зоны и одна проба – в поле поднятий фундамента.

### 2.3.2.4. Пермские отложения

Пермские песчаники преимущественно представлены разнозернистыми, часто плохосортированными сублитическими и литическими аренидами, реже аркозовыми аренидами и субаркозами (рис. 2.2). Отмечается закономерное уменьшение количества литических зерен в составе песчаников в восточном направлении. На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) точки составов изученных песчаников расположены в поле рециклированных орогенов.

## 2.3.3. Уран-свинцовое датирование цирконов.

### 2.3.3.1. Хараулахский антиклинорий.

Верхнедевонские отложения СВ Сибири (дельта р. Лены, о. Столб) охарактеризованы тремя образцами. Датированные образцы имеют сходное распределение U-Pb возрастов обломочных цирконов среди которых преобладают зерна докембрийского возраста (65-75%), сгруппированные около 2500 млн лет. Палеопротерозойские зерна образуют основные пики около 2000 и 1850 млн лет.

Цирконы неопротерозоя не формируют выраженных возрастных пиков. Палеозойские зерна образуют популяцию с возрастом 380–400 млн лет.

В образце 07АП67 (нижний визе, крестяхская свита) 95% обломочных цирконов имеют докембрийский возраст и 34% из них являются неопротерозойскими. Среди докембрийских зерен отчетливо выделяются три популяции – 2,7, 1,8–2,2 млрд лет и 650–760 млн лет.

Обломочные цирконы из верхневизейско–верхнекаменноугольных отложений имеют сходное распределение возрастов. 50–75% цирконов имеют докембрийский возраст. Среди них преобладают палеопротерозойские и неопротерозойские зерна. Среди зерен архейского возраста (5–10%) преобладают цирконы с возрастными 2,5–2,6 млрд лет. Большинство палеопротерозойских зерен (18–36%) характеризуют возрастной диапазон 1,8–1,9 млрд лет. Мезопротерозойские зерна цирконов единичны. Среди неопротерозойских зерен цирконов (20–35%) выделяются несколько популяций – 800–820, 700–720, 600–630 млн лет. Палеозойские зерна составляют 27–55% от всех датированных зерен. Среди палеозойских зерен выделяются следующие основные популяции цирконов – ордовикская (485–470 млн лет), девонская (395–360 млн лет) и раннекаменноугольная (345–325 млн лет).

Три образца из пермских пород Хараулахского антиклинория имеют близкое распределение возрастов обломочных цирконов. Архейские зерна образуют пик около 2560 млн лет, в то время как палеопротерозойские зерна составляют 5–13% популяции и сгруппированы в пик около 1840–1870 млн лет. Из всех проб датированы только два зерна мезопротерозойского возраста. Неопротерозойские зерна составляют от 10 до 18% популяции и группируются около 900–880, 770–780 и 590 млн лет. Палеозойские зерна составляют от 48% до 68% и образуют многочисленные пики, причем ранне-среднепалеозойские зерна формируют возрастные пики около 500, 480, 465, 420 и 380 млн лет назад, а каменноугольно-пермские зерна сгруппированы в популяции с возрастными 355, 300, 290 и 275 млн лет.

#### **2.3.3.2. Лено-Анабарский прогиб.**

В четырех пробах из пермских отложений наблюдается сходное распределение возрастов обломочных цирконов. Докембрийские зерна составляют от 17 до 49%, с архейскими зернами в диапазоне от 2500 до 2600 млн лет и несколькими мезопротерозойскими зернами с возрастом около 1500–1600 млн лет. Неопротерозойские и палеопротерозойские зерна преобладают среди докембрийских цирконов и сгруппированы около 1845, 820 и 750 млн лет. Среди цирконов раннего и среднего палеозоя выделяются отчетливые группы около 480, 415 и 400 млн лет назад. Каменноугольные и пермские цирконы составляют до 51% от датированных зерен и группируются около 340, 315, 290 и 270 млн лет.

### **2.4. Полуостров Таймыр**

#### **2.4.1. Общие сведения о геологическом строении.**

В тектоническом плане п-ов Таймыр относится к Таймыро-Североземельскому складчатому поясу. В его пределах выделяют три структурные зоны первого порядка – Южно-, Центрально- и Северо-Таймырскую, которые разделены Пясино-Фадеевским и Главным Таймырским надвигами. Южная граница Южно-Таймырской зоны перекрыта мезо-кайнозойскими отложениями Енисей-Хатангского прогиба (Зоненшайн и др., 1990; Уфлянд и др., 1991; Верниковский 1996).

#### **2.4.2. Стратиграфия девон-пермских отложений п-ва Таймыр.**

В этом разделе приводятся сведения о стратиграфии девон-пермских отложений п-ова Таймыр. Стратиграфическая последовательность и уровни отбора изученных проб для южного Таймыра показаны на рис. 2.3.

#### **2.4.3. Петрография пермских песчаников восточного Таймыра.**

Пермские песчаники Восточного Таймыра представлены плохо сортированными, разнозернистыми литическими аренитами с глинистым и карбонатно-глинистым цементом (рис. 2.2). На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) точки составов изученных песчаников группируются в поле рециклированных орогенов (рис. 2.2).

#### **2.4.4. Уран-свинцовое датирование обломочных цирконов.**

Датирование обломочных цирконов из терригенных отложений, обнажающихся на п-ве Таймыр, проводилось несколькими группами исследователей (Zhang et al., 2013; Ershova et al., 2016a; Priyatkina et al., 2017; Прияткина и др., 2020 и др.). Все изученные образцы отобраны из



верхнекаменноугольно-пермских отложений в пределах Южно-Таймырской структурной зоны (рис. 2.3).

Распределение возрастов обломочных цирконов из верхнекаменноугольных-пермских отложений имеет ряд общих черт. В большинстве образцов преобладают цирконы палеозойского возраста. Среди докембрийских зерен наиболее многочисленные неопротерозойские, которые группируются около 700, 600 и 550 млн лет. Палеозойские цирконы образуют две отчетливые популяции – раннепалеозойскую (430–500 млн лет) и средне-позднепалеозойскую (390–270 млн лет). Среди датированных цирконов преобладают средне-позднепалеозойские зерна, которые формируют отчетливые пики около 390, 380, 340, 320 и 270 млн лет.

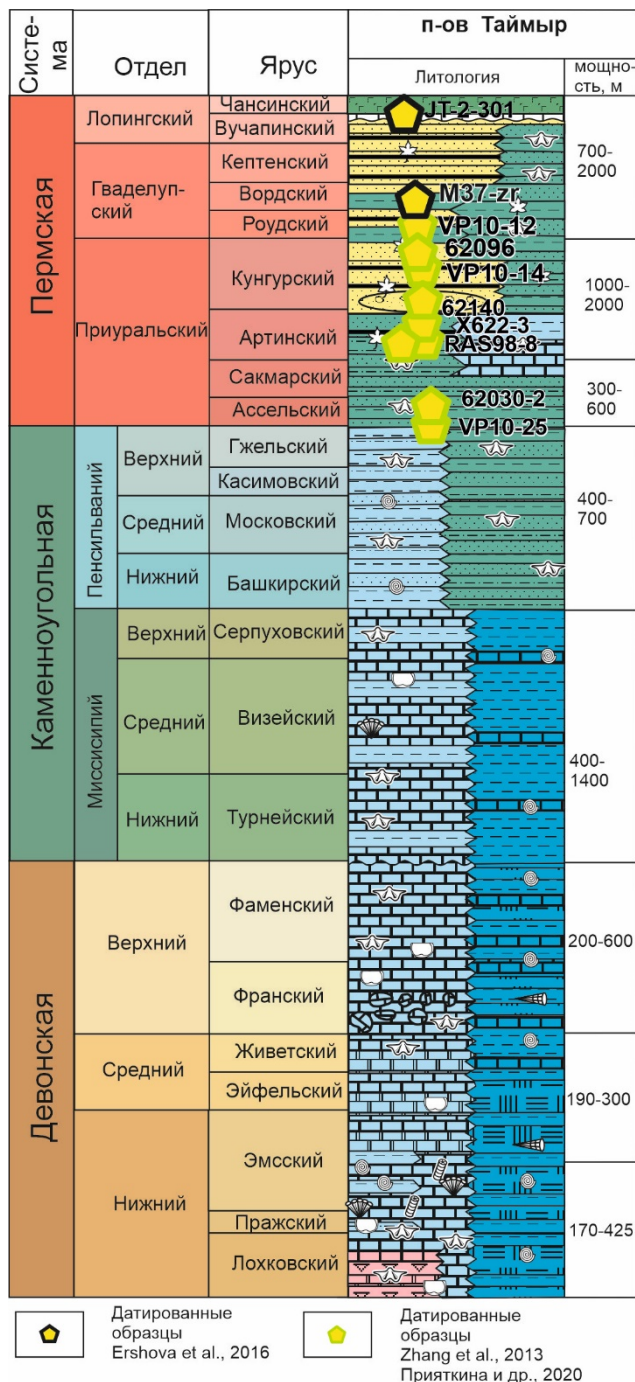


Рис. 2.3. Обобщенная стратиграфическая схема девон-пермских отложений п-ва Таймыр (по Соболев, 1997, 1999; Погребницкий, Шануренко, 1998; Погребницкий, Лопатин, 2000; Проскурнин, 2008; Ershova et al., 2016в) и местоположение датированных образцов. Условные обозначения см. на рис. 2.1.

## 2.5. Палеогеография северо-востока Сибири в девоне–перми.

В этом разделе приводятся краткие сведения о палеогеографических обстановках девона-перми северо-востока Сибири.

## 2.6. Реконструкция источников сноса для девон-пермских отложений севера Сибирской платформы и смежных складчато-надвиговых поясов.

### Поздний девон.

Архейские обломочные цирконы из верхнедевонских отложений имеют возраста от 2500 до 2700 млн лет, что соответствует возрасту древнейших террейнов фундамента Сибирского кратона. В девонских песчаниках преобладают палеопротерозойские зерна с возрастом от 1800 до 2000 млн лет, что отражает время аккреционных и коллизионных событий при формировании фундамента Сибири (Розен 2003; Smelov, Timofeev, 2007; Donskaya, 2020) и сопоставимо с возрастными порода фундамента Оленекского (Wingate et al., 2009) и Усть-Ленского поднятий (Прокопьев и др., 2007). Кроме того, в мезопротерозойско-нижнепротерозойских обломочных породах севера Сибири также преобладают цирконы с возрастными 1800–2000 млн лет и 2500–2700 млн лет (Khudoley et al., 2015; Priyatkina et al., 2017). Ранне-среднепротерозойские цирконы не имеют прямой корреляции с возрастными магматизма и метаморфизма фундамента Сибири. Однако

обломочные цирконы этих возрастов обнаружены в венд-кембрийских осадочных толщах востока Сибирской платформы (Khudoley et al., 2015) в непосредственной близости от изученных девонских отложений. Источниками цирконов с возрастными кристаллизации поздний неопротерозой–ранний кембрий могли быть близко расположенные разновозрастные вулканиты кислого состава на Оленекском поднятии и в северной части Приверхоанского прогиба (Bowring et al., 1993; Прокопьев и др., 2016). Близкое расположение источника сноса также подтверждается петрографическим составом

изученных песчаников, которые относятся к плохо сортированным аркозовым аренитам, субаркозам и сублитаренитам (рис. 2.2).

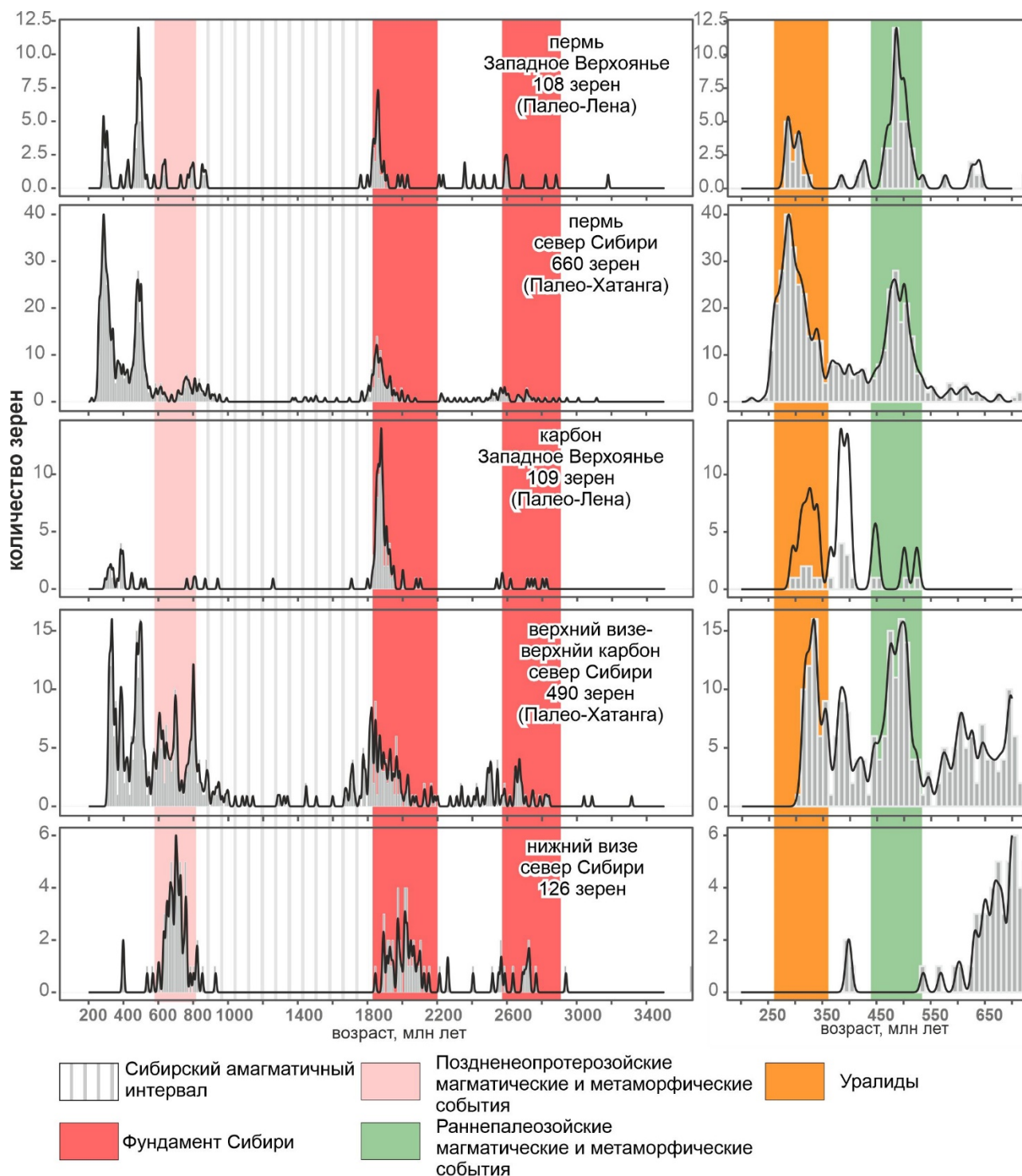


Рис. 2.4. Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из каменноугольно-пермских отложений севера и северо-востока Сибирской платформы (Ершова и др., 2013; Прокопьев и др., 2013; Ershova et al., 2015a, 2016a) и Западного Верхоянья (Prokoriev et al., 2008).

Девонские обломочные цирконы имеют возраст от 400 до 370 млн лет, с основным пиком около 392 млн лет, что коррелируется с магматизмом, связанным со среднепалеозойским рифтогенезом Восточной Сибири (Гайдук, 1988; Тектоника..., 2001) (рис.2.5). Однако активный рифтогенез с большим объемом магматизма произошел в тысяче километров к югу от района исследований, где привел к формированию Вилуйского палеорифта Сибирской платформы (Гайдук 1988; Полянский и др., 2013; Тектоника..., 2001; Kiselev et al., 2012; Polyansky et al., 2017). Известны лишь несколько

мощных девонских базальтовых покровов на севере Хараулахского антиклинория и в районе дельты р. Лены (Прокопьев и др., 2015), хотя нет никаких свидетельств развития какого-либо, связанного с ними рифтового бассейна.

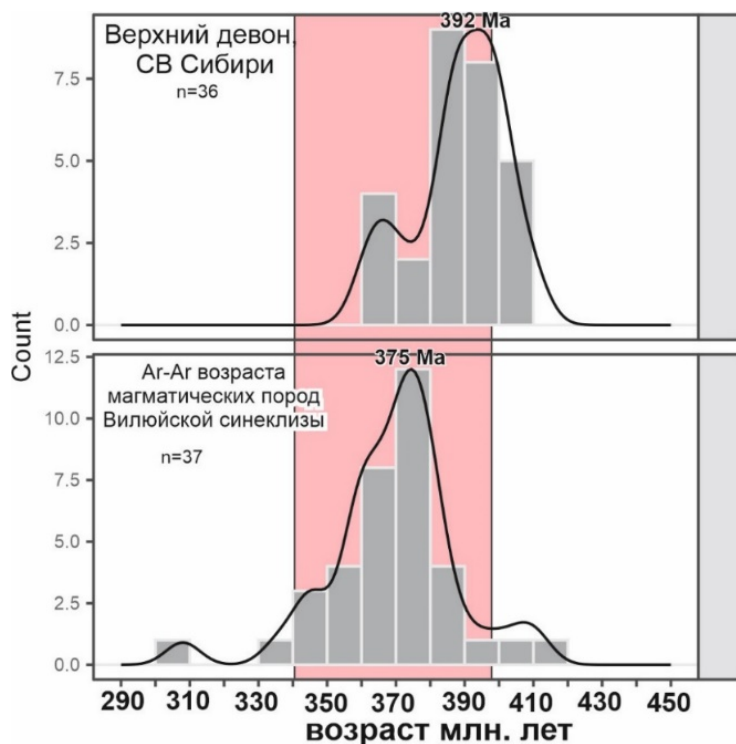
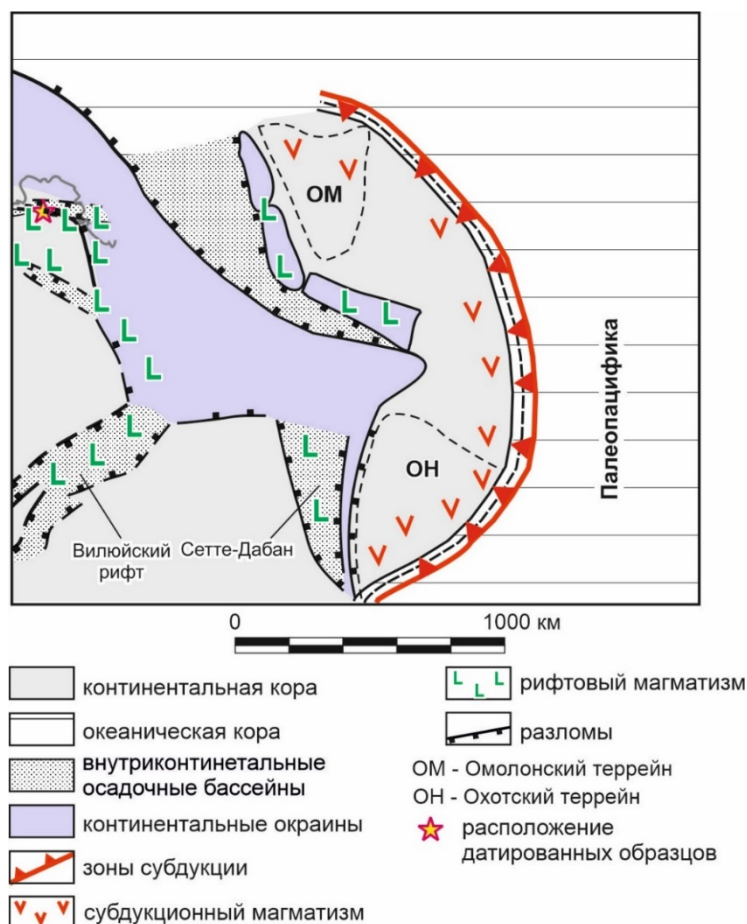


Рис. 2.5. Сравнение возрастов обломочных цирконов из девонских песчаников северо-востока Сибири и  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  возрастов вулканитов (преимущественно основного состава) Вилуйского палеорифта ( $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  возраста по Courtillot 2010; Kiselev et al., 2012, 2016; Ricci et al., 2013; Polyansky et al., 2017; Прокопьев и др., 2020); розовая полоса показывает возраст кислых туфов и лав Вилуйской палеорифта, установленный по палеонтологическим находкам (из Масайтис и др., 2006, Ernst 2014;).

Кроме того, базальты, как правило, содержат относительно небольшое количество цирконов и вряд ли представляют собой основной источник детритовых зерен. Однако кислые вулканиты и интрузии в малых и умеренных количествах отмечаются во всех континентальных LIP (Ernst, 2014), а трахиандезиты того же возраста, что и позднедевонские базальты, описаны южнее в

Вилуйском палеорифте (Kiselev et al., 2012).

Многочисленные средне-позднедевонские цирконы, датированные в изученных пробах, предполагают распространение одновозрастного кислого и среднего магматизма на северо-востоке Сибирской платформы. Это позволяет предположить, что девонский рифтогенный магматизм был



распространен к востоку и/или северу от исследованного района (рис. 2.6), но впоследствии эти магматические породы были перекрыты мощной каменноугольно-юрской терригенной толщей, накопившейся на восточной пассивной окраине Сибири

Рис. 2.6. Палеотектонические реконструкции для позднего девона (по Парфенов и др., 2003; Parfenov et al., 2009; Prokoriev et al., 2019; Ershova et al., 2020 с изменениями).

### Карбон.

Возраста обломочных цирконов из песчаника крестяхской свиты (нижний визе) имеют совершенно другое распределение, чем в вышележащих отложениях карбона (рис. 2.4). В этом образце преобладают зерна докембрийского возраста (95%). Возраста обломочных цирконов от 1,8 до 3,5 млрд лет отражают этапы становления и консолидации фундамента Сибирской платформы (Розен, 2003; Smelov, Timofeev, 2007). Обломочные цирконы архейского и палеопротерозойского возрастов также распространены в рифейских



осадочных толщах, вскрывающихся вдоль восточной окраины Анабарского щита (Купцова и др., 2015; Khudoley et al., 2015).

Таким образом, архейские и палеопротерозойские цирконы могли поступать в ранневизейский бассейн осадконакопления как в результате размыва пород кристаллического фундамента, так и при перемыве рифейских осадочных комплексов чехла Сибирской платформы. Присутствие значительного количества (34%) неопротерозойских обломочных цирконов (650–760 млн лет) в отложениях крестяхской свиты может свидетельствовать о размыве осадочных пород венда северо-востока Сибири, в которых отмечены многочисленные цирконы с близкими возрастными кристаллизации (Khudoley et al., 2015; Priyatkina et al., 2017) (рис.2.4). В образце присутствуют только пять зерен с возрастом моложе докембрийского и разбросом значений от 396 до 536 млн лет. Столь малое количество палеозойских зерен означает незначительный вклад источников, не связанных с рифейско-вендским осадочным чехлом и/или фундаментом Сибирской платформы.

Распределение возрастов обломочных цирконов в образцах из верхневизейских-верхнекаменноугольных отложений во многом сходно, что позволяет предполагать доминирующую роль одних и тех же источников обломочного материала. Среди архейских зерен преобладают цирконы с возрастными от 2,5 до 2,8 млрд лет, присутствуют единичные зерна с возрастными 3,0–3,2 млрд лет. Близкие по возрасту архейские тектоно-магматические события широко проявлены в фундаменте Сибирской платформы (Smelov, Timofeev, 2007; Donskaya, 2020), что не позволяет точно определить расположение источника сноса кластики. Мезопротерозойские цирконы в изученных образцах встречаются в виде единичных зерен. Распределение зерен неопротерозойского возраста весьма сходно во всех образцах и среди них можно выделить три основных популяции с возрастными около 800–810, 690 и 580–630 млн лет. Палеозойские обломочные цирконы образуют группы около 485–500 (поздний кембрий – ранний ордовик), 390–395 (ранний средний девон, эмс-эйфель) и 335–340 (ранний карбон, визе) млн. лет.

Магматические комплексы преимущественно кислого состава неопротерозойского и палеозойского возрастов на Сибирской платформе неизвестны. Наиболее вероятными источниками неопротерозойских и палеозойских зерен обломочных цирконов представляются два альтернативных региона – складчато-надвиговые пояса Центральной Азии и Таймыра–Северной Земли.

Большинство неопротерозойских и палеозойских пиков в распределении возрастов обломочных цирконов хорошо коррелируются с магматическими событиями, проявленными в Центрально-Азиатском складчатом поясе (ЦАСП) (Козаков и др., 2005; Рыцк и др., 2007; Prokoriev et al., 2008). ЦАСП как источник сноса обломочного материала для каменноугольных толщ Верхоянской пассивной окраины (юг Западного Верхоянья) уже рассматривался А.В. Прокопьевым с соавторами (Prokoriev et al., 2008). Распределение возрастов обломочных цирконов в песчанике среднего карбона здесь отличается от полученных нами по северу платформы (рис. 2.4), что указывает на вероятно разные источники обломочного материала на юге и севере Сибирской платформы.

Крупная речная система Палео-Лены, переносившая обломочный материал с юго-западного и южного обрамления Сибирской платформы в Западное Верхоянье (Prokoriev et al., 2008), отсекала значительную часть возможных источников сноса от бассейна осадконакопления на северо-восточной окраине Сибирской платформы. В этом случае единственный путь для предполагаемой северной речной системы располагался на западной окраине Сибирской платформы и далее вдоль ее северной окраины. В любом случае, широкое распространение обломочных цирконов, возраст которых (320–340 млн лет) близок к времени осадконакопления, свидетельствует, что одновременно с заключительными фазами среднепалеозойского рифтогенеза и началом формирования Верхоянской пассивной окраины на некотором удалении от бассейна осадконакопления происходил орогенез, вероятно связанный с закрытием палеуральского океана вдоль южной и западной окраин Сибири. Это предположение также подтверждается петрографическими исследованиями песчаников, чьи фигуративные точки состава попадают в поля рециклированных орогенов и переходные зоны (рис. 2.2). Более того, значения  $\epsilon\text{Nd}(t)$  (от  $-11$  до  $-2$ ) для каменноугольно-пермских отложений Северного Верхоянья и востока Лено-Анабарского прогиба свидетельствуют, что при их накоплении значительный вклад вносили продукты размыва островодужных и ювенильных комплексов (Малышев и др., 2016). Мы предполагаем, что крупная речная система – «Палео-Хатанга» – начала переносить обломочный материал в раннем карбоне с запада на северо-восток Сибирской платформы и положила

начало формированию многокилометровой толщи обломочных пород на севере Верхоянской пассивной окраины Сибирского континента (рис. 2.7).

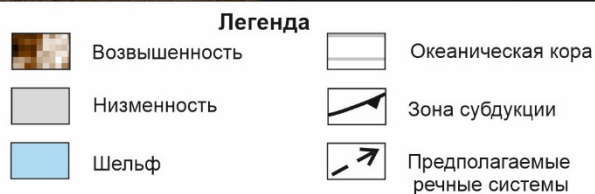


Рис. 2.7. Палеогеографические схемы восточной Сибири для каменноугольного времени с указанием возможных путей транспортировки обломочного материала (по Ершова и др., 2013; Прокопьев и др., 2013; Ershova et al., 2015a; Prokoriev et al., 2008 с изменениями и дополнениями).

### Пермь.

Распределения возрастов обломочных цирконов в песчаниках показывают, что источник сноса включал разновозрастные магматические и метаморфические породы. Близкие по возрасту позднепротерозойские-раннепалеозойские магматические и вулканические породы описаны как на Урале (Puchkov et al., 2009; Пучков, 2000, 2010), так и в фундаменте Западно-Сибирского осадочного бассейна (например, Иванов и др., 2012, 2013), а также в Казахстане (Дегтярев, 2012 и ссылки там) и на арх. Северная Земля (Lorenz et al., 2007; Kurarov et al., 2020). Наиболее многочисленная популяция цирконов каменноугольно-пермского времени кристаллизации (рис. 2.4) отвечает различным магматическим и метаморфическим событиям уралид как в пределах самого Урала (Пучков, 2000, 2010), так и в фундаменте Западно-Сибирской плиты (Хотылев и др., 2021 и ссылки в этой работе).

Наши исследования и обобщение опубликованных данных дает возможность предположить, что крупная речная система, подобная предложенной для каменноугольного времени, представляла собой основной путь переноса обломочного материала вдоль западной и северной окраин Сибири (рис. 2.7) и в пермское время. При этом одним из основных источников сноса обломочных зерен, вероятно, стал выступать Таймыр, где в ранней перми произошло полное закрытие океанического бассейна между Карским террейном и Сибирским континентом.

## Глава 3. Архипелаг Северная Земля (Карский террейн).

### 3.1. Общие сведения о геологическом строении.

Архипелаг Северная Земля традиционно относят вместе с северным Таймыром и акваторией между ними к Карскому блоку, Карскому террейну или Северо-Карскому террейну, Северо-Карскому бассейну (Drachev et al., 2010; Lorenz et al., 2008; Malyshev et al., 2023; Проскурнин и др., 2020) (рис. 3.1).



Существует несколько геодинамических моделей палеозойской эволюции Карского террейна (блока): 1) Зоненшайн Л.П. с соавт. (1990) предполагали, что террейн в палеозое являлся составной частью палеоконтинента Арктида; 2) Gee et al. (2006) и Lorenz et al. (2008) считали, что Карский блок был частью древнего континента Балтика; 3) В различные годы многие исследователи (Богданов и др., 1998; Грамберг, Ушаков, 2000; Метелкин и др., 2000; Metelkin et al., 2005) выдвигали предположение о том, что Карский террейн большую часть палеозоя представлял собой отдельный микроконтинент.

Границами Карского террейна на суше являются Главный Таймырский надвиг и Диабазовый разломы, отделяющие Центрально-Таймырскую (пери-Сибирскую) и Северо-Таймырскую зоны (Верниковский, 1996). На западе акваториальная часть Карского террейна отделяется от Южно-Карского бассейна (продолжение Западно-Сибирского бассейна на шельфе южной части Карского моря) Северо-Сибирским порогом – положительной структурой, уверенно выделяемой по данным сейсморазведки (Вержбицкий и др., 2012; Drachev et al., 2010) (рис. 3.1). С севера Карский террейн ограничен молодым кайнозойским Евразийским бассейном, а его восточная граница скрыта под акваторией моря Лаптевых и в значительной мере переработана кайнозойскими рифтами, что затрудняет ее прослеживание.

На арх. Северная Земля на дневную поверхность преимущественно выходят в различной степени деформированные кембрий–девонские осадочные комплексы.

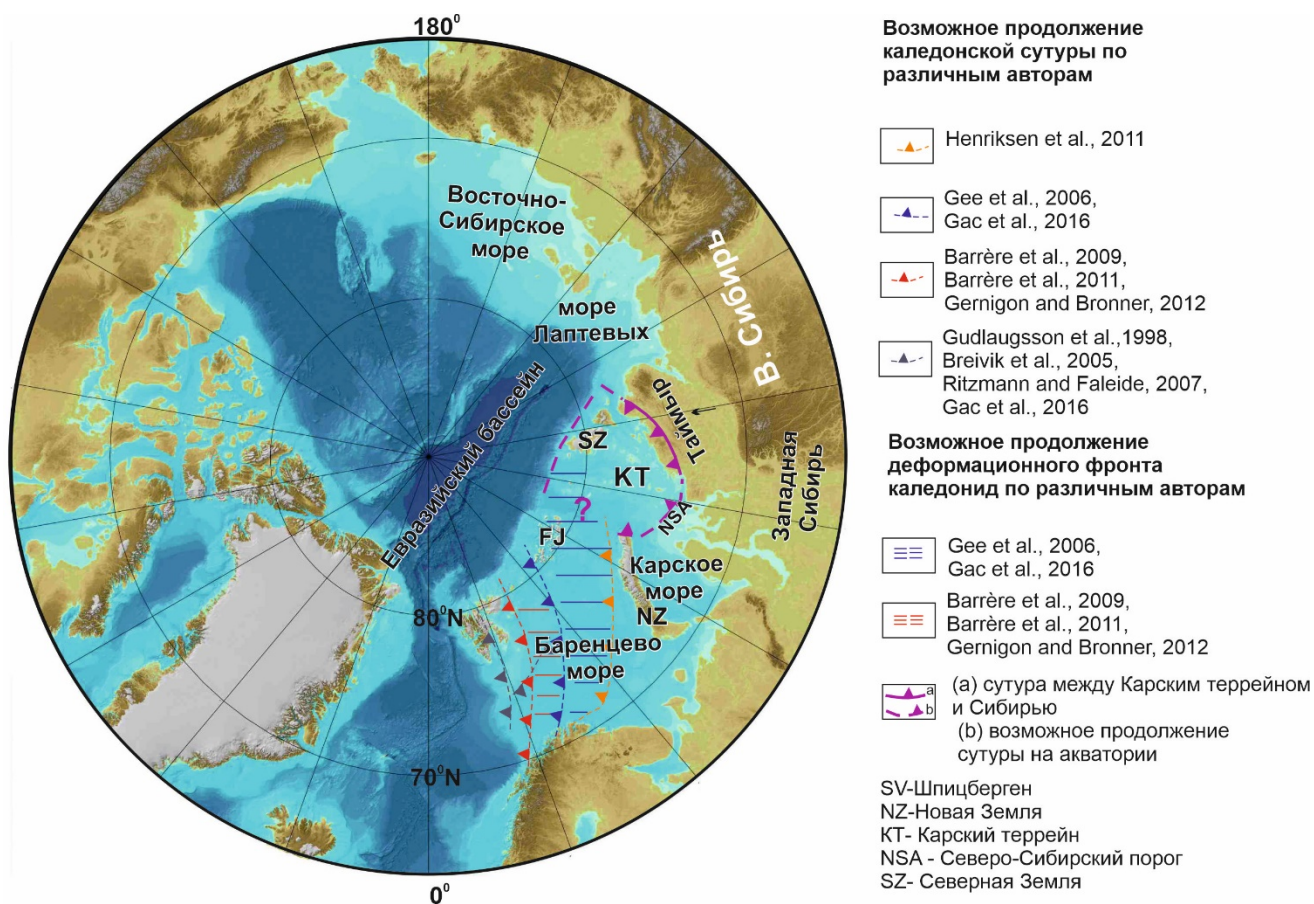


Рис. 3.1. Схема расположения Карского (Северо-Карского) террейна и предполагаемого продолжения фронта Каледонского орогена (по Ershova et al., 2018a).

### 3.2. Стратиграфия девон–пермских отложений.

В этом разделе приводятся сведения о стратиграфии девон–пермских отложений арх. Северная Земля. Стратиграфическая последовательность и уровни отбора изученных проб приведены на рис. 3.2.

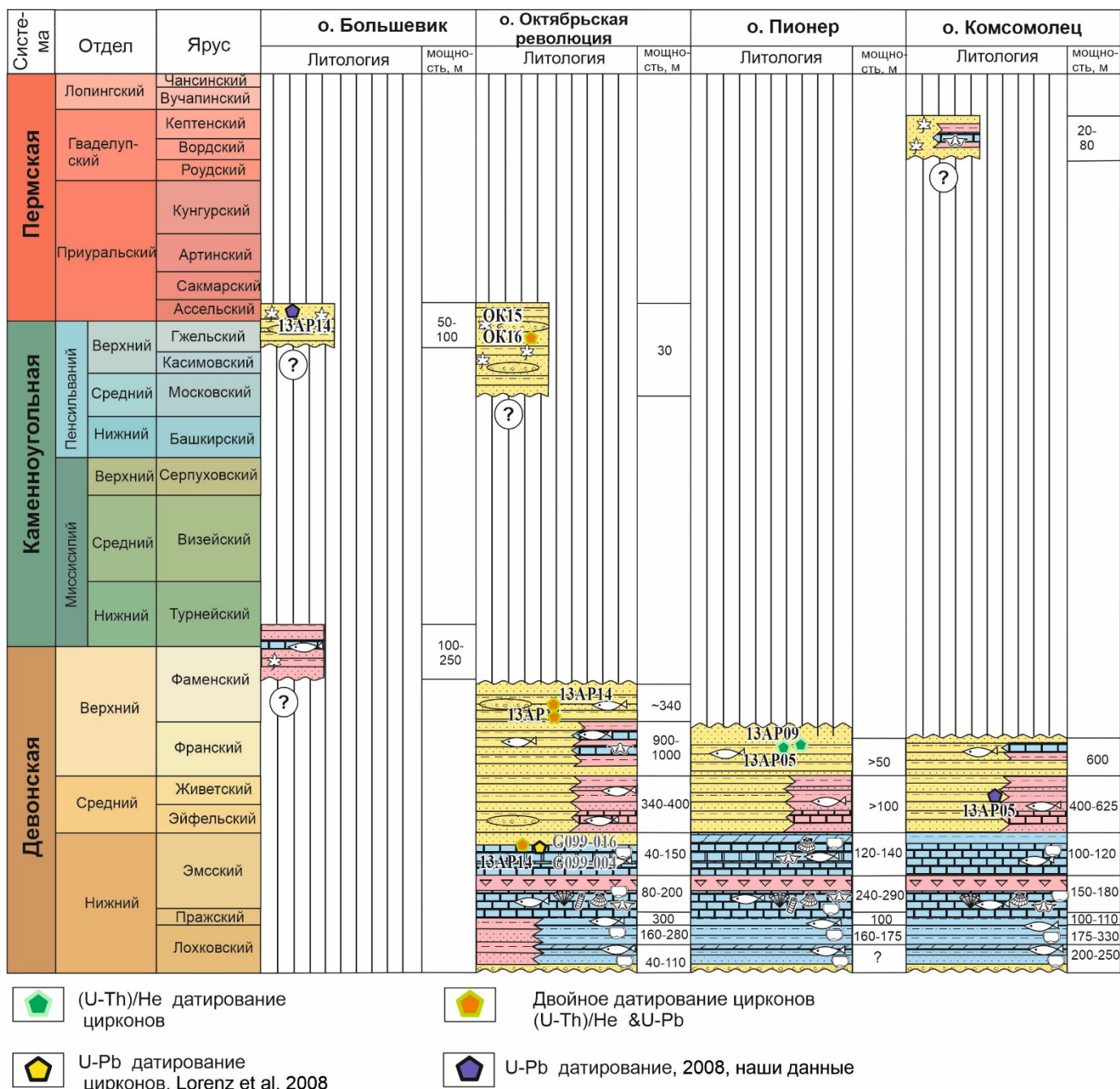


Рис. 3.2. Стратиграфические схемы девон-пермских отложений островов арх. Северная Земля (по Грамберг, Ушаков, 2013; Качурина и др., 2013б; Матухин, Меннер, 1999; Ershova et al., 2015б, 2022б) и местоположение исследованных образцов. Условные обозначения см. на рис. 2.1.

### 3.3. Петрография песчаников.

Петрографические исследования были проведены для девонских и верхнекаменноугольных-нижнепермских отложений (рис. 3.3).

Девонские отложения представлены хорошо сортированными мелко- и среднезернистыми, часто алевритистыми субаркозами с глинистым и кремнистым цементом.

Верхнекаменноугольные-нижнепермские песчаники в районе зал. Ахматова (о. Большевик) представлены плохо сортированными, со слабо окатанными зернами средне-крупнозернистыми литическими аренидами и сублитическими аренидами (рис. 3.3а), часто с гравелитистыми зернами, карбонатным и глинисто-карбонатным цементом. Верхнекаменноугольные-нижнепермские песчаники в районе фьорда Матусевича (о. Большевик) сложены плохо сортированными, со слабо окатанными зернами разнозернистыми субаркозами и сублитическими аренидами (рис. 3.3а).

### 3.4. Уран-свинцовое датирование обломочных цирконов.

Девонские отложения охарактеризованы тремя пробами. Две пробы, отобранные из красноцветных отложений нижнего девона в долине р. Матусевича, были продатированы Х. Лоренцем с соавторами (Lorenz et al., 2008). Из-за малого количества датированных зерен и близости точек опробования две пробы были объединены при рассмотрении и построении диаграмм.

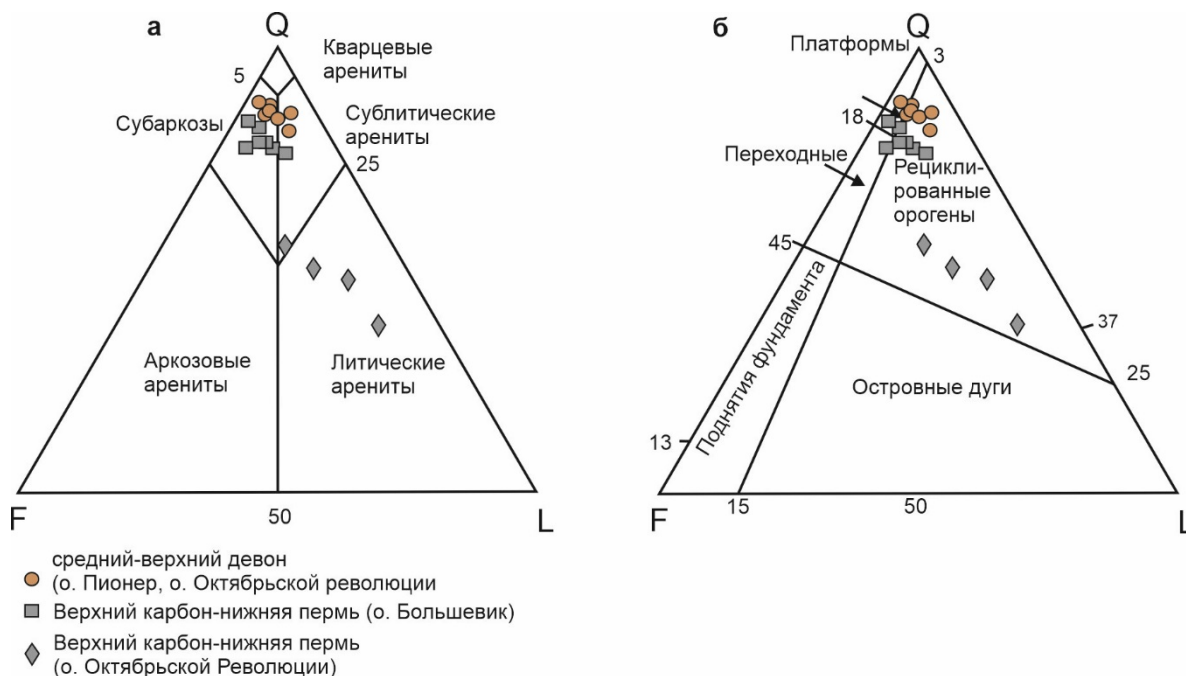


Рис. 3.3. Классификационные диаграммы QFL для средне-верхнедевонских и каменноугольно-пермских песчаников арх. Северная Земля: а – петрографическая характеристика (Pettijohn et al., 1987); б – диаграмма геодинамических обстановок формирования песчаников (Dickinson et al., 1983). Q – кварц, F – полевой шпат, L – обломки горных пород.

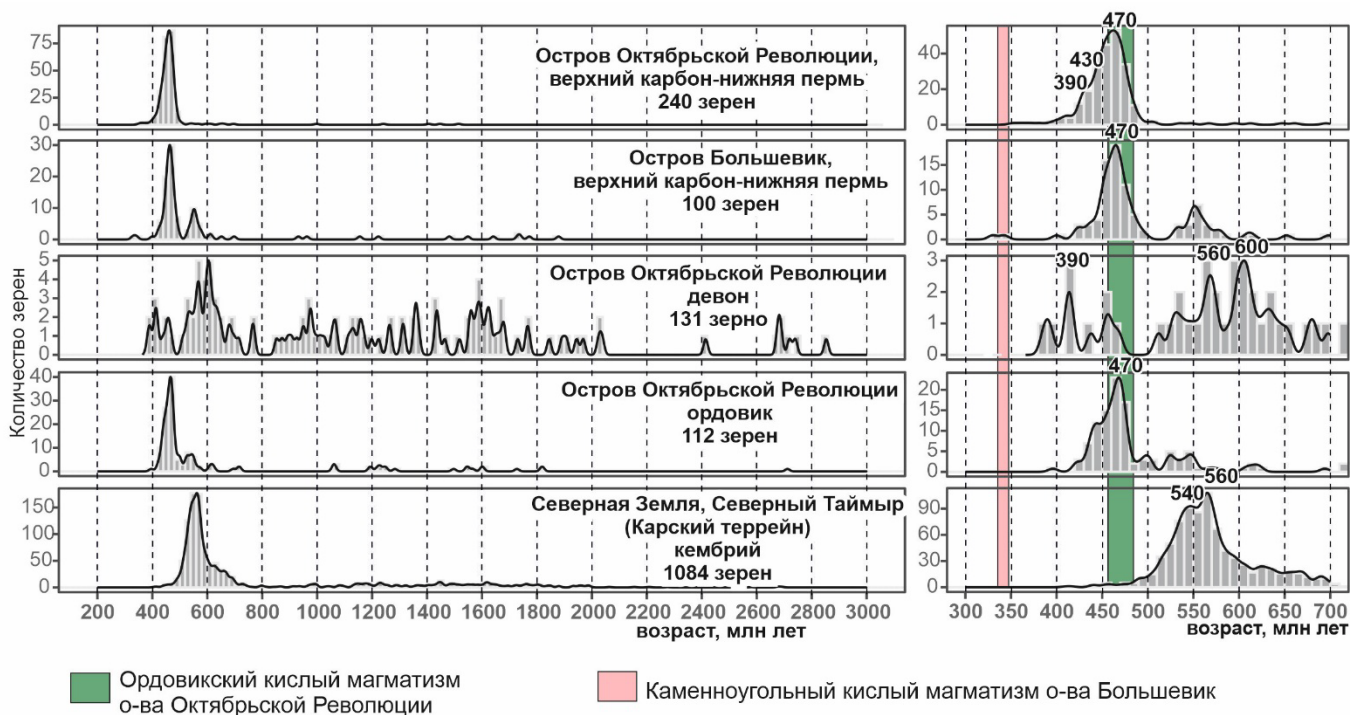




Рис. 3.4. Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из палеозойских отложений Карского террейна (Ершова и др., 2015, 2017; Ershova et al., 2015b, 2019a, 2022b; Lorenz et al., 2008). Возраста магматических событий по Lorenz et al., 2007; Prokopiev et al., 2019; Kurapov et al., 2020.

Образцы G99-016+G99-004 (нижний девон). В этих образцах 19% обломочных цирконов имеют палеопротерозойский возраст, 32% – мезопротерозойский, образуя отчетливые пики около 1663 и 1616 млн лет. Зерна архейского возраста редки и в сумме составляют лишь 6% от всей популяции. 35% цирконов имеют неопротерозойские возраста, образуя возрастные пики около 1012, 974, 902, 708, 603 и 568 млн лет. Палеозойские цирконы составляют 8% от датированных зерен и не образуют значимых пиков, имея в основном кембрий-ордовикские возраста (Lorenz et al., 2008).

Нами был определен возраст обломочных цирконов из образца 07091, отобранного из географской свиты (средний девон) на о. Комсомолец. 76% цирконов в исследованном образце имеют докембрийский возраст. Неопротерозойские цирконы преобладают (30%) и в их возрастном спектре пики около 580, 620, 650, 680, 705 и 610 млн лет. 19% цирконов имеют палеопротерозойские возраста, большинство из них относятся к возрастному диапазону 1,5–1,7 млрд лет; второстепенная популяция представлена пиками с возрастными 1815 и 1975 млн лет. Зерна мезопротерозойского возраста составляют 27%, группируясь около 1500, 1150, 1040 млн лет. Палеозойские цирконы составляют около 24% от общего количества датированных зерен и в их возрастном спектре выделяются пики около 528, 485 и 450 млн лет (рис.3.4).

Верхнекаменноугольно-нижнепермские отложения охарактеризованы тремя образцами (один с о. Большевик и два с о. Октябрьской Революции). В датированных образцах преобладают обломочные цирконы раннепалеозойского возраста в интервале 410–470 млн лет. Докембрийские зерна единичны и не формируют значимых популяций (рис.3.4).

### **3.5. Двойное (U-Th)/He (ZHe) и U-Pb датирование обломочных цирконов.**

Всего было датировано 8 образцов, отобранных из ордовик-нижнепермских отложений. Все полученные ZHe возраста оказались древнее возраста седиментации, указывая, что образцы никогда не погружались на глубину более 5–6 км и (U-Th)/He часы не были перезапущены (Farley, 2002). Следовательно, полученные возраста характеризуют время воздымания источника сноса обломочного материала. Результаты (U-Th)/He датирования приведены на рис 3.5, 3.6. Полученные ZHe возраста цирконов из девонских отложений группируются в основной пик с возрастом около 380 млн лет, хотя присутствуют и цирконы с возрастными около 465 млн лет. Комбинированное U-Pb и (U-Th)/He датирование показало, что цирконы с неопротерозойскими и кембрийскими возрастными кристаллизации были выведены на дневную поверхность в среднем-позднем ордовике и девоне.

Из верхнекаменноугольных-нижнепермских отложений о. Октябрьской Революции было датировано шесть зерен циркона, которые имеют ZHe возраста, варьирующие от  $273 \pm 21.8$  до  $414,7 \pm 33,18$  млн лет (рис. 3.6). Двойное (U-Th)/He и U-Pb датирование цирконов показало, что цирконы с раннепалеозойскими возрастными кристаллизации были выведены на дневную поверхность в карбонеперми (рис. 3.6). Средневзвешенный возраст, рассчитанный по трем каменноугольным зернам, составляет 341 млн лет (визе) и, вероятно, отвечает главному этапу эксгумации источника сноса.

### **3.6. Палеогеография.**

В этом разделе приводятся краткие сведения о палеогеографических обстановках девона-перми арх. Северная Земля.

### **3.7. Реконструкция источников сноса для девонских отложений арх. Северная Земля.**

Распределение возрастов обломочных цирконов из средне-верхнедевонских отложений о. Октябрьской Революции очень близко и указывает на единый источник сноса (рис. 3.6). Архейские (2900 до 2600 млн лет) и позднепалеопротерозойские (1900–1700 млн лет) цирконы единичны. Близкие по возрасту события известны в фундаменте всех крупных континентов, например, Сибири и Балтики (Smelov, Timofeev, 2007; Bogdanova et al., 2008; Donskaya 2020). Позднепалеопротерозойские и мезопротерозойские цирконы не имеют прямой связи с магматическими и метаморфическими событиями, известными в фундаменте Сибири, т.к. на этот возрастной интервал приходится так называемый Сибирский амагматичный интервал (Siberian Gap) (Gladkochub et al., 2010), который характеризуется отсутствием магматизма кислого и среднего состава этого возраста на Сибирском кратоне.

Цирконы с возрастом около 1800–1600 млн лет можно сопоставить со временем формирования Транскандинавского магматического пояса (Andersson et al., 2004; Gorbatshev et al., 2004; Larson, Berglund, 1992). Раннемезопротерозойские цирконы хорошо коррелируются с объемным магматизмом, имевшим место в интервале 1,52–1,48 млрд лет назад (Bingen et al., 2008a, 2008b; Roberts et al., 2013; Slagstad et al., 2020) и относимым к телемарковской орогении Балтики. Многочисленные цирконы с возрастом 1500–1000 млн лет, вероятно, отвечают магматическим и метаморфическим событиям, широко распространенным в пределах Гренвильско-Свеконорвежского орогена (Bingen et al., 2008a, 2008b; Rivers et al., 2012; Spencer et al., 2014, 2015).

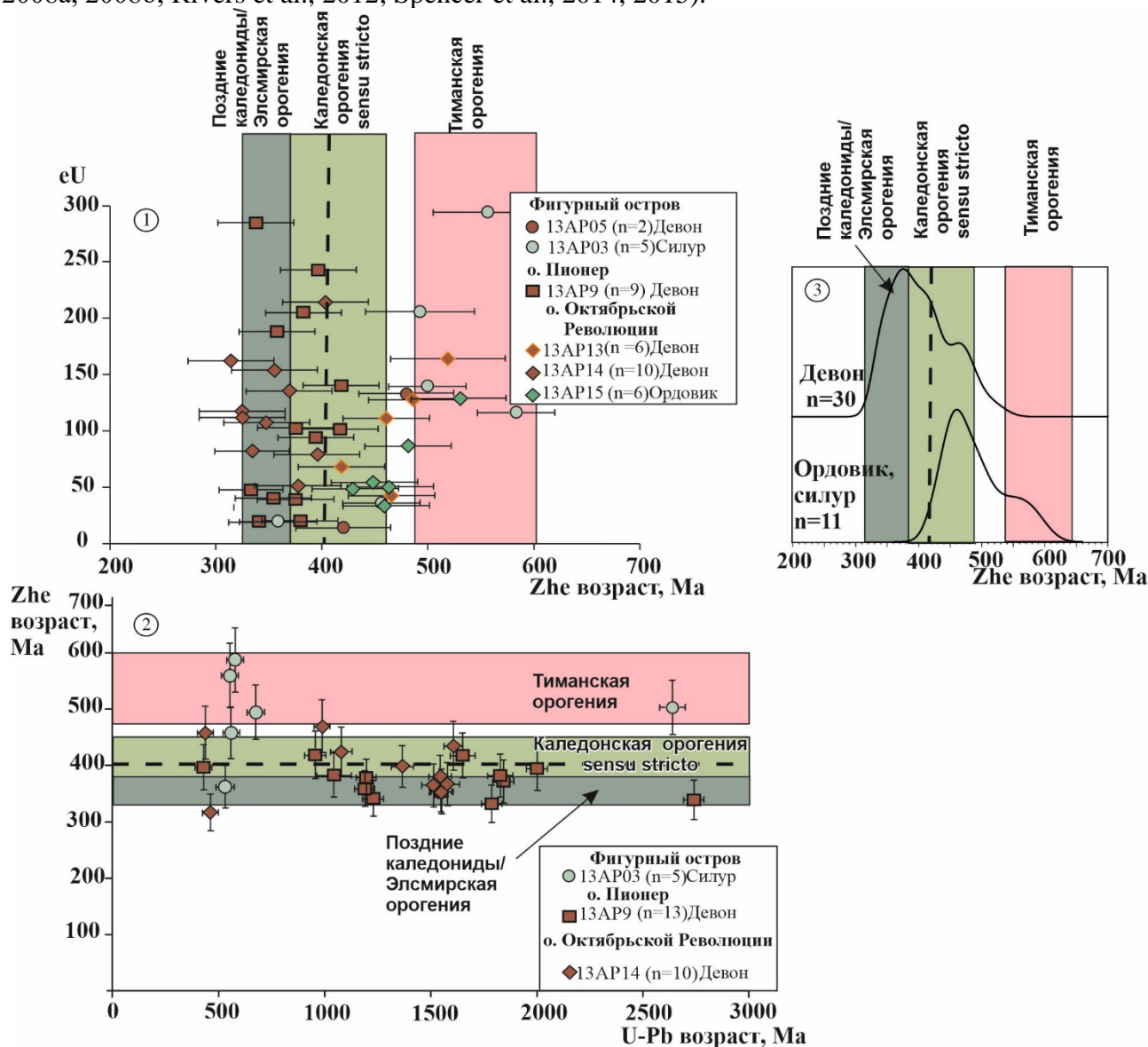


Рис.3.5. Результаты U-Th-He датирования цирконов. 1 – ZHe возраст vs. eU; 2 – диаграмма соотношения ZHe и U-Pb возрастов; 3 – кривые плотности вероятности распределения ZHe возрастов обломочных цирконов (Ershova et al., 2018a).

Многочисленная популяция обломочных цирконов в девонских песчаниках арх. Северная Земля имеет поздненеопротерозойский-раннекембрийский возраст и хорошо сопоставляется с аккреционно-коллизийными событиями, известными в Тиманском орогене (Кузнецов, 2006, 2008; Gee et al., 2008, Gee, Pease, 2004; Kuznetsov et al., 2010).

Ранне-среднеордовикские и силур-девонские обломочные цирконы группируются в пики около 470, 450, 430 и 410 млн лет. Магматические и метаморфические события раннего-среднего палеозоя широко проявлены в Каледонском орогене (Corfu et al., 2014; Gee et al., 2008; Gee, 2015; Roberts, 2003). Также ранне-среднеордовикские магматические образования известны на о. Октябрьской Революции (Lorenz et al., 2007; Kurapov et al., 2020; Prokopiev et al., 2019).



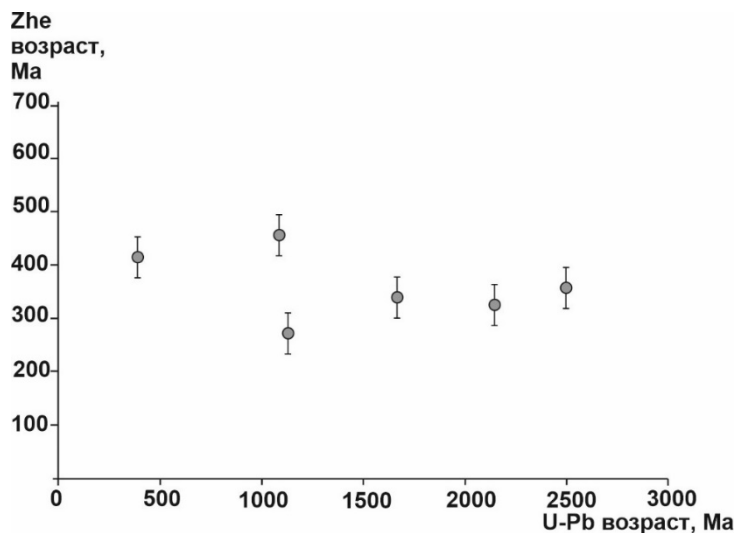


Рис. 3.6. Диаграмма соотношения ZHe и U-Pb возрастов обломочных цирконов из верхнекаменноугольных-нижнепермских отложений северо-восточной части о. Октябрьской Революции (Ershova et al., 2022b). Образец ОК16.

Анализ распределения возрастов обломочных цирконов позволяет сделать вывод, что источником сноса обломочного материала являлись породы, претерпевшие гренвильско-свеконорвежскую, тиманскую и каледонскую орогении или переотложенные продукты их размыва.

Отдельно стоит отметить, что распределения возрастов обломочных цирконов из верхнедевонских отложений севера Сибирской платформы и из девонских отложений арх. Северная Земля отличаются, что указывает на различные источники сноса обломочных пород. Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из девонских и более древних кембрийских и ордовикских отложений Карского террейна показало, что источники сноса претерпели значительное изменение. Так, в девонских песчаниках помимо многочисленной популяции позднепротерозойских–раннекембрийских цирконов второй по значимости является популяция цирконов мезопротерозойского возраста, которые присутствуют лишь в подчиненном количестве в более древних отложениях (рис. 3.6).

Схожие выводы можно сделать и по результатам низкотемпературной термохронологии (U-Th)/He возраст цирконов). Так, ZHe возраста цирконов, отобранных из ордовик-силурийских отложений, были перезапущены около 465 млн лет назад (рис. 3.4). При этом двойное датирование (U-Th)/He и U-Pb показало, что это событие было связано с выводом на дневную поверхность пород, содержащих кембрийские и позднекембрийские цирконы. Кроме того, результаты (U-Th)/He датирования цирконов из девонских отложений арх. Северная Земля указывает на несколько тектонических событий в источнике сноса терригенного материала. Второстепенная группа зерен имеет ZHe возраста около 465 млн лет; их источниками сноса являлись либо силур–ордовикские отложения и/или каледониды. Преобладают же в изученных пробах позднедевонские ZHe возраста (~380 млн лет), что хорошо коррелирует со временем элсмирского орогенеза или солундийско-свальбардской фазы каледонских деформаций (Anfinson et al., 2013; Eide et al., 2002; Lane, 2007; O'Brien et al., 2016; Roberts, 2003; Pierjohn, 2000; Pierjohn et al., 2008, 2015, 2018a). Двойное U-Pb и (U-Th)/He датирование цирконов показало, что источники сноса терригенного материала, содержащие обломочные цирконы с докембрийским и кембрийским U-Pb возрастом кристаллизации, в позднем девоне испытали воздымание с глубин не менее 5–6 км (Farley, 2002).

При этом довольно зрелый состав песчаников, вероятно, свидетельствует о значительном расстоянии переноса кластики. Такими потенциальными областями сноса, вероятно, могли выступать поднятия фундамента в Северо-Карского бассейна (Наливкина, Ушакова, Скалистое и др.), а также север баренцевоморского региона. Детальные комплексные изотопно-геохронологические и палеомагнитные исследования показали, что фундамент арх. Шпицберген дважды претерпел существенные тектонические перестройки – в ордовике и в позднем девоне (Michalski et al., 2017; Barnes et al., 2020). Наши данные позволяют сделать предположение, что сходные по геологическому строению с арх. Шпицберген области к востоку от него выступали источником сноса обломочных цирконов для девонских отложений арх. Северная Земля. Отдельно стоит обратить внимание на значительные видимые мощности (до 2 км) средне-верхнедевонских отложения арх. Северная Земля и их увеличение до 3-5 км в СКБ (например Drachev, Ershova, 2024). Хотя, первичная морфология девонских бассейнов во многом изменена в позднем палеозое- мезозое, но значительные мощности отложений, преимущественно их

континентальный генезис, накопление отложений синхронное с воздыманием источника сноса позволяет нам заключить, что изученные девонские осадочные комплексы формировались при размыве орогена, а исследуемый регион, вероятно, выступал передовым прогибом. Таким образом, это является дополнительным основанием для рассмотрения Карского террейна как части континента Балтики в раннем-среднем палеозое.

### **3.8. Реконструкция источников сноса верхнекаменноугольных–пермских отложений севера Карского террейна (арх. Северная Земля).**

Датирование обломочных цирконов из кембрийских и девонских отложений о. Октябрьской Революции (Lorenz et al., 2008) и кембрийских отложениях о. Большевик (Ershova et al., 2019a) показало, что породы содержат преимущественно мезо–неопротерозойские цирконы и единичные зерна ордовикского возраста (рис. 3.4). Напротив, основная популяция цирконов в обломочных породах верхнего карбона–нижней перми на о. Большевик и на северо-востоке о. Октябрьской Революции имеет ордовикский возраст, а мезо–неопротерозойские зерна немногочисленны (рис. 3.4). При этом в песчаниках верхнего карбона–нижней перми северо-востока о. Октябрьской Революции также присутствуют второстепенные популяции обломочных цирконов силурийского и девонского возрастов кристаллизации.

Преобладание ранне-среднеордовикских цирконов в проанализированных образцах хорошо согласуется с возрастом ордовикских вулканитов, (Lorenz et al. 2007), ордовикских гранитов (Кугаров et al., 2020; Prokoriev et al., 2019) и присутствием популяции обломочных цирконов схожего возраста в ордовикских песчаниках о. Октябрьской Революции (Lorenz et al., 2008). Возраста единичных каменноугольных зерен обломочных цирконов сопоставимы с возрастом гранитов, известных на о. Большевик (Lorenz et al., 2007).

Позднекаменноугольно-пермские отложения обоих изученных районов выполняют небольшие впадины. В разрезах среди песчаников присутствуют линзы и пласты крупногалечных конгломератов, что свидетельствует о близком расположении источников сноса, а наши седиментологические исследования показывают преимущественно аллювиальный генезис исследованных отложений. Петрографические исследования показали, что песчаники представлены литическими аренидами и их источником сноса выступали орогены. Основным источником обломочных зерен изученных верхнекаменноугольных–нижнепермских отложений на северо-востоке о. Октябрьской Революции являлись ордовикские осадочные, вулканогенно-осадочные и магматические комплексы, на что указывает унимодальное распределение зерен обломочных цирконов и петрографический состав песчаников. На северо-востоке о. Большевик в источнике сноса обломочного материала также присутствовали силурийские и девонские отложения.

Результаты двойного (U-Th)/He и U-Pb датирования цирконов из верхнекаменноугольных–нижнепермских отложений северо-востока о. Октябрьской Революции показали, что ZHe возраста большинства цирконов были перезапущены около 340 млн лет назад, определяя основной эпизод воздымания в источнике сноса кластики (рис. 3.6). Хотя присутствие зерна с раннепермским ZHe возрастом может свидетельствовать и о еще одном импульсе воздымания. Грубозернистый состав отложений свидетельствует о близком источнике сноса обломочных пород. Это позволяет предположить, что северо-восточная окраина арх. Северная Земля испытала значительное поднятие в карбоне и ранней перми.

Наши новые данные позволяют предположить, что позднепалеозойские тектонические события были значительно проявлены не только на южной окраине Карского террейна (Северный Таймыр и о. Большевик), как это предполагалось ранее (например, Khudoley et al., 2018), но и на его северо-восточном фланге (современные координаты).

## **Глава 4. Архипелаг Новосибирские острова.**

### **4.1. Общие сведения о геологическом строении.**

Архипелаг Новосибирские острова расположен между морями Лаптевых и Восточно-Сибирским, включает несколько островных групп – острова Анжу, Ляховские острова, острова Де-Лонга.

Существует несколько моделей тектонической принадлежности и геодинамической эволюции арх. Новосибирские острова в палеозое, основанных на разных критериях – возрастах

обломочных цирконов, структурно-тектоническом анализе, палеомагнитных исследованиях, фаунистическом провинциализме и т.п. Все модели можно объединить в три группы:

1) В первой группе моделей предполагается пери-сибирское происхождение арх. Новосибирские острова (Данукалова и др., 2014, 2015; Данукалова, Кузьмичев, 2017, 2018; Kuzmichev, 2009; Kuzmichev, Danukalova, 2023; Kuzmichev, Pease, 2007). Согласно модели, предложенной в Тектоника..., 2001 территория архипелага в результате девонского рифтогенеза была отделена от Сибирского кратона.

2) Вторая группа моделей рассматривает архипелаг как экзотичный по отношению к Сибири блок и сопоставляет его с Балтикой, Лаврентией и/или микроплитой Арктическая-Аляска-Чукотка (Akinin et al., 2015; Ershova et al., 2015 в.г, 2016 б, 2018б; Davydov, 2016; Prokoriev et al., 2018а,б; Pierjohn et al., 2018; Till et al., 2014).

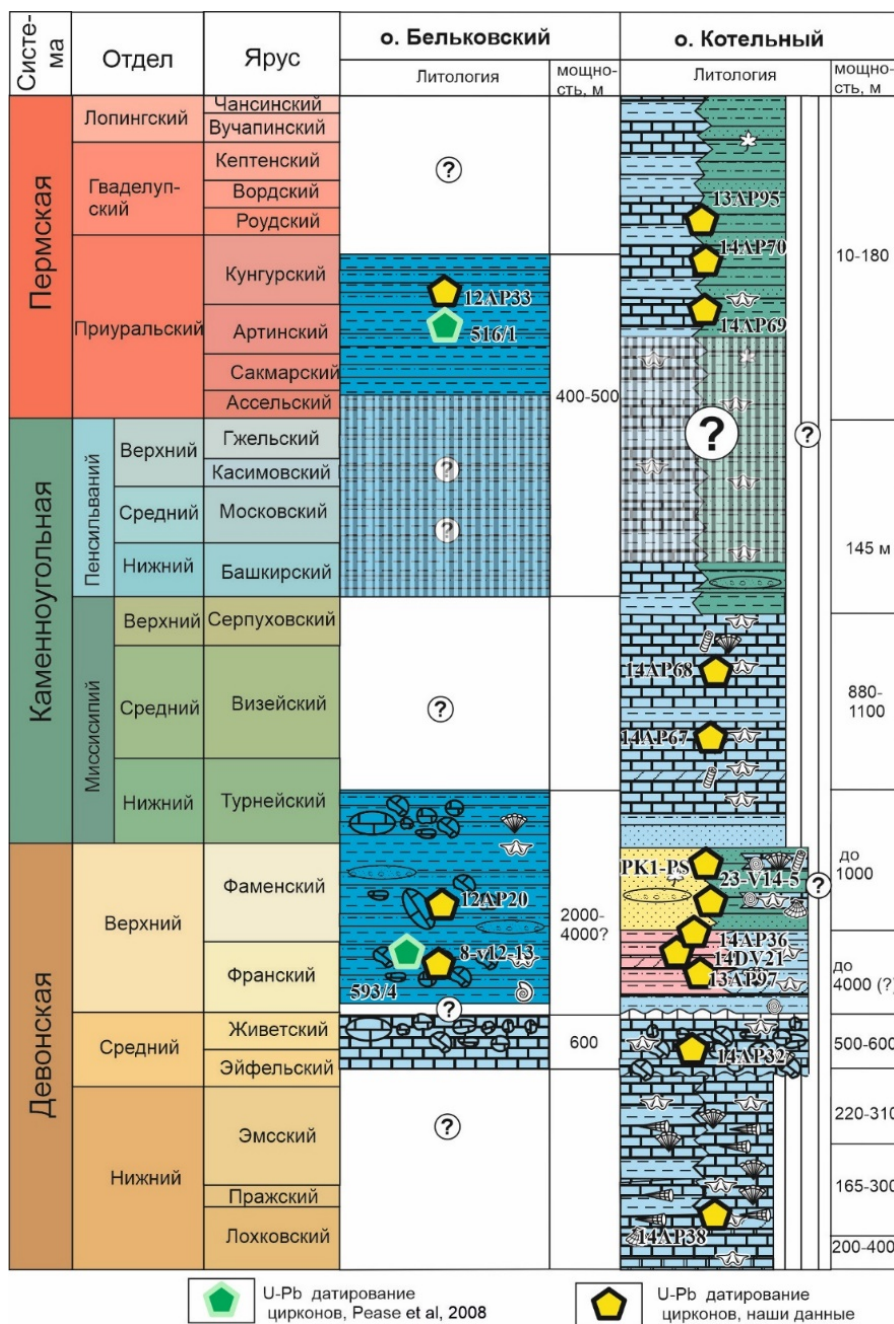
3) Согласно третьей группе моделей, территория арх. Новосибирские острова представляла собой отдельный микроконтинент в течение большей части палеозоя (Верниковский и др., 2013; Жданова, 2016; Метелкин и др., 2017, 2020; Чернова и др., 2017; Metelkin et al., 2016).

Архипелаг сложен в различной степени деформированными палеозой (венд?) – кайнозойскими отложениями. На отдельных островах вскрываются различные по стратиграфической полноте и степени деформированности разрезы (рис. 4.1) (Косько, 1985; Соболев и др. 2020; Kos'ko, Korago, 2009 и др.).

#### 4.2. Стратиграфия девон-пермских отложений.

В этом разделе приводятся сведения о стратиграфии девон-пермских отложений о-вов Бельковский и Котельный. Стратиграфическая последовательность и уровни отбора изученных проб приведены на рис. 4.1.

Рис. 4.1. Сводная стратиграфическая схема девон-пермских отложений арх. Новосибирские острова (по Данукалова и др., 2014; Косько и др., 1985; Prokoriev et al., 2018а; Danukalova et al., 2019) и местоположение датированных образцов. Условные обозначения см. на рис. 2.1.



### 4.3. Петрография девон-пермских песчаников о-вов Котельный и Бельковский.

#### 4.3.1. Девон-пермские отложения о. Бельковский.

На о. Бельковский петрографическими исследованиями охарактеризованы песчаники нерпалахской, чекурской (верхний девон-нижний карбон) и бельковской (пермь) свит (рис. 4.2).

Песчаники чекурской и нерпалахской свит представлены в различной степени сортированными мелко-среднезернистыми кварцевыми аренидами и сублитическими аренидами (рис. 4.2а) с карбонатным и глинисто-карбонатным цементом. На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) точки составов изученных песчаников расположены в поле рециклированных орогенов (рис. 4.2б). Песчаники бельковской свиты (пермь) представлены плохо сортированными мелко-среднезернистыми аркозовыми аренидами и сублитаренидами (рис. 4.2а) с карбонатным и глинисто-карбонатным цементом.

### 3.3.2. Девон-пермские отложения о. Котельный.

Песчаники чекурской, нерпалахской и тас-аринской свит имеют близкий петрографический состав и представлены мелко-, среднезернистыми кварцевыми и сублитическими аренидами с глинистым и карбонатно-глинистым цементом (рис. 4.2а).

На классификационной диаграмме В.Р. Дикинсона (1983) точки составов изученных песчаников лежат в поле рециклированных орогенов (рис. 4.2б).

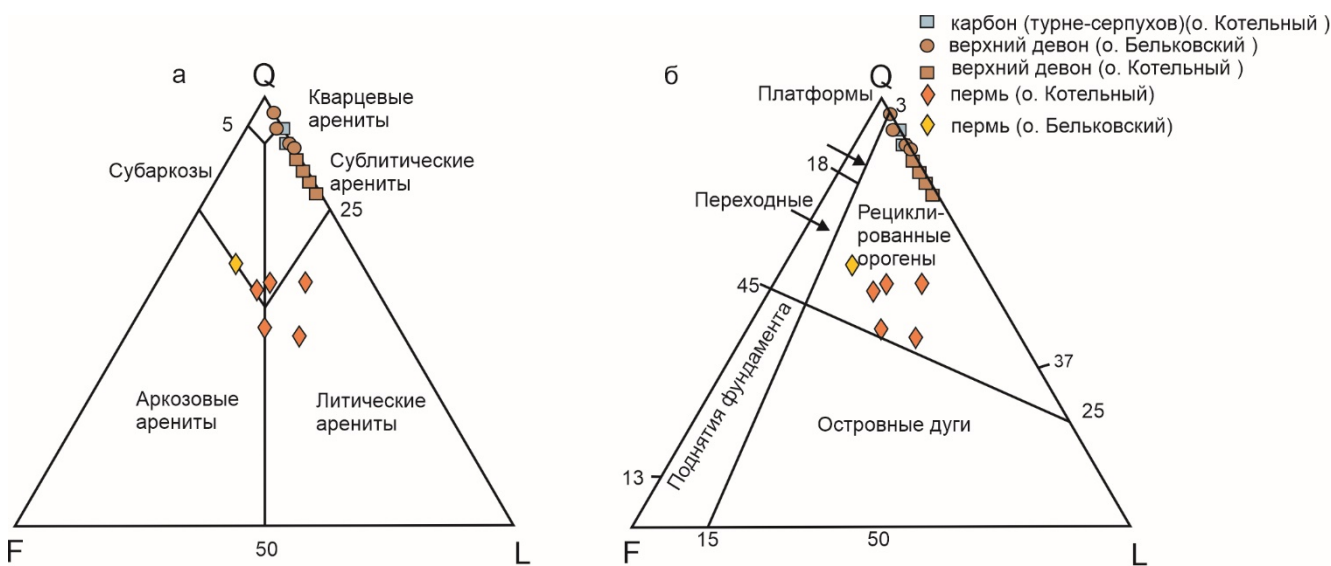


Рис. 4.2. Классификационные диаграммы QFL для верхнедевонских–пермских песчаников о-ов Котельный и Бельковский: а – петрографическая характеристика (Pettijohn et al., 1987); б – диаграмма геодинамических обстановок формирования песчаников (Dickinson et al., 1983). Q – кварц, F – полевоый шпат, L – обломки горных пород.

### 4.4. Уран-свинцовое датирование обломочных цирконов.

Во всех датированных образцах, отобранных из девонских отложений о-ов Бельковский и Котельный преобладают обломочные цирконы докембрийского возраста, которые составляют от 81 до 92% от числа всех датированных зерен (рис.4.3). Архейские зерна во всех образцах единичные (1–5%) и не образуют значимых возрастных пиков. Палеопротерозойские зерна составляют 15–28% от датированной популяции цирконов и образуют многочисленные небольшие пики в интервале возрастов 1600–1850 млн лет. Мезопротерозойские цирконы (19–44%) образуют многочисленные пики в интервале 1000–1600 млн лет. Неопротерозойские зерна наряду с мезопротерозойскими преобладают во всех образцах и составляют 20–32% от датированной популяции. В некоторых образцах отмечается небольшое количество цирконов с возрастом около 800 млн лет. Большинство неопротерозойских зерен имеют позднепротерозойский возраст – 600–550 млн лет и образуют значимые пики около 630–650, 600–620, 550–580 млн лет.

Двумя образцами охарактеризована тас-аринская свита (нижний карбон). Во всех проанализированных образцах наблюдается сходное распределение возрастов обломочных цирконов, однако в пробе 14AP68 цирконов с докембрийскими возрастными больше (79%), чем в образце 14AP67 (66%). Архейские зерна единичны и не формируют значимых пиков. Палеопротерозойские цирконы (16–20%) преимущественно группируются в интервале около



1650–1700 млн лет. Мезопротерозойские цирконы (34%) многочисленны в образце 14AP68 и группируются около 1550–1600, 1400–1450, 1100 млн лет. В образце 14AP67 мезопротерозойские цирконы (18%) формируют две значимые популяции 1650 и 1450 млн лет. Неопротерозойские цирконы (22–32%) образуют многочисленные пики около 700, 650, 550 млн лет. Палеозойские зерна (21–34%) группируются около 530, 470 и 410 млн лет.

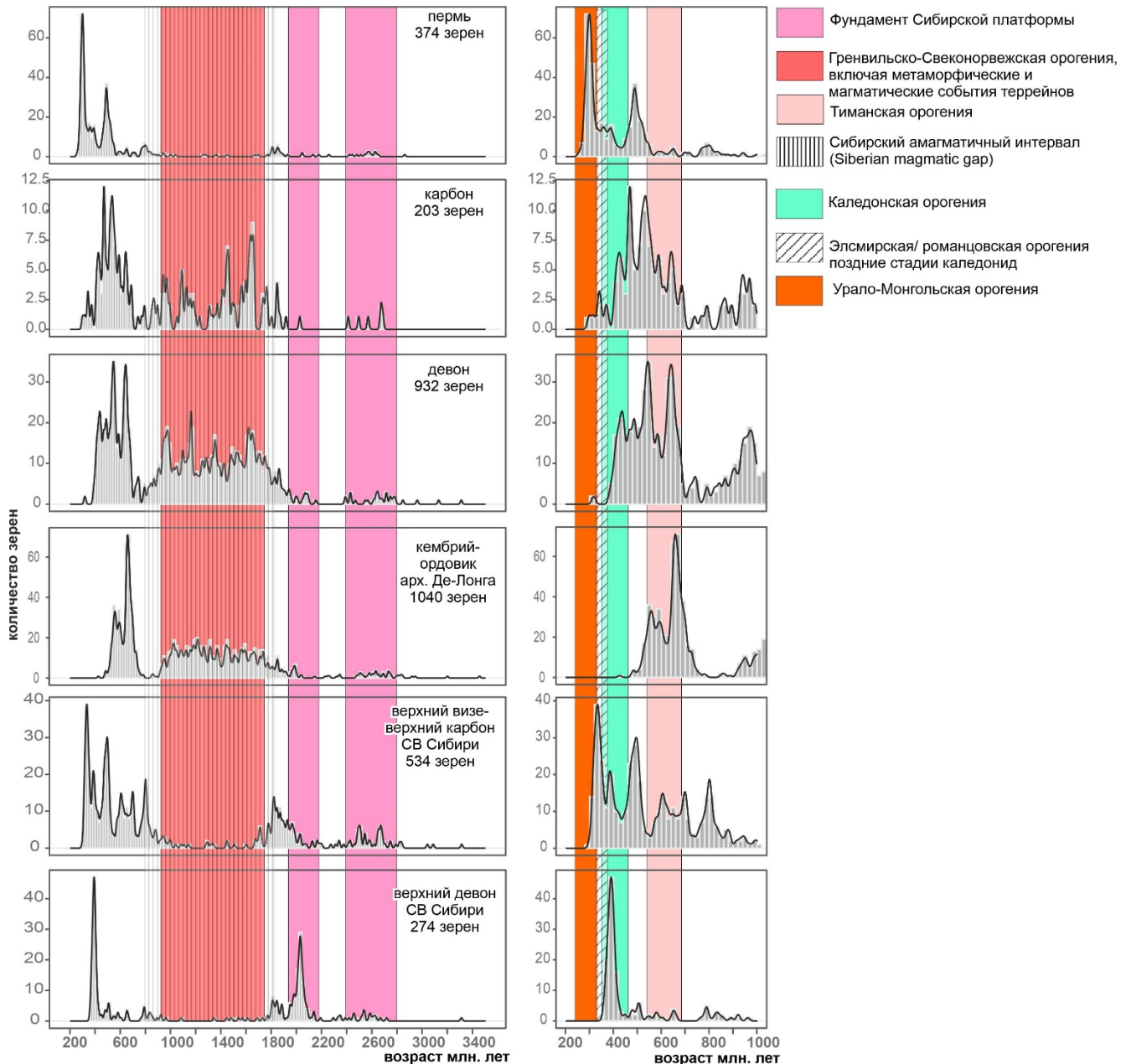


Рис. 4.3. Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из девон-пермских отложений арх. Новосибирские острова (Ershova et al, 2015 в.г, 2018; Pease et al., 2015), арх. Де-Лонга (Ershova et al, 2016б ) и СВ Сибири (Ershova et al, 2016а).

Пермские отложения охарактеризованы 5 пробами. Распределение возрастов обломочных цирконов в пермских отложениях разительно отличается от возрастных спектров, полученных из девон-каменноугольных пород. В образцах докембрийские цирконы немногочисленны и составляют от 18 до 25%. Архейские зерна либо отсутствуют, либо представлены единичными зернами, палеопротерозойские (4–9%) и мезопротерозойские (0–3%) цирконы не образуют значимых пиков. Неопротерозойские цирконы (9–16%) преимущественно имеют возраст кристаллизации в возрастном интервале 550–650 млн лет. Палеозойские цирконы (75–82%) отчетливо группируются в две популяции – раннепалеозойскую (530–450 млн лет) и позднепалеозойскую (350–270 млн лет).



#### 4.5. Lu-Hf изотопные характеристики цирконов.

Lu-Hf изотопные характеристики цирконов получены для пяти образцов из девон-нижнекаменноугольных (14AP36, 14AP38, 23-v14-5-67, 14AP67) и пермских (14AP69) отложений о. Котельный (рис. 4.4). Всего было проанализировано 209 зерен. Lu-Hf изотопные характеристики цирконов из всех изученных образцов демонстрируют сходство.

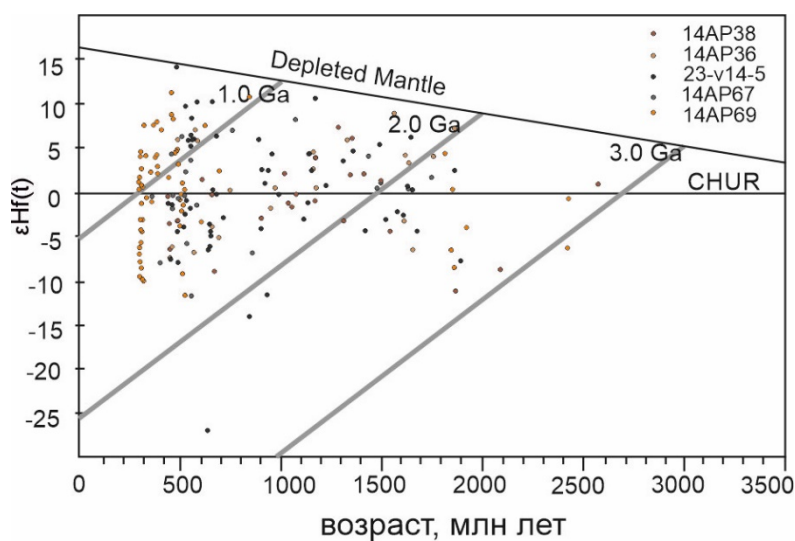


Рис. 4.4. Зависимость показателя  $\epsilon_{\text{Hf}}$  от U–Pb возраста для цирконов из девон-пермских отложений о. Котельный. CHUR – хондритовый однородный резервуар, Depleted Mantle – линия эволюции деплетированной мантии (Ershova et al., 2018б).

Для палеопротерозойских и мезопротерозойских цирконов значения  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  в основном положительные и реже отрицательные, варьирующие от  $-5$  до  $+10$ , хотя некоторые зерна имеют отрицательные значения  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ , достигающие  $-10$ . Раннепротерозойская (1000–800 млн лет) популяция цирконов имеет разброс значений  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  от  $-15$  до  $+5$ . Позднепротерозойские-кембрийские зерна образуют вертикальный тренд значений  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ , попадающий в интервал от  $-10$  до  $+10$ . Ордовик-девонские цирконы в основном имеют отрицательные значения  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  в пределах от  $0$  до  $-10$ , с небольшим количеством зерен с положительными значениями  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ .

Цирконы из образца 14AP69 (пермь) имеют другие значения  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ . Так, семь палеопротерозойских зерен имеют значения  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  от  $+4$  до  $-8$ . Для позднепротерозойских-кембрийских цирконов значение  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  варьирует от  $+5$  до  $-12$ , тогда как ордовик-девонские зерна в основном имеют положительные значения между  $+2$  и  $+9$ . Для преобладающей каменноугольно-пермской популяции обломочных цирконов характерен широкий разброс значений  $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$  от  $-10$  до  $+8$  (рис. 4.3).

#### 4.6. Двойное (U-Th)/He и U-Pb датирование обломочных цирконов.

Нами проведено двойное (U-Th)/He (ZHe) и U-Pb датирование обломочных цирконов из палеозойских отложений арх. Новосибирские острова (рис. 4.5). Все проанализированные пробы, отобранные на о-вах Анжу, претерпели перезапуск (U-Th)/He системы на границе раннего-позднего мела, что свидетельствует о существенных деформационных событиях и подъеме этой части архипелага при закрытии Южно-Анжуйского океана и формировании Новосибирско-Чукотского орогена (Prokoriev et al., 2018a).

Для расшифровки палеозойской истории наиболее значимы результаты низкотемпературной термохронологии, полученные по о-вам Де-Лонга (рис. 4.5). Нами были продатированы цирконы из кембрий-ордовикских отложений о-вов Генриетты, Жанетты и Беннетта. Все полученные ZHe возраста цирконов существенно моложе возраста седиментации и, следовательно, отражают время подъема на  $5-6$  км (Farley 2002). Значительное тектоническое событие, приведшее к перезапуску (U-Th)/He часов, произошло около  $385$  млн лет, что хорошо согласуется с возрастом углового несогласия, отмеченного на о. Котельный (Prokoriev et al., 2018).

#### 4.7. Палеогеография.

В этом разделе приводятся краткие сведения о палеогеографических обстановках девона-перми на территории арх. Новосибирские острова.

#### 4.8. Реконструкция источников сноса для девонских и каменноугольных отложений арх. Новосибирские острова.

Распределение возрастов обломочных цирконов в девон-нижнекаменноугольных отложениях весьма сходно, что указывает на близкие источники сноса обломочного материала.

Большинство датированных цирконов в девон-нижнекаменноугольных терригенных отложениях имеют возраст, варьирующий от 1800 до 900 млн лет (рис. 4.3). Позднепалеопротерозойско-мезопротерозойские магматические породы кислого и среднего состава и метаморфические породы имеют очень ограниченное распространение в фундаменте Сибирского кратона (Gladkochub et al., 2010). Это позволяет сделать вывод, что источник обломочных зерен располагался не в пределах Сибирского континента. Более того, проведенное нами датирование обломочных цирконов из девонских и каменноугольных отложений Сибири показало другое распределение возрастов обломочных цирконов, чем в палеозойских отложениях арх. Новосибирские острова (Глава 2) (рис. 4.6).

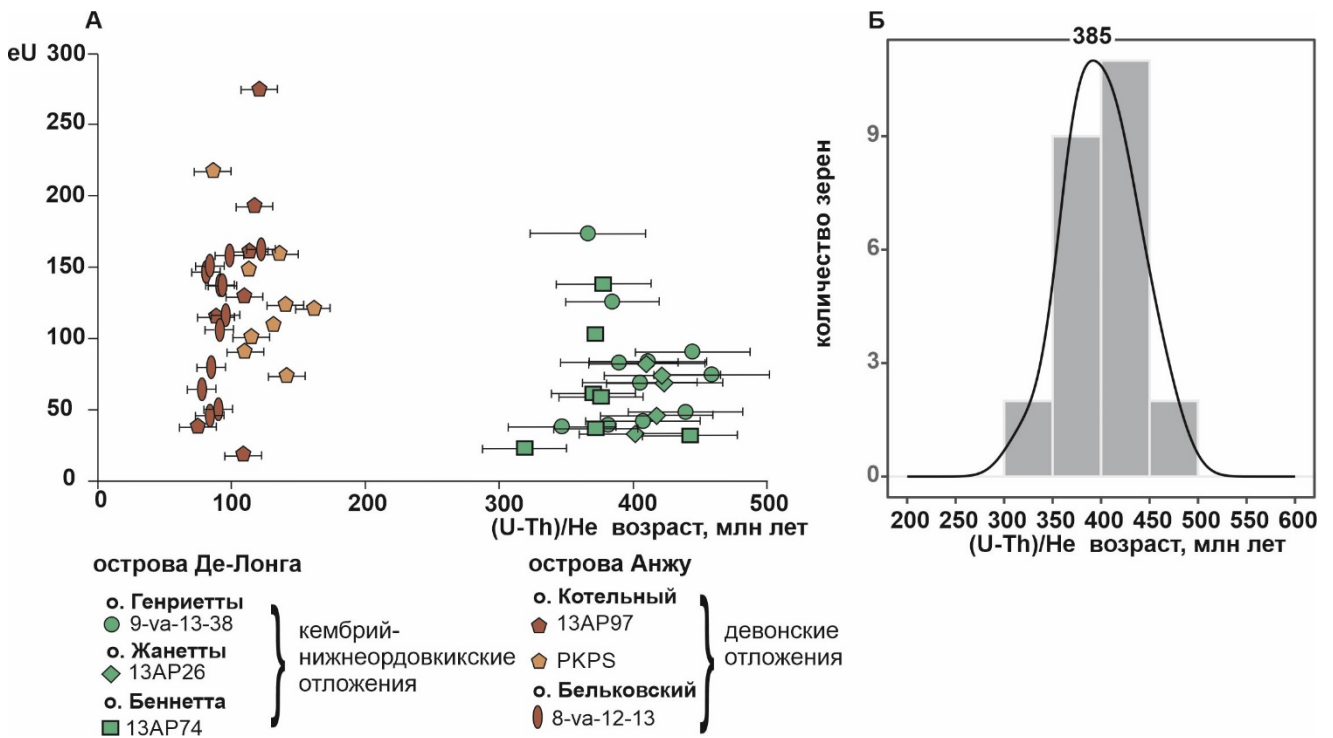


Рис 4.5. Диаграммы, иллюстрирующие результаты (U-Th)/He датирования обломочных цирконов из палеозойских отложений арх. Новосибирские острова (Prokoriev et al., 2018a): А – диаграмма eU vs. ZHe возраста обломочных цирконов, Б – гистограммы и кривые плотности вероятности распределения ZHe возрастов обломочных цирконов.

Обломочные цирконы с возрастом 1950–1800 млн лет можно сопоставить с магматическими событиями свекофеннского орогенеза. Породы этого возраста описаны в северной части Восточно-Европейской платформы (палеоконтинента Балтики) (Korja et al., 2006). Положительные значения  $\epsilon\text{Hf}(t)$  цирконов этого возраста также хорошо согласуются с  $\epsilon\text{Hf}(t)$  значениями свекофеннских интрузий (Andersson et al., 2001), однако 2 зерна со значениями –8 и –11 указывают на смешанные архейские и ювенильные свекофеннские источники.

Большинство позднепалеопротерозойских цирконов (1800–1600 млн лет) можно сопоставить с формированием Транскандинавского магматического пояса (Andersson et al., 2004; Gorbachev, 2004; Larson, Berglund, 1992). Популяция обломочных цирконов в возрастном диапазоне 1300–900 млн лет может быть скоррелирована с известными магматическими и метаморфическими событиями, связанными с гренвильско-свеконорвежским орогенезом (Bingen et al., 2008a,б, 2021; Granseth, 2021; McLelland et al., 2010; Pedersen et al., 2009; Rivers et al., 2008). Значения  $\epsilon\text{Hf}(t)$  цирконов этой популяции варьируют от –12 до +11, что хорошо соотносится со значениями  $\epsilon\text{Hf}(t)$ , полученными для цирконов из свеконорвежских гранитоидов (Andersen et al., 2009; Pedersen et al., 2009).

Вторая по численности популяция цирконов из девон-визейских отложениях относится к позднему неопротерозою (около 650–550 млн лет), и сопоставляется с возрастом становления Тиманского орогена (Кузнецов 2007, 2008; Gee et al., 2006; Gee, Pease, 2004; Kuznetsov et al., 2010). Зерна с возрастом 650–550 млн лет образует субвертикальный тренд значений  $\epsilon\text{Hf}(t)$ , что характерно для цирконов, происхождение которых связано с окраинно-континентальными

дугами (Griffin et al., 2002; Kemp et al., 2007). Ордовикско-силурийские цирконы встречаются во всех датированных образцах из девон-нижнекаменноугольных отложений, что свидетельствует о вкладе в состав осадков материала магматических и метаморфических пород, связанных с каледонским орогенезом (Bingen, Solli, 2009; Gee 2015, Gee et al., 2008). Цирконы раннего палеозоя характеризуются значениями  $\epsilon\text{Hf}(t)$  от 0 до  $-8$ , что свидетельствует о смешении ювенильной магмы со зрелой корой. Подобные значения  $\epsilon\text{Hf}(t)$  были зафиксированы в гранитоидах норвежских каледонид (Lundmark, Corfu, 2007).

Таким образом, проведенное нами исследование показывает, что возраст кристаллизации обломочных цирконов из девон-нижнекаменноугольных отложений Новосибирских островов хорошо сопоставляется с магматическими и метаморфическими событиями на континенте Балтика и в складчато-надвиговых поясах его северного и восточного (в современных координатах) обрамления.

#### **4.9. Реконструкция источников сноса для пермских отложений арх. Новосибирские острова.**

U-Pb возраста и Lu-Hf характеристики обломочных цирконов из девон-нижнекаменноугольных отложений о-вов Бельковский и Котельный отличаются от таковых для вышележащих толщ перми (рис. 4.3, 4.6), что указывает на изменение источника сноса обломочного материала в это время. Появление иного источника сноса кластики также подтверждается изменением петрографии пермских песчаников (литические и аркозовые арениты) по сравнению с девон-нижнекаменноугольными песчаниками (кварцевые арениты и сублитические арениты). Среди обломочных цирконов из пород перми многочисленны зерна с возрастными кристаллизации, близкими к возрасту седиментации, а петрографический анализ показал присутствие обломков вулканических и метаморфических пород. Все это указывает на то, что потенциальным источником сноса был ороген с синхронной магматической активностью. Немногочисленные палеопротерозойские и неопротерозойские цирконы характеризуются значениями  $\epsilon\text{Hf}(t)$  от  $+11$  до  $-9$ , что свидетельствует о смешении ювенильной и зрелой коры при их кристаллизации. Значения  $\epsilon\text{Hf}(t)$  в цирконах ранне-среднепалеозойской популяции варьируют от  $-12$  до  $+11$ , при этом большинство кристаллов имеет слабо отрицательные или положительные значения  $\epsilon\text{Hf}(t)$ , что указывает на ювенильный магматический источник при их кристаллизации и существенно отличается от подстилающих отложений.

Преобладающая каменноугольно-пермская популяция обломочных цирконов демонстрирует широкий диапазон значений  $\epsilon\text{Hf}$  от  $-10$  до  $+8$ , что позволяет предположить участие как ювенильной, так и более древней коры при их кристаллизации, что типично для магматизма, связанного с окраинно-континентальными дугами (Griffin et al., 2002).

Обширный каменноугольно-пермский магматизм широко распространен в Урало-Монгольском (Уральском) орогене (Пучков, 2009). В его пределах широко распространены раннепалеозойские магматические и вулканические породы (Пучков, 2009; Дегтярев, 2012 и ссылки в этих работах), которые могли являться источником цирконов этого возраста в изученных пермских песчаниках. Этот ороген был источником обломочного материала для многих бассейнов осадконакопления. В Главе 2 показано, что он был источником сноса для каменноугольных и пермских отложений севера восточной Сибири и, несомненно, поставлял обломочный материал на Восточно-Европейскую платформу и окружающие шельфовые бассейны. Возрастные спектры обломочных цирконов в отложениях, чьим источником терригенных зерен являлись восточный (для Сибирской платформы) (Ershova et al, 2016a) и западный (для Восточно-Европейской платформы, шельфов морей Баренцева и Печерского) (Чистякова и др., 2022; Lorenz et al., 2013) фланги Урало-Монгольского орогена, очень похожи, особенно в палеозойской части распределения возрастов.

В целом, проведенные нами исследования девон-пермских отложений Новосибирских остров показали, что возраста цирконов из девон-каменноугольных отложений сопоставляются с магматическими и метаморфическими событиями на континенте Балтика и в складчато-надвиговых поясах его северного и восточного обрамления (в современных координатах). На архипелаге проявлено деформационное событие на рубеже среднего и позднего девона, подчеркнутое угловым несогласием на о. Котельный и значительным (до 6 км) подъемом

территории о-вов Де-Лонга. Это событие коррелируется с завершающими стадиями деформационных событий каледонид и/или элсмирской/романцовской орогений, проявленной в террейнах Северной Америки.

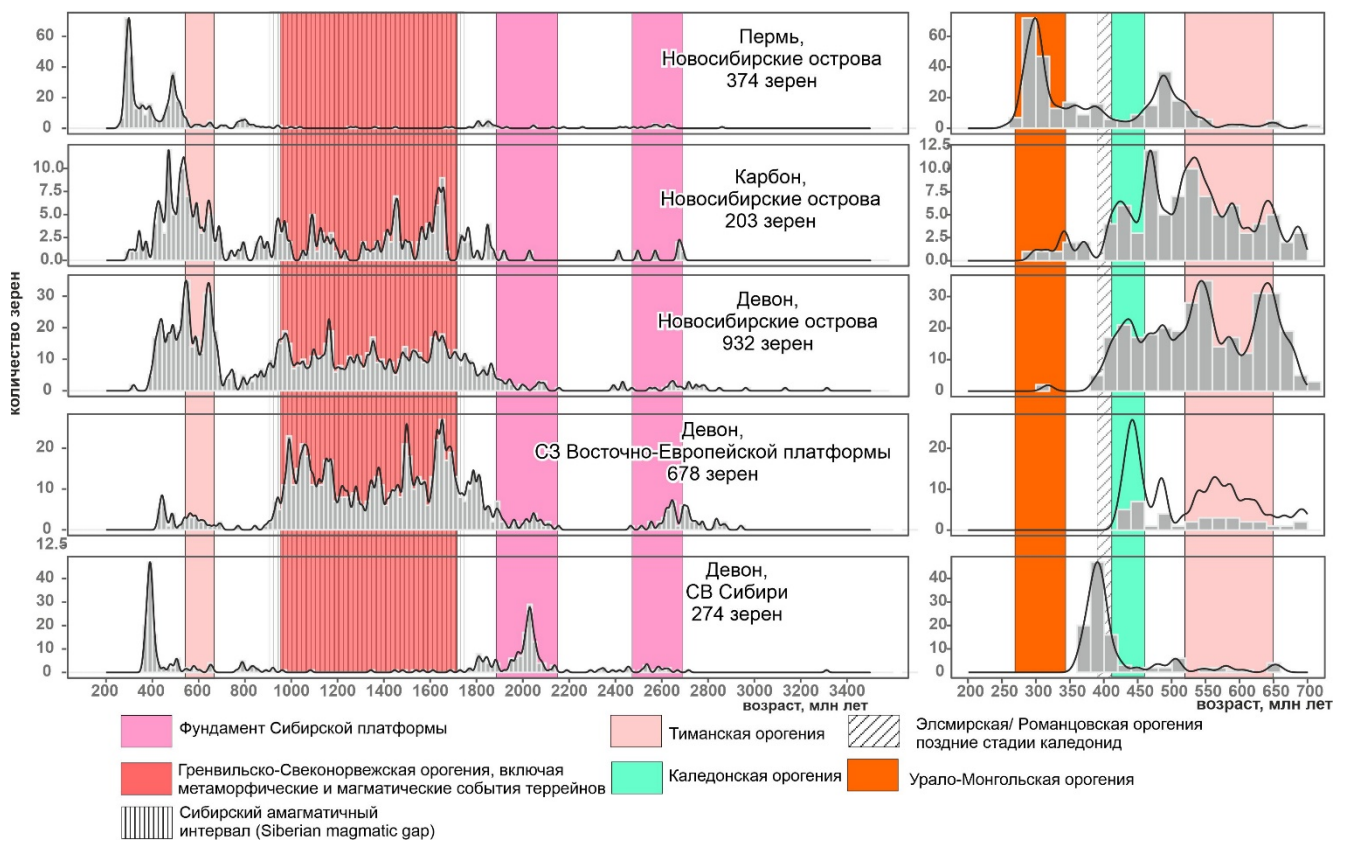


Рис. 4.6. Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из девонско-нижнекаменноугольных отложений арх. Новосибирские острова (Ershova et al, 2015 в.г, 2018; Pease et al., 2015), верхнего девона СВ Сибири (Ershova et al, 2016a), девона СЗ Восточно-Европейской платформы (собственные данные).

## Глава 5. Архипелаг Земля Франца Иосифа (ЗФИ).

### Глава. 5.1. Общие сведения о геологическом строении.

Архипелаг ЗФИ расположен вдоль северо-восточной окраины Баренцева моря (рис. 5.1). Норвежская часть Баренцева моря покрыта густой сетью сейсмических профилей и осадочный чехол изучен многочисленными скважинами, то российская часть изучена значительно слабее. При этом домезозойская осадочная последовательность северо-восточной части Баренцева моря изучена в основном по данным сейсморазведки (Басов и др., 2009; Drachev et al., 2010; Drachev, 2016, Henriksen et al., 2011; Макарьев, 2006, 2011 и ссылки в этих работах) и вскрыта только в скважине Нагурская, пробуренной в самой западной части арх. ЗФИ (рис. 5.1).

### 5.2. Стратиграфия.

В этом разделе приводятся сведения о стратиграфии каменноугольных отложений арх ЗФИ, вскрытых в скв. Нагурская.

### 5.3. Уран-свинцовое датирование цирконов из нижнекаменноугольных песчаников скв. Нагурская.

Нижнекаменноугольные отложения в скв. Нагурская охарактеризованы двумя образцами, отобранными с глубин 1777 и 1779.1 м.

В датированных образцах преобладают цирконы докембрийского возраста. Архейские зерна единичны, палеопротерозойские зерна в основном кристаллизовались в возрастном диапазоне 1750–1600 млн лет. Мезопротерозойские цирконы (13–27%) преимущественно отвечают возрастным диапазонам 1600–1400 и 1100–1000 млн лет, в то время как неопротерозойские зерна составляют 23–25% от проанализированной популяции и образуют серию пиков между 680 и 550 млн лет. Палеозойские зерна имеют в основном раннекембрийский и позднесилурийско-девонский возраст. В пробах присутствуют единичные зерна циркона с каменноугольными возрастными кристаллизациями.



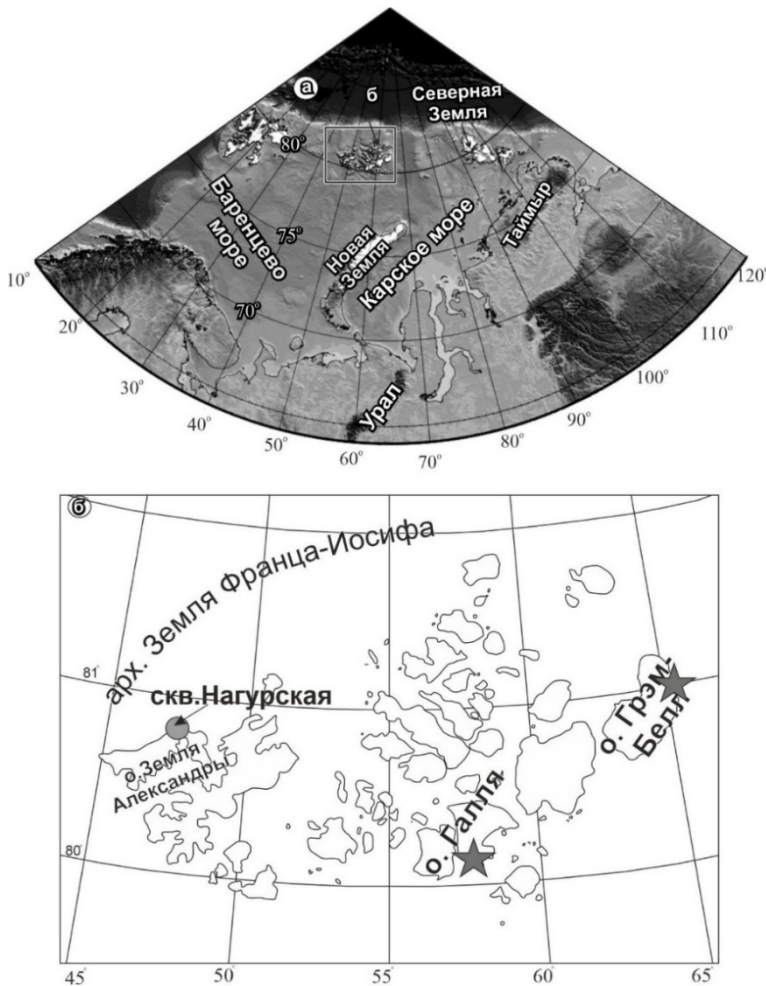


Рис. 5.1. Расположение изученных разрезов нижнеюрских конгломератов (указаны звездочкой) и положение скважины Нагурская, вскрывшей верхнепалеозойский разрез.

#### 5.4. Нижнеюрские конгломераты арх. ЗФИ и их значение при реконструкции домезозойской последовательности северо-востока Баренцева моря.

Нами для реконструкции палеозойской последовательности и тектономагматических событий северо-востока баренцевоморского региона были детально исследованы петрографическими, биостратиграфическими и изотопно-геохронологическими методами гальки и валуны из нижнеюрских полимиктовых конгломератов юго-востока архипелага ЗФИ (Ершова и др., 2017б; Ershova et al., 2017, 2022a). Всего было изучено 284 гальки и валуна в четырех пробах, собранных из двух разрезов на островах Грэм-Белл и Галля (рис. 5.1).

Размеры изученных галек и валунов варьируют от 2 до 15 см. По составу их можно разделить на четыре основные группы – магматические, метаморфические, осадочные и кварцевые. Гальки и валуны, сложенные обломочными породами, составляют от 0 до 26%, карбонатными – 10–22%, кремнистыми – 10–44%, интрузивными (в основном граниты) – 0–20%, эффузивными (в основном риолиты) – 7–12%, метаморфическими – 17–25%, кварцем – 6–16%.

Гальки метаморфических пород в основном сложены кварцитами, реже кристаллическими сланцами. Кристаллические сланцы состоят из кварца, мусковита, биотита и полевого шпата. Кварциты средне- и мелкозернистые, состоят из полуокатанных до хорошо окатанных зерен кварца с небольшими количествами серицита и хлорита. U-Pb датирование обломочных цирконов из трех галек, сложенных кварцитами, показало, что самый молодой возрастной кластер образует пик около 540–550 млн лет назад. Максимальный возраст отложений (MDA), основанный на алгоритме расчета  $YC2\sigma(3+зерна)$  (Dickinson, Gehrels, 2009), составляет от  $525,2 \pm 15$  (образец 15-V15-25-1) до  $506 \pm 11$  млн лет (образец 15-V15-28-15), свидетельствуя о раннекембрийском или моложе возрасте кварцитов (Ershova et al., 2022a).

Для гранитных галек из нижнеюрских конгломератов о. Галля на основе U-Pb (SHRIMP) датирования цирконов установлены позднепалеозойские возраста кристаллизации  $363,0 \pm 1,1$ ,  $345,3 \pm 0,81$ ,  $328,4 \pm 1,1$  и  $265 \pm 2$  млн лет (поздний девон, карбон–средняя пермь) (Ершова и др., 2017). На дискриминантных диаграммах геодинамических обстановок формирования магматических пород (Pearce et al., 1984), в частности Rb – (Y + Nb) и Nb–Y, фигуративные точки гранитных галек преимущественно попадают в поля вулканических дуг и синколлизонных гранитоидов (Ershova et al., 2022a).

Гранитная галька с о. Грэм-Белл (обр. 18-V15-34) сложена среднезернистым биотит-амфиболовым гранитом с равнозернистой текстурой. На дискриминантных диаграммах геодинамических обстановок формирования магматических пород (Pearce et al 1984) фигуративная точка состава попадает в поле внутриплитных гранитоидов (Ershova et al., 2022a). U-Pb (SHRIMP) датирование цирконов из этого образца показало, что восемь из десяти

проанализированных зерен группируются в конкордатный возраст  $520,2 \pm 1,3$  млн лет (ранний кембрий).

Широкое развитие магматических пород позднего палеозоя на северо-востоке Баренцева моря также подтверждается распределением возрастов обломочных цирконов из песчаников верхнего триаса–мела арх. ЗФИ (Ershova et al., 2022a).

### 5.5. U-Pb датирование и геохимия обломочных рутилов для реконструкции домезозойской последовательности северо-востока Баренцева моря.

Нами проведено также U-Pb датирование обломочных рутилов из мезозойских отложений арх. ЗФИ и дана их геохимическая характеристика (Ershova et al., 2024). Обломочные рутилы позволяют получить дополнительную информацию о возрасте метаморфизма и составе источника сноса терригенных пород, и существенно дополняют реконструкции, основанные на датировании обломочных зерен цирконов (Meinhold, 2010; Thomsen et al., 2015; Pereira et al., 2020; Rösel et al., 2019).

Геохимическая характеристика обломочных рутилов указывает на широкое развитие метапелитовых толщ в источнике сноса при подчиненном значении метаосновных пород. Температуры кристаллизации рутилов были рассчитаны с использованием калибровки (Triebold et al., 2012) на основе термометра Томкинса (Tomkins, et al., 2007). Рассчитанные температуры образования рутила показали, что большинство зерен сформировались при амфиболитовой фации метаморфизма и в меньшей степени – из метаморфических пород зеленосланцевой и гранулитовой фаций (рис. 5.2). Нам в настоящем исследовании наиболее интересны средне-позднепалеозойские возраста рутилов, т.к. они свидетельствуют об одновозрастных метаморфических событиях в их источнике.

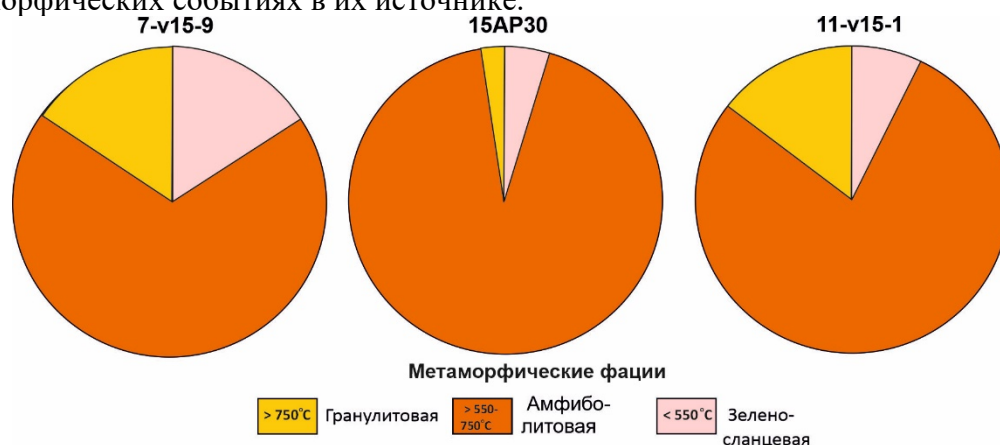


Рис. 5.2. Круговые диаграммы, показывающие процентное содержание пород различных метаморфических фаций в источнике обломочного рутила. Температуры метаморфизма по Bucher, Grapes, 2011.

Так, в пробе 7-v15-9 присутствуют многочисленные обломочные рутилы среднего-позднего девона, однако в других образцах они не образуют столь значимых популяций. Наиболее многочисленные обломочные рутилы позднего палеозоя указывают на основные метаморфические события, произошедшие 350–320 и 280–260 млн лет назад (рис.5.3).

### 5.6. Реконструкции домезозойской последовательности северо-востока Баренцева моря.

Детальное изучение нижнеюрских полимиктовых конгломератов позволило реконструировать состав и возраст домезозойской осадочной последовательности арх. ЗФИ и прилегающих территорий Баренцева моря. Размеры валунов и галек, а также их незрелый пестрый состав позволяют предположить, что источник сноса располагался вблизи изученных разрезов. Раннекембрийские кварциты являются древнейшими породами и обнаружены в гальках из обоих изученных разрезов. Кроме того, возраст кристаллизации ( $520,2 \pm 1,3$  млн лет назад) гранита гальки из самой восточной части арх. ЗФИ (о. Грэм-Белл) близок к MDA, рассчитанному для кварцитовых галек. Это позволяет предположить, что тиманский (венд(?)-раннекембрийский) магматизм распространялся до северо-восточной части баренцевоморского шельфа (современные координаты) (Ershova et al., 2022a). Вероятно, кембрийские кварциты

составляют единый структурный этаж вместе с мезо-неопротерозойскими метаморфическими комплексами, вскрытыми в скв. Нагурская. Следующим событием, которое возможно предположить, является позднедевонский–раннекаменноугольный гранитоидный магматизм (363–322 млн лет назад) (Ершова и др., 2017б). Это магматическое событие малоизвестно для баренцовоморского региона, хотя существуют помимо наших и другие косвенные данные о его проявлении здесь.

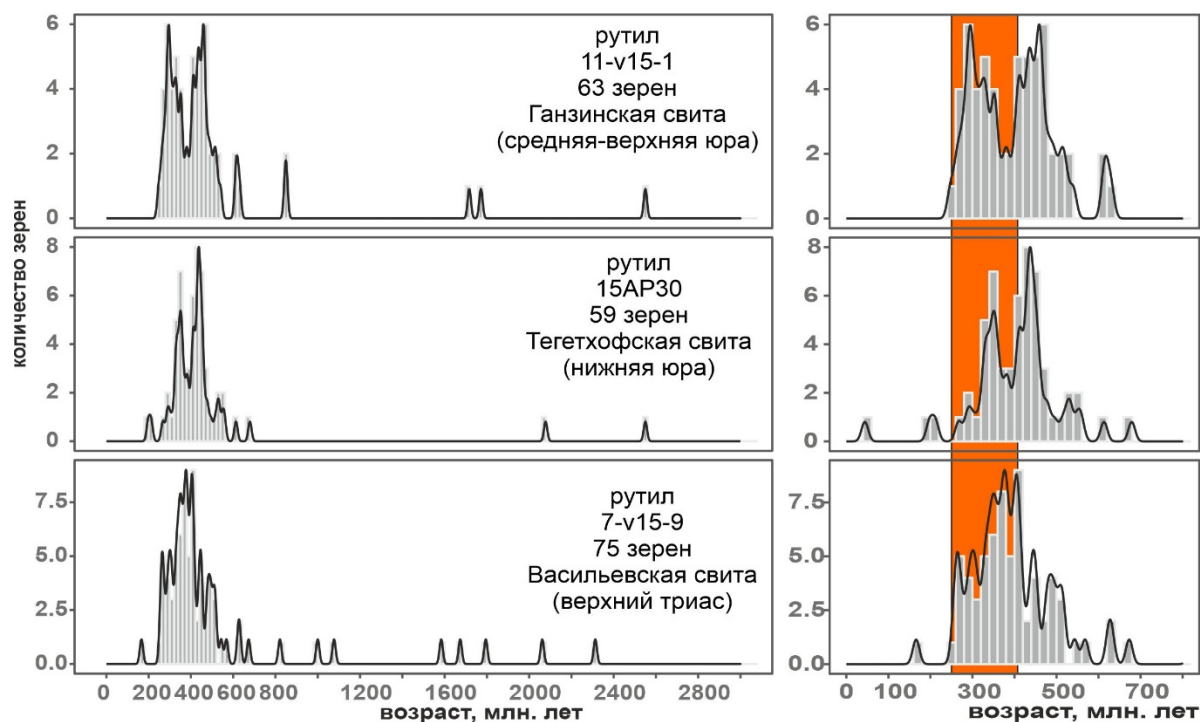


Рис. 5.3. Распределение возрастов обломочных рутилов из верхнетриасовых–юрских отложений арх. ЗФИ (Ershova et al., 2022a).

Так, на поднятии к северу от о. Виктория при драгировании на семи станциях в дресве присутствуют слабоокатанные гальки гранодиоритов и гранитов, гранито-гнейсов и амфиболитов, в количестве до 10%. Возраст неизменных разностей этих гранитоидов на основе  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  датирования составляет от 369 до 344 млн лет (Макарьев, 2006). А.А. Макарьев (2006) предположил, что изученные обломки гранитоидов были перенесены из морского поднятия, расположенного вблизи от донных станций, что свидетельствует о развитии позднепалеозойского магматизма на шельфе к западу от арх. ЗФИ. Эти  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  возраста аналогичны полученным нами U-Pb датировкам галек гранитоидов из нижнеюрских конгломератов. Это является дополнительным доказательством того, что девон-раннекаменноугольный магматизм распространен более широко в исследованном регионе, чем предполагалось ранее. Более того, распределения возрастов обломочных цирконов и рутилов из верхнетриасовых–юрских отложений арх. ЗФИ также указывают на развитие позднепалеозойского магматизма и метаморфизма в баренцовоморском регионе. Однако необходимы дальнейшие исследования, чтобы придать этому предположению дополнительные аргументы.

Базальные толщи карбона в скв. Нагурская представлены плохо сортированными континентальными песчаниками, которые можно предположительно считать источником изученных галек, сложенных плохо сортированными аркозовыми аренидами. Вероятно, их накопление указывает на завершение тектоно-магматической активности конца девона – начала карбона. Проведенное нами U-Pb датирование обломочных цирконов из песчаников скв. Нагурская показало, что наиболее многочисленные популяции имеют мезопротерозойские и поздненеопротерозойские–раннекембрийские возраста. Популяция обломочных цирконов в возрастном диапазоне 1300–900 млн лет может быть сопоставлена с магматическими и метаморфическими событиями в Гренвильско-Свеконорвежском орогене (Bingen et



al., 2008; 2021, Granseth, 2021; McLelland et al., 2010; Pedersen et al., 2009; Rivers et al., 2008). Наиболее многочисленной популяцией цирконов является позднепротерозойская-раннекембрийская (около 650–520 млн лет), которая близка возрасту магматизма и метаморфизма в Тиманском орогене (Кузнецов, 2007, 2008; Gee et al., 2006; Gee, Pease, 2004; Kuznetsov et al., 2010). Также возрасты обломочных цирконов из нижнекаменноугольных отложений в скв. Нагурская близки времени кристаллизации обломочных цирконов из галек кембрийских кварцитов из нижнеюрских конгломератов (Ershova et al., 2022a), а многочисленные цирконы мезопротерозойского возраста установлены в протерозойских кварцитах скв. Нагурская (Knudsen et al., 2019). Единичные девон-каменноугольные обломочные цирконы, вероятно, указывают на разновозрастный магматизм в питающей провинции. Источником сноса для нижнекаменноугольных песчаников могли быть локальные поднятия фундамента, сложенные преимущественно протерозой-нижнекембрийскими метаморфическими и метаосадочными породами, возможно, прорванными девон-раннекаменноугольными интрузиями.

Присутствие обнаруженных нами каменноугольных фораминифер в гальках известняков из нижнеюрских конгломератов, а также находки нижнепермских фузулинид в обломках известняков среди четвертичных отложений и разрез скв. Нагурская свидетельствуют о том, что, по крайней мере, с конца раннего карбона и до начала перми территория арх. ЗФИ представляла собой карбонатную платформу (Ershova et al., 2017, 2022a). Это коррелирует с хорошо изученным каменноугольно-нижнепермским осадочным разрезом Шпицбергена (Stemmerik, Worsley, 2000; Larssen et al., 2002; Ahlborn, Stemmerik, 2015 и ссылки там), который представлен преимущественно карбонатными породами. Полученные нами данные позволяют пересмотреть существующие палеогеографические реконструкции Баренцевогорья на каменноугольно-пермское время. Согласно Д. Ворслей (Worsley, 2008), территория арх. ЗФИ на протяжении большей части каменноугольного периода и перми представляла собой приподнятую область с локально развитым мелководноморским бассейном вдоль южной окраины архипелага. Наши исследования позволяют предположить, что в позднекаменноугольно-раннепермское время по всему шельфу Баренцева моря простиралась мелководная морская карбонатная платформа. Многочисленные гальки, сложенные черными кремнями и темно-серыми до черных окремненными аргиллитами, не имеют каких-либо надежных временных привязок. Однако мы можем предположить их пермский возраст на основании сходства с разновозрастным осадочным разрезом на арх. Шпицберген (Blomeier et al., 2011, 2013; Bond et al., 2018; Dustira et al., 2013;

Ehrenberg et al., 2001; Hüneke et al., 2001).

Нами на основе проведенных исследований и обобщения материала по геологическому строению региона составлена схема предполагаемой домезозойской осадочной последовательности северо-восточной части Баренцева моря (рис. 5.4).

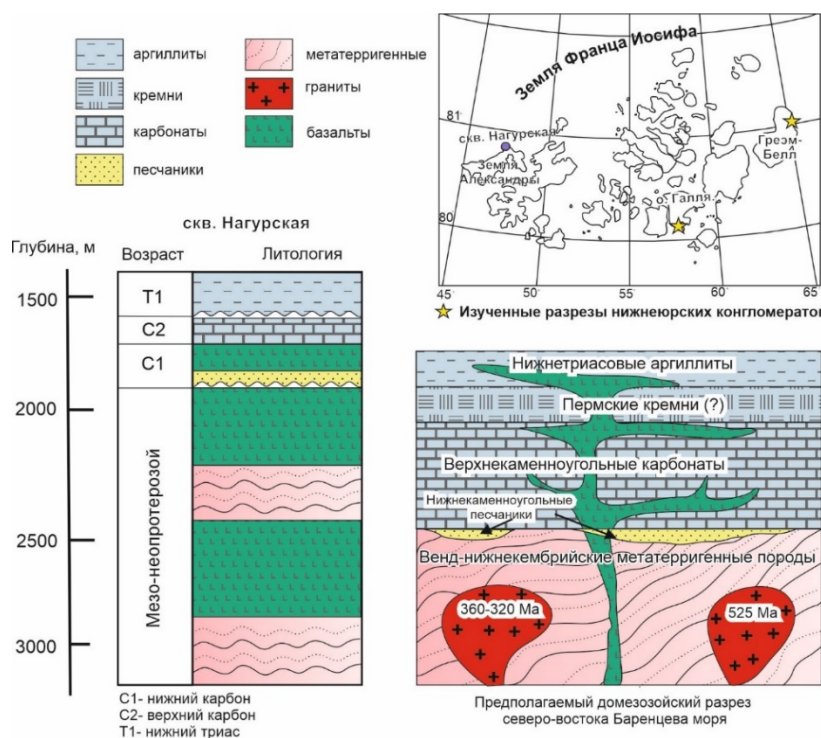


Рис. 5.4. Предлагаемая модель состава и возраста домезозойской последовательности юго-восточной части арх. Земля Франца-Иосифа и прилегающей части Баренцева моря (по Ershova et al., 2022a с изменениями).



## Глава 6. Обзор геологического строения и средне-позднепалеозойская геодинамика европейских и североамериканских арктических регионов.

В этой главе приведены краткие сведения о геологическом строении и средне-позднепалеозойской геодинамической эволюции Арктических регионов и ряда террейнов, которые, согласно многим моделям, были составными частями Арктики в палеозое (напр., Colpron, Nelson, 2011; Ershova et al. 2018б; Metelkin et al., 2015; Miller et al., 2011; Torsvik, Cocks, 2017 и многие другие) (рис. 6.1).

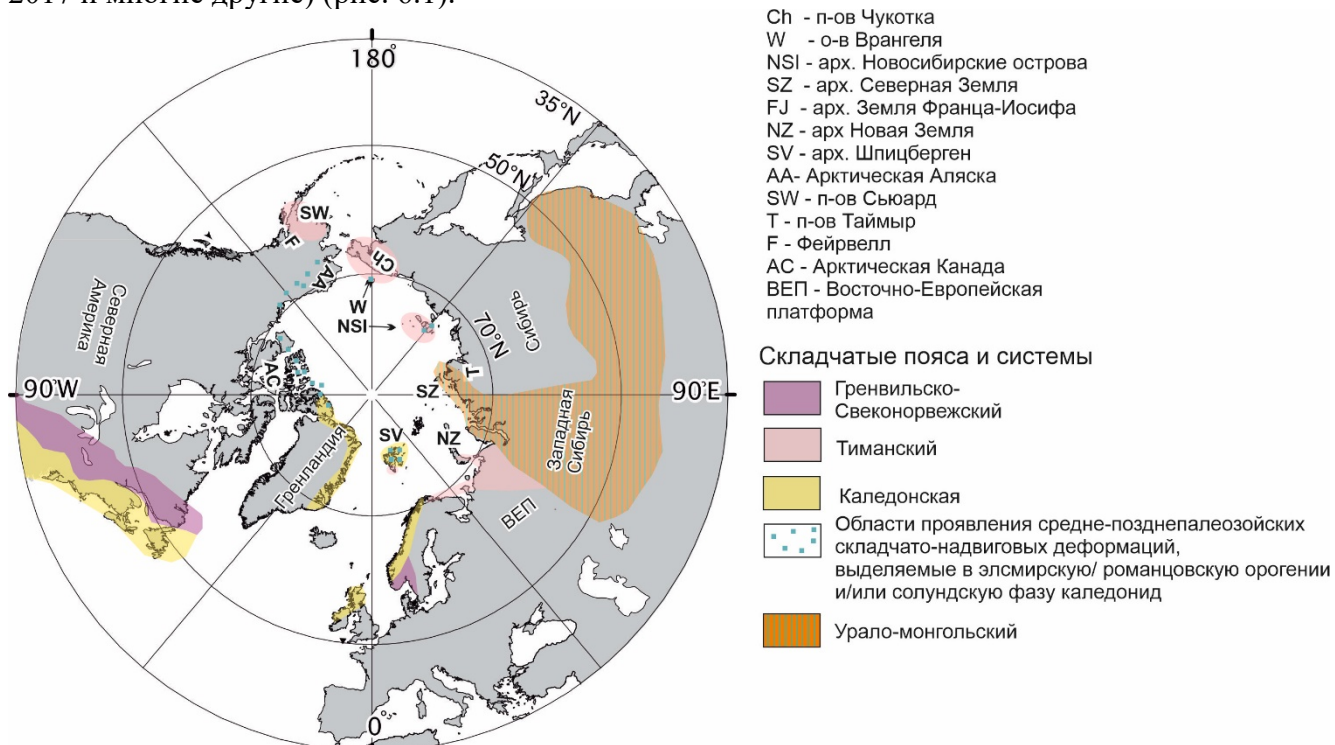


Рис. 6.1. Расположение основных регионов Арктики, описанных в главе 6, и современное распространение складчатых поясов и орогенов различного возраста, являвшихся источниками обломочного материала в палеозое.

Проведенный обзор обобщен в Схеме корреляции девон-пермских тектонических, седиментационных и магматических событий в Арктике (см. Приложение 1).

## Глава 7. Реконструкция источников сноса кластики и геологическая эволюция арктического региона в девоне-перми.

### 7.1. Геологическая эволюция арктического региона в девоне.

Расположение континентов и океанов в девонское время, хоть и является предметом дискуссий, но некоторые черты строения крупных континентов и их взаимоотношения реконструированы на достаточно детальном уровне (напр., Верниковский и др., 2013; Torsvik, Cocks, 2017; Cocks, Torsvik, 2011; Metelkin et al., 2016, 2022). В девонское время существовало три крупных континента – Лавруссия (Балтика и Лаврентия), образовавшаяся в результате закрытия океана Япетус в силуре-раннем девоне, Сибирь и Гондвана, разделенные океанами – Панталасским, Палеотетисом и Реик (Рейским), и отдельные крупные блоки, представлявшие фрагменты северного Китая и других регионов Азии (Torsvik, Cocks, 2017). Реконструкция палеозойской истории Арктики затруднена многочисленными рифтовыми и коллизионными событиями мезо-кайнозоя, которые в значительной степени переработали палеозойские структуры региона (напр., Nikishin et al., 2021; Shepard, 2013). Более того, значительную часть исследуемого региона занимают крупные шельфовые моря и мощный чехол мезо-кайнозойских осадков, что не позволяет изучать прямыми геологическими методами глубоко погруженные осадочные последовательности и/или фундамент бассейнов. Палеогеографическая основа и расположение крупных континентов, которую мы принимаем за основу наших дальнейших рассуждений, основана на расположении континентов и океанов, принятом в работе Torsvik, Cocks, 2017 (рис. 7.1).

Отдельные блоки и террейны Арктики согласно различным тектоническим реконструкциям в палеозое являлись составными частями Балтики, Лаврентии, Лавруссии, Арктиды и/или Сибири. Арктида – это гипотетический материк, в состав которого разные авторы включают отдельные части арктического региона – Карский террейн, Арктическую Аляску и Чукотку, Баренцевоморский шельф, Новосибирские острова. Согласно классическим представлениям Л.П. Зоненшайна с соавторами (Зоненшайн и др., 1990) в среднем-позднем девоне Арктида аккретировала к Евроамерике (Лавруссия в современной терминологии). Другая модель предполагает существование блоков Арктида I и Арктида II, которые дважды объединялись в единый континентальный блок и присоединялись к Родинии в неопротерозое, и к Пангеи в позднем палеозое (Metelkin et al., 2015).

370 млн лет  
поздний девон



410 млн лет  
ранний девон



Рис 7.1. Реконструкции по (Torsvik, Cocks, 2017) на девонский период с изменениями и упрощениями.

Также Арктидой называют предполагаемый материк, в результате столкновения которого с Балтикой в позднем докембрии - раннем кембрии сформировался Тиманский ороген (Kuznetsov et al., 2010; Кузнецов, 2006, 2008). Фактически к Арктиде относят разрозненные в настоящее время континентальные фрагменты арктического региона, которые имеют некоторые сходства в палеозойской геологической истории и чье положение относительно крупных континентов (Сибирь,

Лаврентия, Балтика) остается дискуссионным. Нами будет показано ниже, что реконструкция геологической эволюции арктического региона в среднем-позднем палеозое не требует привлечения гипотетического материка Арктида. Геологическая история всех рассматриваемых регионов может быть соотнесена с геологической эволюцией крупных континентов Лаврентии, Балтики и/или Сибири.

Средне-позднепалеозойская геологическая история Лаврентии и Балтики во многом определяется тектономагматическими событиями, которые связаны с закрытием океана Япетус. В Каледонском орогене выделяют несколько тектонических фаз (напр., таконская, акадская и др.), отражающие различные тектонические, метаморфические и магматические события, в том числе столкновения между дугами, террейнами и континентальными окраинами. Многие тектонические события, проявленные локально в отдельных частях орогенной системы, являются диахронными (Gee, 2015; McKerrow et al., 2000;). При этом все кембрий-раннедевонские тектонические и магматические события, связанные с развитием океана Япетус, традиционно относят к истории каледонской орогении. Средне-позднедевонские тектономагматические процессы можно считать как посткаледонскими, так и позднекаледонскими (напр., Gee, 2015) и/или определять как другие отдельные эпизоды складчатости (романцовская и/или элсмирская орогении).

Каледонский ороген простирается к северу от типовых районов Британских островов вдоль северо-восточного края Гренландии и западной Скандинавии до шельфа Баренцева моря

и арх. Шпицберген. Этот ороген, сформировавшийся при закрытии океана Япетус, сравнивают по размеру и тектоническому строению с современными Гималаями (например, Gee, 2015; Searle, 2022). Основная фаза коллизии континент-континент в типовых областях каледонид произошла в венлокское-эмское время (McKerrow et al., 2000; Gee, 2015). Девон здесь характеризуется началом гравитационного коллапса Каледонского орогена, который, вероятно, был разновозрастный в различных его частях (Gee, 2015; Fossen, 2010; McClay et al., 1986; Norton 1986; Searle, 2022; Wiest et al., 2021). В арктическом регионе образования Каледонского орогена выходят на дневную поверхность в северо-восточной Гренландии, Шпицбергене, террейне Пирия (Арктическая Канада). Вероятно, Каледонский ороген захватывает территории арх. ЗФИ (Knudsen et al., 2019) и севера арх. Новая Земля (наши данные). И если проявление каледонской орогении в вышеописанных регионах не вызывает больших сомнений, то насколько далеко за пределы современного Баренцева моря простирались связанные с ней деформационные события, а также каким был возраст этих событий, остается неясным (см. Главу 3).

В Арктической Канаде в позднем силуре–раннем девоне сформировалось поднятие Бутия (Boothia Uplift). Этот эпизод сжатия считают отголосками каледонских событий, хорошо задокументированных в террейне Пирия и северной Гренландии. Поднятие Бутия было источником синорогенных аллювиальных конусов выноса и турбидитов (Dewing, Hadlari, in press). В пределах террейна Северный склон Аляски деформационные события раннего-среднего девона выделяют как романцовскую орогению (Lane, 2007) (раннеэлсмирскую в терминологии Grantz et al., 1994), которая, вероятно, привела к формированию складчатого основания террейна. В других арктических регионах прямых свидетельств присутствия каледонских деформаций, если к ним относить тектономагматические события позднего силура – эмса, не установлено. При этом имел место ряд деформационных событий, широко проявленных в арктическом регионе в среднем-позднем девоне. Так, в Арктической Канаде поступления большого объема обломочного материала в раннем девоне интерпретируется как начало формирования молассовых отложений девона, сносившихся с располагавшегося к северу (в современных координатах) орогена (Anfinson, 2012, 2013; Dewing, Hadlari, in press; Embry, 2019). В пределах арх. Новосибирские острова на основе (U-Th)/He датирования установлено тектоническое воздымание в среднем-позднем девоне (арх. Де-Лонга) и обнаружено угловое несогласие в основании верхнего девона на о-ве Котельный (Prokoriev et al., 2018b) (см. Главу 4). На о-ве Врангеля на основе различия структурных стилей также предполагают угловое несогласие либо в основании среднего, либо верхнего девона/карбона (Вержбицкий и др., 2015; Моисеев и др., 2018; Соколов и др., 2017). (U-Th)/He датирование цирконов из девонских песчаников арх. Северная Земля показало, что в источнике сноса кластики произошло существенное воздымание (до 6 км) в позднем девоне, а грубозернистый характер осадков позволили нам сделать вывод о расположении этого поднятия вблизи архипелага. Это позволяет заключить, что, вероятно, часть Карского террейна (расположенная к западу и, возможно, к северу от архипелага) была подвержена существенным деформациям в позднем девоне, что привело к ее выводу в зону размыва. Элсмирская орогения (*sensu stricto*) была выделена на севере Арктической Канады и отвечает деформационному событию позднего девона (и начала раннего карбона?). Ее длительность, протяженность, структурные стили и геодинамические причины до сих пор являются предметом дискуссий (Dewing, Hadlari, in press; Embry, 2019; Gee, 2015; Pierjohn et al., 2008, 2015; Pierjohn, von Gösen, 2018). Близкие по возрасту позднедевонские-раннекаменноугольные деформационные события в террейне Северный склон Аляски последнее время интерпретирует как трансензионные, но отношение, если таковое имеется, этих структур к элсмирскому орогенезу не установлено (Anderson, Meisling, 2021; Fulk, 2010).

Девонский период в арктическом регионе не только ознаменовался серией событий сжатия, но и значительным растяжением. Так, гравитационный коллапс орогена привел к формированию различных по величине бассейнов растяжения на каледонском фундаменте, известных на севере Скандинавии, Шпицбергене, Гренландии. Формирование этих бассейнов происходило с конца раннего до позднего девона (см. Главу 6). При этом гравитационный коллапс способствовал поступлению на обширные территории, прилегающие к орогену как со стороны Балтики, так и Лаврентии, большого объема терригенного материала, что ознаменовалось накоплением девонской красноцветной молассы, традиционно называемой Old

red sandstone (красноцветный древний песчаник) (Gee, 2015; Searle, 2022). Нами проведен анализ распределения возрастов обломочных цирконов из девонских отложений арктического региона (рис. 7.2), который показал сходство источников сноса кластики для ряда террейнов и областей. То, что питающей провинцией для девонских отложений арх. Шпицберген и Гренландии выступали каледониды не вызывает сомнений, так как небольшие бассейны, в которых накапливались эти отложения, расположены в пределах Каледонского орогена, а источником сноса являлись окружающие поднятия. Это было установлено еще до массового использования результатов датирования обломочных цирконов для реконструкции питающих провинций осадочных бассейнов (напр., Harland, 1997). Расположение самих террейнов и источников сноса обломочного материала для других арктических областей не столь очевидно, хотя некоторое сходство в их осадочной последовательности и геологической истории было отмечено еще Л.П. Зоненшайном с соавторами (1990). Это дало возможность предположить, что ряд террейнов некогда образовывали единый континентальный блок в раннем и, возможно, позднем палеозое. При этом различное распределение возрастов обломочных цирконов из верхнедевонских отложений северо-восточной части Сибири (Глава 2) и северо-западной части Восточно-Европейской платформы (Балтики) может быть использовано для определения возможного перисибирского или пери-балтийского происхождения отдельных блоков и террейнов Арктики (напр., территории архипелагов Новосибирские острова и Северная Земля, террейна Фейрвелл) (рис. 7.2, 7.3). Распределение возрастов обломочных зерен цирконов в средне-позднедевонских отложениях Арктической Канады, девонских толщах арх. Новосибирские острова, верхнедевонских отложениях арх. Северная Земля, арх. Новая Земля, террейна Северный склон Аляски, п-ва Сьюард и южной части хр. Брукса весьма сходны (рис. 7.1). Для девонских отложений всех этих регионов характерно присутствие значительной популяции мезопротерозойских зерен, зачастую даже ее преобладание (рис. 7.2). Мезопротерозойские цирконы совпадают с возрастными магматическими и метаморфическими событиями, известных в Гренвилльско-Свеконорвежском орогене (Bingen et al., 2008; 2021; Granseth, 2021; McLelland et al., 2010; Pedersen et al., 2009; Rivers et al., 2008). Более того, цирконы с таким возрастом кристаллизации многочисленны в мезопротерозойских песчаниках как Лаврентии, так и Балтики, в том числе в районах, которые впоследствии были вовлечены в каледонскую орогению (см. напр., Brustnitsyna et al., 2022 и ссылки в этой работе).

Следующая значимая популяция обломочных цирконов, выявленная в ряде регионов, позднепротерозойская и отвечает времени становления Тиманского орогена, чье распространение на северо-востоке Балтики хорошо установлено, но его продолжение далее на север баренцевоморского шельфа дискуссионно (Gee et al., 2006; Gee, Pease, 2004; Kuznetsov et al., 2010; Кузнецов, 2007, 2008). Тиманский сигнал в обломочных цирконах хорошо проявлен в девонских отложениях арх. Новая Земля (рис. 7.2), при этом зерна такого возраста либо единичные, либо отсутствуют в девонских песчаниках Гренландии и Шпицбергена. Выявленная закономерность хорошо согласуется с возможным положением сутуры Каледонского орогена, разделявшей Лаврентию и Балтику и, соответственно, оставляющей Гренландию и Шпицберген расположенными преимущественно на лаврентийской части, где тиманская орогения не была проявлена.

Ордовик-раннедевонская популяция обломочных цирконов, которая отмечена в девонских отложениях всех рассматриваемых регионов (за исключением северо-востока Сибири), коррелирует с различными магматическими и метаморфическими событиями каледонид (Gee, 2015; McKerrow et al., 2000; Searle, 2022). При этом количество цирконов этого возрастного диапазона в девонских отложениях разных регионов значительно варьирует.

Раннепалеозойская популяция многочисленна в отложениях девона Шпицбергена и Гренландии, но на северо-западе Восточно-Европейской платформы в породах этого возраста встречаются лишь единичные раннепалеозойские зерна, и они отсутствуют в отложениях арх. Новая Земля. Вероятно, это связано с дискретным распределением магматических пород раннего-среднего палеозоя в пределах орогена и одновременным их выведением на дневную поверхность при разрушении горно-складчатого сооружения.



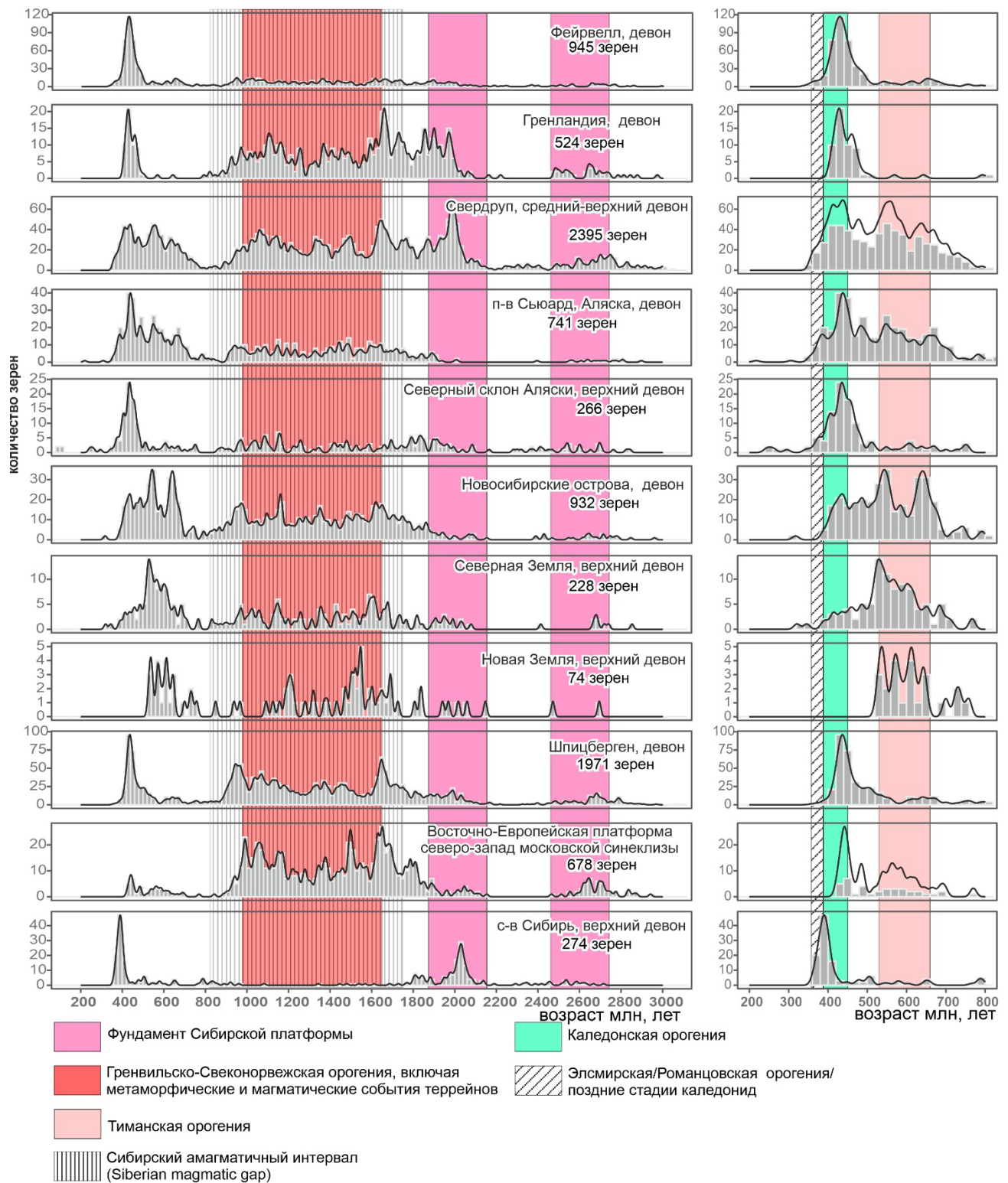


Рис. 7.2. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения возрастов обломочных цирконов из девонских отложений арктического региона (наши данные, Amato et al., 2009; Anfinson et al., 2012, 2022, 2020; Dumoulin et al., 2018; Holm-Denoma et al., 2019; Lorenz, 2008, 2013; Pease et al., 2015; Pettersson, 2010; Pointon et al., 2023; Slama et al., 2011).

Распределение возрастов обломочных цирконов из девонских отложений северо-востока Сибири и реконструкция источников сноса детально рассмотрены в Главе 2. Здесь лишь отметим, что там присутствуют две основные популяции обломочных цирконов – 1900–2100 и 400–380 млн лет, характерно также отсутствие значимых популяций цирконов мезо-неопротерозоя и раннего палеозоя. Наши исследования показали локальный (сибирский) источник сноса для верхнедевонских отложений северо-востока Сибири.

Отмеченные закономерности в распределении возрастов обломочных цирконов в терригенных породах девона для регионов, чье расположение в среднем-позднем палеозое относительно крупных континентов не вызывает сомнений, позволяет сделать предположение о

положении ряда арктических террейнов, происхождение и местоположение которых в среднем-позднем палеозое дискуссионно. Так, распределение обломочных цирконов из девонских отложений североамериканских террейнов Фейрвелл и Северный склон Аляски, п-ва Сьюард, арх. Новосибирские острова и Северная Земля; Шпицбергена, Гренландии и арх. Новая Земля весьма сходно (рис. 7.2). Мы предполагаем, что все эти разрозненные сейчас блоки получали обломочный материал с Каледонского орогена и, вероятно, располагались недалеко от фронта деформаций и/или в пределах окраинных частях самого орогена. Установить, с какой из сторон – лаврентийской или балтийской – находились отдельные блоки только на основании распределения возрастов обломочных цирконов не всегда представляется возможным, т.к. провинанс-сигнал орогена из разных его частей весьма сходен. С некоторой долей условности можно заключить, что присутствие значительной популяции обломочных цирконов позднего неопротерозоя (тиманский сигнал) свидетельствует о пери-балтийском расположении территории арх. Северная Земля, арх. Новосибирские острова и п-ва Сьюард в девоне. В девонских отложениях террейнов Северный склон Аляски и Фейрвелл единичны цирконы позднего неопротерозоя, что может указывать либо на их пери-лаврентийское происхождение и/или на то, что источниками сноса выступали преимущественно фрагменты орогена, сложенные пери-лаврентийскими блоками. Для террейна Северный склон Аляски этот вывод согласуется с современными представлениями о его вероятном расположении вблизи северо-востока Гренландии в среднем-позднем палеозое (McClelland et al., 2021, 2023; Strauss et al., 2013 и ссылки в этих работах). Для террейна Фейрвелл характерно сходное с Северной Аляской распределение возрастов обломочных цирконов, хотя его экзотичное к Лаврентии происхождение было предположено на основе изучения фауны (Антошкина, Соджа, 2016; Soja, Antoshkina, 1997; Blodgett, 1998; Blodgett et al., 2002). Предположение о пери-сибирском происхождении террейна Фейрвелл, выдвинутое некоторыми исследователями (напр., Colpron, Nelson, 2011), не подтверждается, т.к. верхнепалеозойские отложения террейна содержат отличный от сибирского провинанс-сигнал. Это позволяет сделать вывод, что модели тектонического происхождения террейна Фейрвелл, предложенные Дж. Дамулин с соавторами (Dumoulin et al., 2018) и Д. Бредли с соавторами (Bradley et al., 2018) о пери-лаврентийском или пери-балтийском происхождении более отвечают имеющимся данным о его геологическом строении.

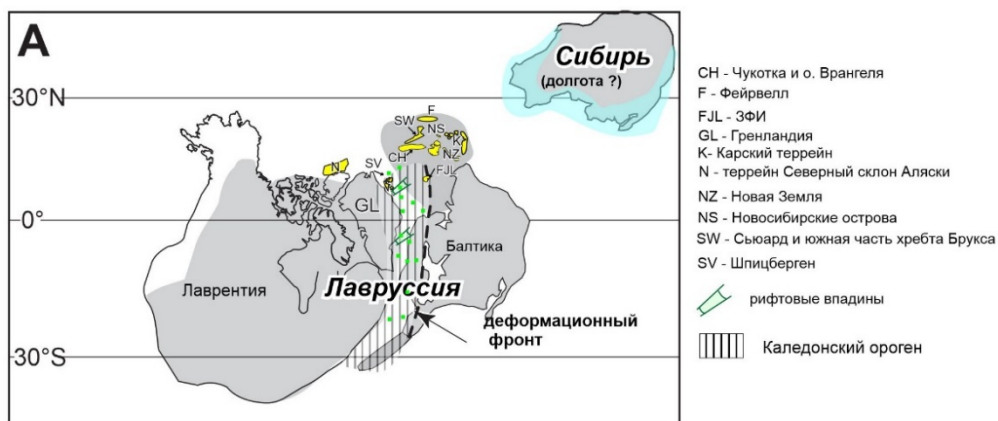
Последовательность событий девона и расположение различных террейнов показаны на рис. 7.4.

Для российской части Арктики в среднем и позднем девоне также было характерно поступление кластики с каледонским провинанс-сигналом на арх. Новосибирские острова и арх. Северная Земля. Таким образом, источником обломочного материала, который в девоне поступал в Арктическую Канаду и на террейн Северный склон Аляски, арх. Северная Земля и арх. Новосибирские острова, являлся Каледонский ороген. Мы предполагаем, что и более поздние, чем в классическом понимании каледонской орогении деформационные события, отмеченные в рассматриваемых регионах, были связаны с тектоническими событиями на его северном и восточном продолжении (в современных координатах).

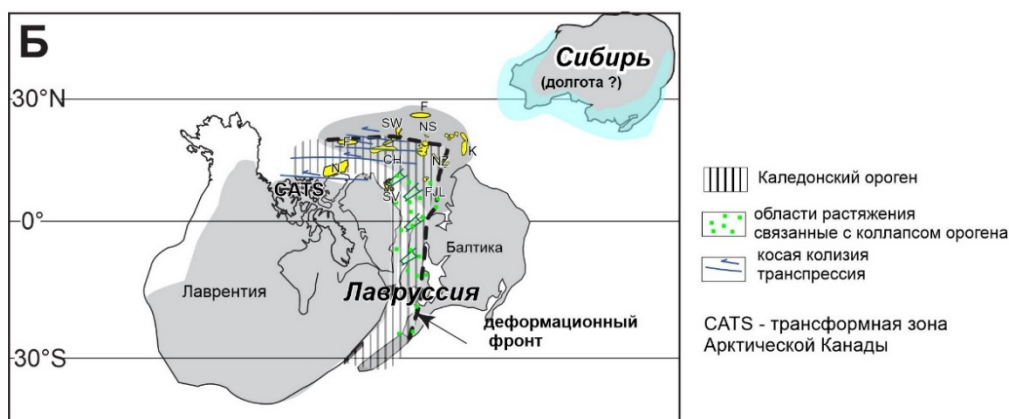
В раннем-среднем девоне орогеническое событие произошло в террейне Северный склон Аляски (романцовская орогения), в это же время начал поступать большой объем обломочного материала в Арктическую Канаду с формированием многокилометровой молассы с провинанс-сигналом Каледонского орогена.

Во многом разные проявления деформационных событий, близких по возрасту и известных в различных и удаленных ныне друг от друга регионах Арктики, получили свои собственные названия на ранних стадиях изучения регионов – романцовская орогения или ранняя и поздняя стадии элсмирской орогении на Аляске, элсмирская орогения в Арктической Канаде. Это произошло до начала обобщения строения и геодинамической эволюции уже не отдельных территорий Арктики, а всего региона в целом. На современном этапе геологического изучения Арктики появляется все больше идей о взаимосвязанности этих событий и попыток их соотнести со значительно более изученной историей центральных частей Каледонского орогена.

### Ранний девон



### Средний девон



### Поздний девон

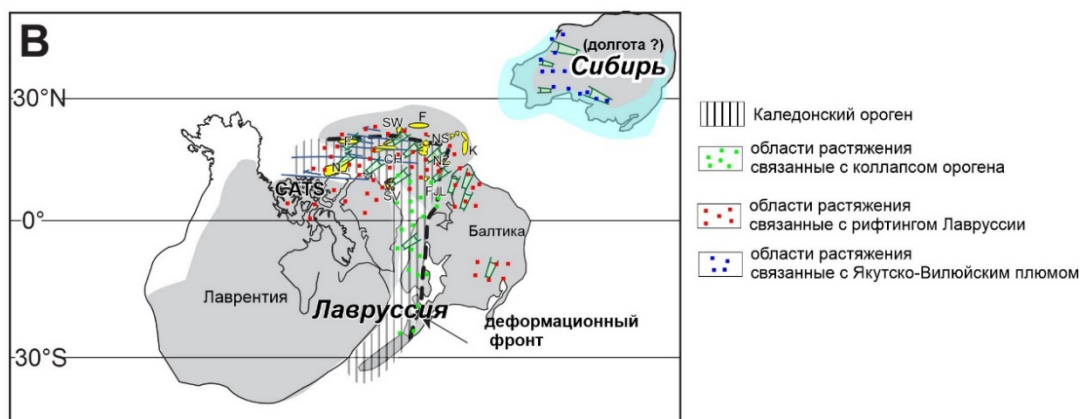


Рис. 7.4. Палеогеодинамические реконструкции для девонского времени.

Так, Д. Джи (Gee, 2015) предположил, что элсмирская и романцовская орогении, вероятно, относятся к позднекаледонским событиям в арктическом регионе. Он отметил, что элсмирские события по времени коррелируют с продолжавшимися тектонотермальными событиями во внутренних районах каледонид, а также на северо-востоке Гренландии и в Скандинавии, где они были проявлены в эпизодах УНР метаморфизма вплоть до 360 млн лет назад.

Вероятно, территория арх. Новосибирские острова и Северная Земля, Арктическая Канада и Аляска представляли собой окраинную часть Каледонской орогенной системы, схожей с современным восточным окончанием Гималаев, где широко проявлены сдвиговые перемещения (напр., Noda, 2013; Sun, 2016; Wang, Barbot, 2023). Такая модель отчасти подтверждается предполагаемым широким развитием сдвиговых перемещений вдоль окраины Лаврентии в

среднем-позднем палеозое вдоль CATS (Canadian transform system) (McClelland et al., 2021, 2023), на Шпицбергене (Friend et al., 1997) и в Гренландии (Guarnieri, 2021). При этом В. Маклелланд с соавторами (McClelland et al., 2021) предполагают, что эта сдвиговая система существовала вдоль окраинной части Каледонского орогена и вдоль нее перемещались террейны (Пирия и ряд других) в раннем-среднем палеозое. Более того, природу элсмирской орогении Арктической Канады они интерпретируют как транспрессионную, связанную с этой крупной сдвиговой зоной.

Одновременно с деформациями сжатия в разных частях рассматриваемого региона отмечаются структуры растяжения, рифтовые бассейны и бимодальный магматизм (рис. 7.4). Однако не все рассматриваемые регионы располагались в зоне интенсивных деформаций каледонского возраста и связать значительное растяжение в девоне для этих регионов с коллапсом орогена не всегда представляется возможным. Так, рифтогенез позднего девона широко проявлен на арх. Новая Земля, побережье Белого моря и юго-востоке Баренцева моря, а также в пределах Тимано-Печорского бассейна, где он не может быть связан с гравитационным коллапсом Каледонского орогена (Nikishin et al., 1996; Prishchepa et al., in press). Эти рифтовые события и синхронный магматизм интерпретируются как проявление Кольско-Днепровской крупной изверженной магматической провинции (Ernst, 2014; Ernst et al., 2020, 2021). Растяжение на северо-востоке баренцевоморского региона в позднем девоне привело к открытию к востоку от Новой Земли небольшого бассейна с океанической корой (?), существовавшего весь поздний палеозой, на что указывает фациальный переход с запада на восток от мелководноморских до глубоководных отложений в позднем девоне–перми (Кораго и др., 2022; Погребницкий, 2004). Этот бассейн мог частично разделять юго-восточную часть Карского террейна от баренцевоморского региона. Но на самом северо-востоке Баренцева моря в районе прогиба Святой Анны интерпретация сейсмических данных показывает, что средне-позднепалеозойские комплексы прослеживаются непрерывно в Северо-Карский бассейн, свидетельствуя об отсутствии здесь потери сплошности континентальной коры (Дараган-Суцова, 2013; Конторович, Конторович, 2019). То есть, раскрывшийся к востоку от Новой Земли бассейн не привел к полному отделению Карского террейна от баренцевоморского региона.

Широкое развитие рифтовых процессов и связанного с ним магматизма в позднем девоне отмечено и на востоке Сибирской платформы (современные координаты) (напр., Ernst, 2014; Ernst et al., 2020, 2021 и ссылки в этих работах) (см. Глава 2), где эти тектономагматические события были связаны с Якутско-Вилуйским плюмом. При этом для Сибирской платформы, в отличие от Лавруссии, не известны синхронные или близкие по возрасту деформации сжатия.

Так как основной и бимодальный магматизм, растяжение и рифтовые бассейны отмечены как в пределах Лавруссии, так и Сибири, то одновозрастный магматизм и растяжение не могут служить единственным критерием при определении расположения террейнов Арктики и континентов в позднем девоне.

Рифтогенез позднего девона достоверно установлен в террейне Северный склон Аляски (Anderson, Meisling, 2021), предполагается на п-ве Сьюард (Аляска) (Till et al., 2014), возможно проявлен на Чукотке (Natal'in et al., 1999). На о. Бельковский (арх. Новосибирские острова) резкая смена карбонатов среднего девона глубоководными верхнедевонскими отложениями также может быть свидетельством возможных рифтовых процессах. При этом во всех этих регионах также были развиты близкие по возрасту деформации сжатия среднего-позднего девона. Геодинамический режим, который отчасти может объяснить взаимоотношение различных одновозрастных или близких по возрасту событий растяжения и сжатия – сдвиговые транспрессионные и транстензионные перемещения, при которых могут чередоваться или быть одновременными как режимы сжатия, так и растяжения. Такое предположение подтверждается наличием крупных сдвиговых перемещений вдоль северной Лаврентии в позднем палеозое (McClelland et al., 2021, 2023). Для более детальных реконструкций позднедевонской истории арктического региона, несомненно, требуются дальнейшие изучения магматизма, этапов вздымания и структурно-тектонические исследования.

На современном этапе изучения возможно заключить, что большая часть рассматриваемых террейнов располагалась либо на периферических частях Каледонского орогена и/или в зоне перехода от орогена к передовому прогибу и далее к платформенным областям. И в среднем-позднем девоне продолжающийся гравитационный коллапс орогена,



вероятно, ассоциированный с крупными сдвиговыми перемещениями и/или влиянием плюмовых событий, привели к появлению как бассейнов растяжения (рифтовых), так и областей, испытывающих поднятия.

## **7.2. Геологическая эволюция арктического региона в карбоне.**

Если девонский период ознаменовался многочисленными тектономагматическими событиями в исследуемом регионе, то каменноугольный период характеризуется затуханием активных тектонических событий. Так, каменноугольные отложения террейна Северный склон Аляски, арх. Новосибирские острова, Чукотки и о-ва Врангеля представляют собой осадки мелководно-морских шельфовых бассейнов. На западе баренцевоморского региона и в Арктической Канаде отмечаются несколько эпизодов растяжения, приведших к заложению системы рифтовых бассейнов и бассейна Свердруп (см. Глава 6). Поздний карбон здесь характеризуется широким развитием мелководноморских бассейнов с преимущественно карбонатной седиментацией.

На севере и востоке Сибирской платформы в раннем карбоне существовал эпиконтинентальный мелководный бассейн, переходящий к северу и востоку в пассивную континентальную окраину.

На арх. Северная Земля нижнекаменноугольные отложения отсутствует, что может свидетельствовать как о существовании здесь континентальной суши в это время, так и о более позднем размыве отложений. Однако тектономагматическая активность в Карском террейне началась в визейское время, на что указывает начало проявления гранитоидного магматизма вдоль его южной окраины (современные координаты) (Верниковский, 1996; Курапов, 2018; Kurarov et al., 2021a; Lorenz et al., 2007; Vernikovskiy et al., 2020 и ссылки в этих работах). Активная окраина вдоль Карского террейна существовала в течение всего карбона до закрытия бассейна, разделявшего Сибирский континент и Карский террейн в ранней перми (см. Главы 2 и 3). Это позволяет предположить, что большая часть Карского террейна представляла собой приподнятую область. На арх. Северная Земля терригенные верхнекаменноугольные-нижнепермские континентальные отложения выполняют небольшие впадины, наложенные на средне-поздне(?)каменноугольный ороген (см. Главу 3).

Распределение возрастов обломочных цирконов из каменноугольных отложений арктического региона позволяет сделать несколько выводов о тектонических событиях в источниках сноса и расположении террейнов в это время (рис. 7.5).

Все изученные регионы на основе распределения возрастов обломочных цирконов можно разделить на 4 группы. Первая включает арх. Шпицберген, северо-восток Гренландии, террейн Северный склон Аляски, п-ов Сьюард и о. Св. Лаврентия, арх. Новосибирские острова, бассейн Свердруп. Для этой группы характерны унаследованные с девонского времени распределения возрастов обломочных цирконов и, соответственно, источников сноса обломочного материала, среди которых преобладали структуры Каледонского орогена и/или переотложенные продукты его размыва. Стоит отдельно подчеркнуть, что для этих регионов характерна преимущественно карбонатная седиментация с подчиненным привнесом терригенного материала. Это указывает на общую пенеппенизацию окружающих бассейнов поднятий и отсутствие на них значительных тектонических событий.

Ко второй группе можно отнести каменноугольные отложения северо-востока Сибирского континента (современные координаты), для которых установлена резкая смена источников сноса в позднем визе-серпухове (рис. 7.5) (см. Главу 2). Если для верхнедевонских-нижневизейских отложений источником сноса выступали локальные поднятия севера-востока Сибирской платформы, то с серпуховского времени начал поступать обломочный материал, источник сноса которого располагался на значительном удалении от бассейна осадконакопления. Значительное количество обломочных цирконов с возрастными, близкими к возрасту осадконакопления, указывает на синхронную магматическую активность в питающей провинции. Нами было предположено существование крупной речной системы Палео-Хатанги в карбоне на севере Сибирского континента, которая переносила обломочный материал с запада на северо-восточную пассивную окраину Сибири (современные координаты). Вероятным источником сноса являлась западная окраина континента, вдоль которого происходили

аккреционные и коллизионные события, связанные с закрытием Урало-Монгольского палеоокеана.

Третья группа представлена каменноугольными отложениями арх. Новая Земля, где помимо характерных для девонских отложений обломочных цирконов мезопротерозоя, неопротерозоя и раннего-среднего палеозоя присутствует значимая популяция каменноугольных зерен, что говорит о синхронном с седиментацией магматизме.

Источником этих зерен, вероятно, являлись близкие по возрасту гранитоиды, которые известны на активной окраине Карского террейна (Kugarov et al., 2021a и ссылки в этой работе) и предположены в фундаменте северо-восточной части Баренцева моря (Глава 5) (Ershova et al., 2022a).

Для террейна Фейрвелл отмечается похожая закономерность. Здесь к докембрий-раннепалеозойским популяциям обломочных цирконов, характерным для девонских отложений, добавляется каменноугольная, что свидетельствует о синхронном магматизме в источнике сноса. Расположение питающей провинции для каменноугольных отложений террейна Фейрвелл и геодинамические причины каменноугольного магматизма на настоящий момент определить сложно из-за недостатка сведений о строении каменноугольного разреза.

К четвертой группе относятся верхнекаменноугольные-нижнепермские отложения арх. Северная Земля, для которых источниками сноса обломочных зерен цирконов выступали локальные близко расположенные поднятия, преимущественно сложенные ордовикскими и кембрийскими породами.

Схема тектонического развития арктического региона в карбоне показана на рис. 7.6.

### **7.3. Геологическая эволюция арктического региона в перми.**

В пермское время в северной части Лавруссии (баренцевоморский регион, Арктическая Канада, Аляска, Чукотка) располагались широкие шельфовые бассейны преимущественно с карбонатной и кремнисто-карбонатной седиментацией. Существенных тектонических событий в этих регионах не отмечается. В бассейне Свердруп известно несколько эпизодов растяжения и реактивации сбросов (Embry et al., 2019). Интенсивные тектономагматические и метаморфические события происходили на южной окраине Карского террейна и на северо-западе Сибири, где к концу ранней перми закрылся разделявший их океанический бассейн. Каменноугольные-раннепермские гранитные массивы Таймыра располагаются исключительно в пределах Северо-Таймырской тектонической зоны (южная часть Карского террейна), а средне-позднепермские постколлизионные гранитные массивы описаны как в Северо-, так и в Центрально-Таймырской тектонических зонах (Kugarov et al., 2021a и ссылки в этой работе).

Локализация надсубдукционных гранитоидов указывает, что субдуцирующая плита погружалась под южную окраину Карского террейна (в современных координатах). В раннеартинское время (около 288 млн лет назад) в пределах Карского террейна внедрились последние надсубдукционные гранитоиды. В позднеартинское-раннекунгурское время происходит столкновение Карского террейна с Сибирью, подчеркнутое региональным метаморфизмом в Северо- и Центрально-Таймырской тектонических зонах и значительным подъемом территории (Khudoley et al., 2018; Kugarov et al., 2021a; Верниковский, 1996).

Насколько далеко на восток протягивались структуры позднепалеозойского орогена Таймыра оценить трудно, т.к. они перекрыты кайнозойскими структурами м. Лаптевых и Евразийского бассейна. Наши исследования на арх. Северная Земля показали значительное воздымание территории северо-востока о. Октябрьской Революции в раннем карбоне.

Это позволило предположить, что позднепалеозойская сутура должна была протягиваться далее на северо-восток от ее современного окончания на севере п-ова Таймыр (см. Главу 2). Близкие по возрасту магматические и метаморфические события известны в террейне Фейрвелл как орогенция Браунс-Форк (Browns Fork orogeny) с возрастом регионального метаморфизма около 285 млн лет (см. Главу 6). Верхнекаменноугольные-пермские терригенные толщи террейна Фейрвелл относят к бассейну форланда этого орогена (Bradley et al., 2003; Keough et al., 2021 и ссылки в этих работах).

Самый конец поздней перми характеризуется началом интенсивного траппового магматизма, связанного с Сибирской крупной изверженной провинцией, который широко проявлен на Таймыре и Сибирской платформе, севере Западной Сибири (Augland et al., 2019;

Афанасенков и др., 2016; Добрецов, 2005; Погребницкий, Шануренко, 1998). Позднепермский-раннетриасовый магматизм основного состава также известен на арх. Новая Земля (Погребницкий, 2004), арх. Новосибирские острова (Kuzmichev, Pease, 2007) и Чукотке (Ledneva et al., 2011).

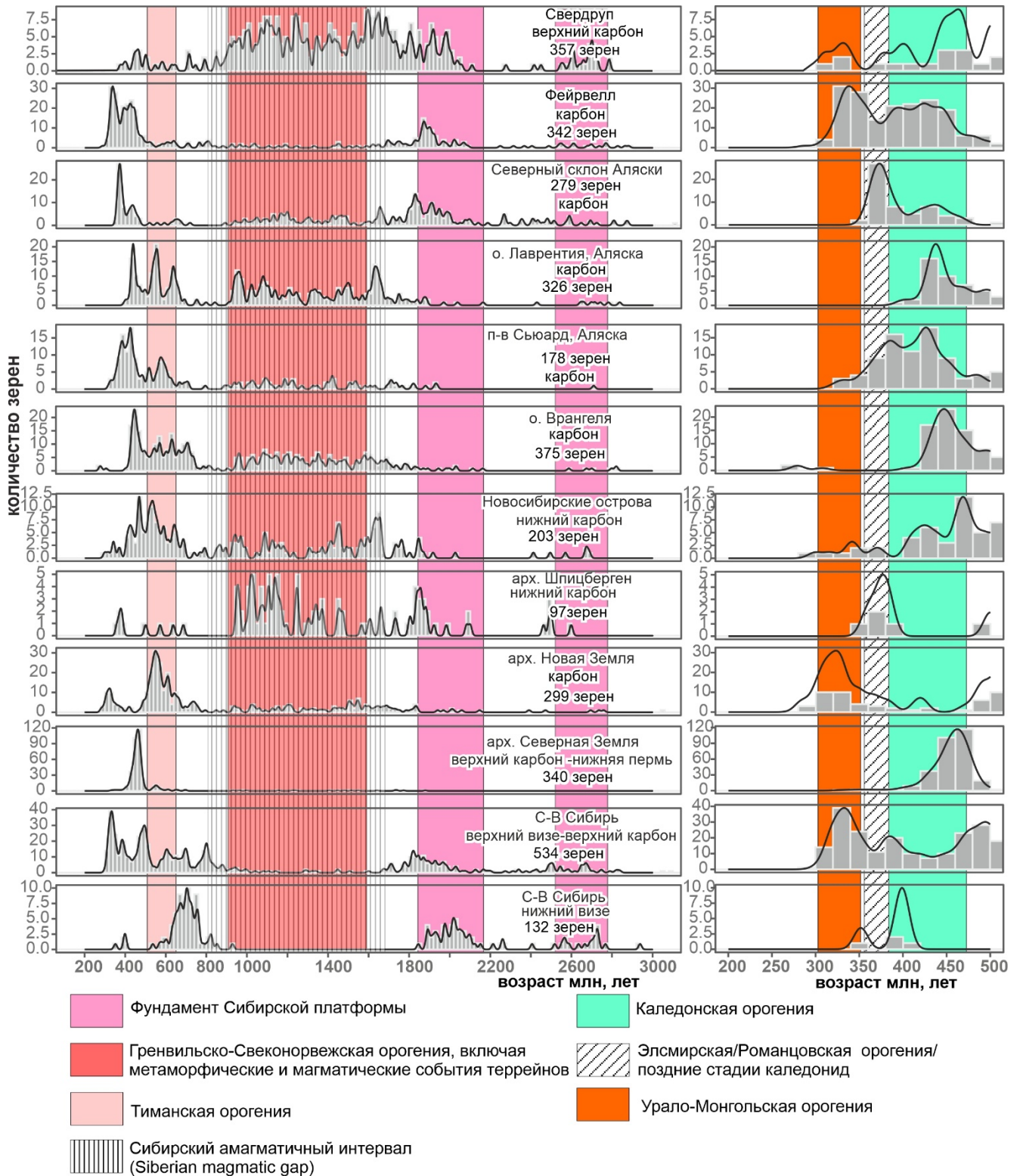


Рис. 7.5. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения возрастов обломочных цирконов из каменноугольных отложений арктического региона (наши данные; Amato et al., 2009; Anfinson et al., 2012, 2022, 2020; Dumoulin et al., 2018; Holm-Denoma et al., 2019; Lorenz, 2008, 2013; Miller et al., 2009; Pease et al., 2015; Pettersson et al., 2010; Pointon et al., 2023; Slama et al., 2011).

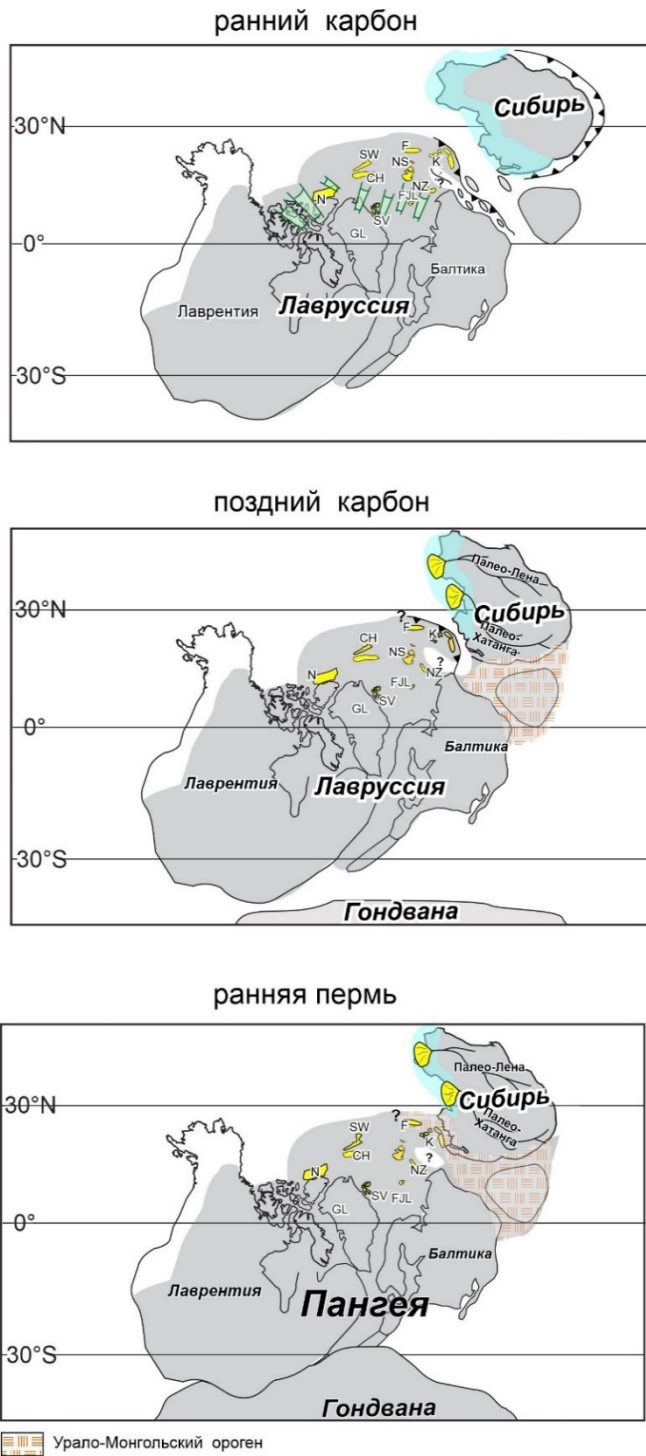


Рис. 7.6. Палеогеодинамические реконструкции на карбон-пермь.

Все рассматриваемые регионы на основе распределения возрастов обломочных цирконов можно разделить на две группы (рис. 7.7). Первая включает о. Врангеля, террейн Северный склон Аляски и бассейн Свердруп (южная часть?) (нижняя-средняя пермь). Для этой группы характерно унаследованное с девонского-каменноугольного времени распределение возрастов обломочных цирконов и, соответственно, источников сноса обломочного материала.

Для второй группы, включающей Таймыр, северо-восток Сибири, архипелаги Новая Земля и Новосибирские острова, террейн Фейрвелл и бассейн Свердруп (северная часть) (средняя-верхняя пермь) характерно, помимо отсутствия типичных для более древних девон-каменноугольных отложений докембрийских и раннепалеозойских популяций, наличие значимых популяций каменноугольно-пермских зерен, что свидетельствует о синхронном с седиментацией магматизме. Источником этих зерен, вероятно, являлись различные области Урало-Монгольского орогена.

Для Сибирской платформы мы предположили, что крупная речная система Палео-Хатанга, подобная предложенной для каменноугольного времени, представляла собой основной путь переноса обломочного материала вдоль западной и северной окраины Сибири. При этом одним из основных источников сноса обломочных зерен наряду с западной окраиной, вероятно, стал выступать Таймыро-Североземельский ороген, когда в ранней перми произошло полное закрытие

океанического бассейна между Карским террейном и Сибирским континентом и получили широкое развитие пермские интрузии гранитоидов.

Для севера бассейна Свердруп отмечается появление нового источника сноса в средней перми и поступление цирконов с каменноугольно-пермскими возрастными кристаллизациями (Alonso-Torres et al., 2018; Anfinson et al., 2020; Pointon et al., 2022). Д. Алонсо-Торрес с соавторами (Alonso-Torres et al., 2018) предположили, что это свидетельствует о существовании системы континентальных дуг вдоль северной Лаврентии в перми-триасе. М. Поинтон с соавторами (Pointon et al., 2022) считают, что источником сноса каменноугольно-пермских зерен являлся континентальный блок, располагавшийся к северо-востоку (современные координаты), который претерпел позднепалеозойскую тектономагматическую активизацию.



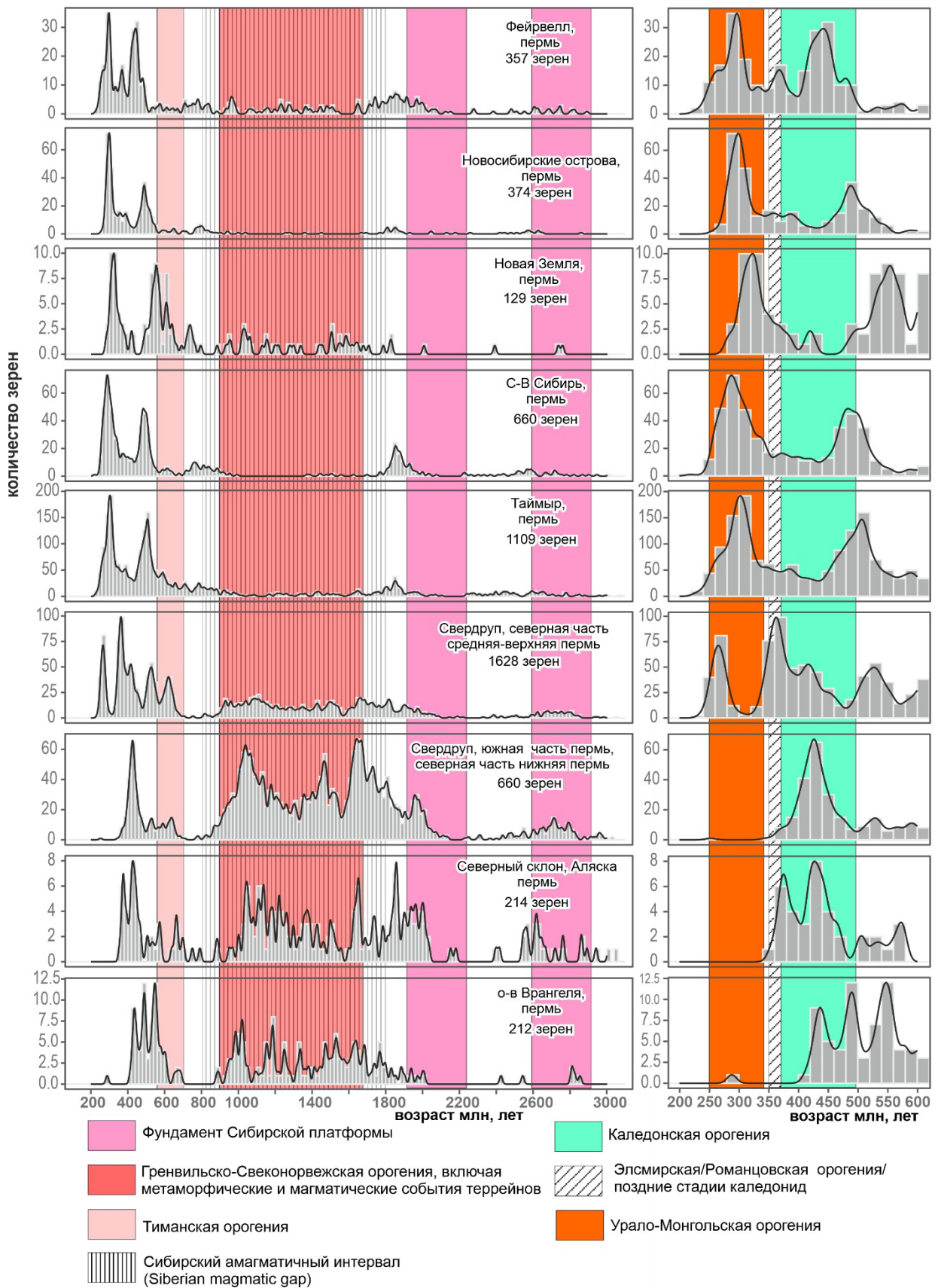


Рис. 7.7. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения возрастов обломочных цирконов из пермских отложений арктического региона (наши данные; Anfinson, et al., 2016; Alonso-Torres et al., 2018; Dumoulin et al., 2018; Holm-Denoma et al., 2019; Lorenz, 2013; Malkowski, Hampton, 2014; Miller et al., 2009; Pease et al., 2015; Pointon et al., 2023; Прияткина и др., 2020).

Для северной части архипелагов Новая Земля, Новосибирские острова и террейна Фейрвелл характерно близкое распределение обломочных цирконов с двумя основными популяциями – раннепалеозойской и каменноугольно-пермской. Для пермских отложений арх.

Новосибирские острова отмечается резкая смена питающих провинций по сравнению с девон-каменноугольными отложениями, которая характеризуется появлением двух основных популяций обломочных цирконов – раннепалеозойской (530–450 млн лет) и позднепалеозойской (350–270 млн лет). Схожее распределение возрастов обломочных цирконов отмечено во многих регионах, источником сноса обломочного материала для которых являлся Урало-Монгольский ороген. Мы полагаем, что арх. Новосибирские острова как в девоне-карбоне, так и в перми располагался в северо-восточной части баренцевоморского региона и в пермское время сюда начал поступать обломочный материал с уралид, их, вероятно, таймырской ветви.

Это заключение подтверждается схожестью в распределении возрастов обломочных цирконов из пермских отложений Новосибирских островов и северной части арх. Новая Земля, для пермских отложений которых источником сноса, скорее всего, выступали поднятия Карского террейна и Таймыра. Такой же источник сноса, вероятно, можно предполагать и для пермских отложений террейна Фейрвелл. В целом, поступление значительного объема обломочного материала в карбоне-перми в арктический регион мы связываем с размывом структур Урало-Монгольского орогена, но более детальные реконструкции требуют дальнейших исследований и более широкого датирования цирконов в других, не охваченных нашими и предшествующими исследованиями, областях.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Впервые на основе современного комплекса изотопно-геохронологических методов охарактеризованы палеозойские отложения арх. Новосибирские острова, Карского террейна, северо-востока Сибирской платформы, арх. Земля Франца-Иосифа и предложена новая модель девон-пермской геологической эволюции арктического региона.

1) Для севера Сибирской платформы установлены основные источники сноса обломочного материала и реконструирована речная система позднего палеозоя. Распределение возрастов обломочных цирконов и петрографический состав указывают на местный источник сноса для верхнедевонских песчаников северо-востока Сибирской платформы, а присутствие значимой популяции цирконов с возрастом около 400–390 млн лет характеризует основной магматический импульс на северо-востоке Сибири, связанный с развитием Якутско-Вилуйской крупной изверженной провинцией.

2) Для нижневизейских отложений северо-востока Сибири источником сноса являлись окружающие локальные поднятия, но с позднего визе-серпухова начал поступать обломочный материал, питающая провинция которого располагалась на удалении от бассейна осадконакопления. Значительное количество обломочных цирконов с возрастaми, близкими к возрасту осадконакопления, указывает на синхронную магматическую активность в источнике сноса, который, вероятно, находился вдоль западной окраины континента и представлял собой аккреционно-коллизийную систему, сформированную при закрытии Уральского палеоокеана. Нами была реконструирована каменноугольная крупная речная система «Палео-Хатанга», которая переносила обломочный материал с запада на северо-восточную пассивную окраину Сибири (современные координаты). Наши исследования и обобщение данных предшественников дают возможность предположить, что подобная крупная речная система представляла собой основной путь переноса терригенных осадков вдоль западной и северной окраин Сибири и в пермское время, а позже, после полного закрытия океанического бассейна между Карским террейном и Сибирским континентом, одним из источников сноса терригенного материала стал выступать Таймыр-Североземельский ороген.

3) Для Карского террейна (север п-ва Таймыр и арх. Северная Земля) установлено распределение возрастов обломочных цирконов из кембрий-нижнепермских отложений и реконструированы источники сноса обломочного материала, что значительно расширило имеющиеся представления о геодинамической эволюции этого региона. U-Pb и (U-Th)/He датирование обломочных цирконов из палеозойских отложений арх. Северная Земля позволило установить, что источником сноса для девонских отложений был Каледонский ороген, который, вероятно, протягивался значительно восточнее баренцевоморского региона (современные координаты), чем предполагалось ранее, и являлся источником терригенных пород архипелага. Для верхнекаменноугольных и пермских отложений архипелага питающими провинциями выступали локальные поднятия в его пределах. Для Карского террейна на основе

низкотемпературной термохронологии установлено три основных эпизода воздымания – около 465, 380 и 340 млн лет назад.

4) Для арх. Новосибирские острова на основе U-Pb датирования обломочных цирконов из кембрийских–пермских отложений реконструированы источники сноса обломочного материала. Для девон-каменноугольных отложений таким источником было восточное продолжение Каледонского орогена, а пермские отложения являются продуктами размыва уралид. На архипелаге проявлено деформационное событие на рубеже среднего и позднего девона, свидетельством которого является угловое несогласие на о-ве Котельный и значительный (до 6 км) подъем территории о-ов Де-Лонга, установленный на основе данных низкотемпературной термохронологии.

5) Составлена схема предполагаемой домезозойской последовательности северо-восточной части Баренцева моря (арх. Земля Франца-Иосифа). Мезо-неопротерозойские и раннекембрийские кварциты являются древнейшими образованиями изученного региона и формируют фундамент. Следующий реконструированный эпизод геологической истории – позднедевонский–раннекаменноугольный гранитоидный магматизм (363–322 млн лет назад). Осадочный чехол начал формироваться с базальных толщ песчаников раннего карбона, вскрытых в скв. Нагурская. Присутствие каменноугольных фораминифер в гальках известняков из нижнеюрских конгломератов, а также находки нижнепермских фузулинид в обломках известняков среди четвертичных отложений и данные по разрезу скв. Нагурская свидетельствуют о том, что, по крайней мере, с конца раннего карбона и до начала перми территория арх. ЗФИ представляла собой карбонатную платформу. Мы предположили, что в позднекаменноугольно-раннепермское время по всему шельфу Баренцева моря простиралась мелководная морская карбонатная платформа с эпизодами кремнистой седиментации в пермское время.

6) На основе данных низкотемпературной термохронологии, структурно-тектонических исследований, изучения магматизма установлены и подтверждены несколько эпизодов тектономагматической активности в изученном регионе в среднем-позднем палеозое: средне-позднедевонское и каменноугольное воздымание Карского террейна; этапы развития активной окраины Карского террейна в карбоне-перми; средне-позднедевонское воздымание арх. Новосибирские острова; девонский магматизм и рифтогенез северо-востока Сибири.

7) Сравнение распределения возрастов обломочных цирконов из девонских отложений архипелагов Северная Земля, Новосибирские острова, Шпицберген и Новая Земля, северо-запада Восточно-Европейской платформы позволило установить, что источником сноса обломочного материала в девоне был Каледонский ороген и изученные регионы располагались на окраине Лавруссии в позднем палеозое.

8) Анализ результатов проведенных нами исследований и обобщение литературных данных позволили предложить модель развития арктического региона в девон–пермское время. Геодинамическая эволюция в девоне контролировалась тектоническими событиями периферических частей Каледонского орогена – гравитационным коллапсом и вызванным им растяжением, влиянием Якутско-Виллюйской и Кольско-Днепровской крупных изверженных провинций. Осадконакопление в раннем девоне происходило преимущественно в мелководно-морских шельфовых бассейнах, а в среднем и позднем девоне получили развитие рифтовые бассейны, связанные с коллапсом Каледонского орогена и/или действием плюмов. На востоке Баренцева моря, Карском террейне, в Арктической Канаде, арх. Новосибирские острова (?) осадконакопление контролировалась поступлением большого объема обломочного материала с Каледонского орогена в передовые прогибы. В карбоне–перми на фоне затухания тектонической активности в Лавруссии широкое развитие получили шельфовые бассейны на большей части пери-Лаврусийских блоков. При этом активные аккреционные и коллизионные процессы происходили только вдоль западной и северной окраин Сибирского континента и южной окраины Карского террейна при закрытии Уральского палеоокеана. В позднем карбоне-перми поступающий с орогена обломочный материал переносился крупной речной системой Палео-Хатанги на восток, что положило начало формированию многокилометровой толщи севера Верхоянской пассивной окраины.

## Список работ по теме диссертации

1. Брусницына Е.А., **Ершова В.Б.**, Худoley А.К., Андерсон Т., Маслов А.В. Возраст и источники сноса пород четласской серии (рифей) Среднего Тимана по результатам U–Th–Pb (LA-ICP-MS) датирования обломочных цирконов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2021. – Т. 29, № 6. – С. 3-23.
2. Вилесов А.П., **Ершова В.Б.**, Соловьева А.Д. Литологическая и седиментологическая характеристика разреза палеозойского комплекса западно-таймырского потенциально нефтегазоносного района (по данным бурения) // Профессионально о нефти. – 2022. – Т. 7(4). – С. 14-27.
3. **Ершова В. Б.**, Худoley А. К., Прокопьев А. В. Реконструкция питающих провинций и тектонических событий в карбоне в северо-восточном обрамлении сибирской платформы по данным U-Pb датирования обломочных цирконов // Геотектоника. – 2013. – № 2. – С. 32-41.
4. **Ершова В.Б.**, Васильева К.Ю., Вилесов А.П., Михайлова К.Ю., Верещагин О.С. Особенности формирования вторичных коллекторов в карбонатных отложениях палеозоя западно-таймырского потенциально нефтегазоносного района. РРОнефть. // Профессионально о нефти – 2022. – Т. 7(4). – С. 68-82.
5. **Ершова В.Б.**, Прокопьев А.В., Худoley А.К., Проскурнин В.Ф., Андерсен Т., Куллеруд К., Степунина М.А., Колчанов Д.А. Новые результаты U-Pb-датирования обломочных цирконов из метаосадочных толщ северо-западного Таймыра // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 474, № 4. – С. 458-461.
6. **Ершова В.Б.**, Прокопьев А.В., Худoley А.К., Фефилова Л.К. 2012. Отложения палеокарстовых пустот как индикаторы палеогеографических обстановок в каменноугольный период на северо-востоке Сибирской платформы // Доклады РАН. – Т.442, № 4. – С. 511-515.
7. **Ершова В.Б.**, Прокопьев А.В., Худoley А.К., Шнейдер Г.В., Андерсен Т., Куллеруд К., Макарьев А.А., Маслов А.В., Колчанов Д.А. Результаты U-Pb LA-ICP-MS датирования обломочных цирконов из метатерригенных пород фундамента Северо-Карского бассейна // Доклады Академии Наук. – 2015. – Т. 464, № 4. – С. 444-447.
8. Зуева И.Н., Чалая О.Н., Глянцева Ю.С., Лифшиц С.Х., Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.**, Васильев Д.А., Худoley А.К. Геохимические особенности битумопроявлений в нижне-среднедевонских отложениях северо-западной части о. Котельный (архипелаг Новосибирские острова) // Георесурсы. – 2019 – № 21(3) – С. 31-38.
9. Ивлева А.С., Подковыров В.Н., **Ершова В.Б.**, Анфинсон О., Худoley А.К., Федоров П.В., Маслов А.В., Здобин Д.Ю. 2016. Результаты U-Pb датирования обломочных цирконов из верхневендских-нижнекембрийских отложений Ленинградской области // Доклады Академии Наук. – 2016. – Т. 468, № 4. – С. 441-446.
10. Ивлева А.С., Подковыров В.Н., **Ершова В.Б.**, Хубанов В.Б., Худoley А.К., Сычев С.Н., Вдовина Н.И., Маслов А.В. U-Pb LA-ICP-MS-возраст обломочных цирконов из отложений нижнего рифея и верхнего венда лужско-ладожской моноклинали // Доклады Академии наук – 2018. – Т. 480, № 4. – С. 439-443.
11. Курапов М.Ю., **Ершова В.Б.**, Макарьев А.А., Макарьева Е.М., Худoley А.К., Лучицкая М.В., Прокопьев А.В. Каменноугольный магматизм Северного Таймыра: результаты изотопно-геохимических исследований и геодинамические следствия // Геотектоника. – 2018. – № 2. – С. 76-90.
12. Летникова Е.Ф., Изох А.Э., Костицын Ю.А., Летников Ф.А., **Ершова В.Б.**, Федерягина Е.Н., Иванов А.В., Ножкин А.Д., Школьник С.И., Бродникова Е.А. Высококалийный вулканизм на рубеже 640 млн лет на Юго-Западе Сибирской платформы (Бирюсинское Присянье) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 496, № 1. – С. 55-62.
13. Малышев С.В., Худoley А.К., Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.**, Казакова Г.Г., Терентьева Л.Б. Источники сноса каменноугольно-нижнемеловых терригенных отложений северо-востока Сибирской платформы: результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 3. – С. 537-552.
14. Перетолчин К.А., **Ершова В.Б.**, Худoley А.К., Нилов С.П. Тектоническая история зоны сочленения таймырского складчато-надвигового пояса и структур гыданского полуострова // Профессионально о нефти. – 2022. – Т. 7(4). – С. 83-93.
15. Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.**, Миллер Э.Л., Худoley А.К. Раннекаменноугольная палеогеография северной части Верхоянской пассивной окраины по данным U-Pb датирования обломочных цирконов: роль продуктов размыва Центрально-Азиатского и Таймыро-Североземельского складчатых поясов // Геология и геофизика. – 2013. – № 10. – С. 1530-1542
16. Проскурнин В.Ф., Гавриш А.В., Шнейдер Г.В., Проскурнина М.А., Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.** Архипелаг Северная Земля // Тектоностратиграфический атлас Восточной Арктики. – Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. – 2020. – С. 101-103.
17. Соболев Н.Н., Толмачева Т.Ю., Петров Е.О., Кораго Е.А., Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.**, Юдин С.В. Архипелаг Новосибирские острова // Тектоностратиграфический атлас Восточной Арктики. – Санкт-Петербург: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского. – 2020. – С. 109-111.
18. Соболев Н.Н., Метелкин Д.В., Верниковский В.А., Матушкин Н.Ю., Прокопьев А.В., **Ершова В.Б.**, Шманяк А.В., Петров Е.О. Первые сведения о геологии острова Жаннетты (архипелаг Де-Лонга, Новосибирские острова) // Доклады РАН. – 2014. Т. 459, № 5. С. 595–600.
19. Сычев С.Н., Ивлева А.С., Петров С.Ю., Петрова М.Н., **Ершова В.Б.**, Веселовский Р.В., Коннов А.Г. Реконструкция источников сноса терригенных пород базальных уровней уралид Байдарацкого аллохтона (Полярный Урал): результаты U-Pb изотопного датирования обломочных цирконов // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2017. – № 2. – С. 16-24.
20. Хотылев А.О., Майоров А.А., Худoley А.К., **Ершова В.Б.**, Калмыков Г.А., Хубанов В.Б., Червяковская М.В. Гранитоидные массивы Краснотенинского свода в Западной Сибири: состав, строение, возраст и условия формирования // Геотектоника. – 2021. – № 2. – С. 70-93.



21. Brustnitsyna E., **Ershova V.**, Khudoley A., Maslov A., Andersen T., Stockli D. and Kristoffersen M. Age and provenance of the Precambrian Middle Timan clastic succession: Constraints from detrital zircon and rutile studies // *Precambrian Research* – 2022. – Vol. 371, – P. 106580.
22. Drachev S.S, **Ershova V.B.** North Kara and Vize-Ushakov Composite Tectono-Sedimentary Elements, Kara Sea // *Geological Society, London, Memoirs.* – 2024. – Vol. 57.
23. Drachev S.S., **Ershova V.B.**, Shkarubo S.I. Laptev Rift System Composite Tectono-Sedimentary Element, East Siberian Arctic // *Geological Society, London, Memoirs.* – 2024. – Vol. 57, p. M57-2023–17.
24. **Ershova V.**, Anfinson O., Prokopiev A., Khudoley A., Stockli D., Faleide J.I., Gaina C., Malyshev N. Detrital Zircon (U-Th)/He Ages from Paleozoic Strata of the Severnaya Zemlya Archipelago: Deciphering Multiple Episodes of Paleozoic Tectonic Evolution within the Russian High Arctic // *Journal of Geodynamics.* –2018. –Vol. 119. P. 210-220.
25. **Ershova V.**, Drachev S., Prokopiev A., Khudoley A., Vasiliev D., Aleksandrova, G. Cenozoic deposits of western Kotel'nyi Island (New Siberian Islands): key insights into the tectonic evolution of the Laptev Sea // *International Geology Review* – 2022 –Vol. 65(10), P. 1664–1681.
26. **Ershova V.**, Leven E., Prokopiev A. Foraminifera from the carbonate cobbles and pebbles of Early Jurassic conglomerates of Franz Joseph Land as direct evidence of the existence of a Late Palaeozoic carbonate succession in the northeastern Barents Sea // *Norwegian Journal of Geology.* – 2017. – Vol. 97 (4). – P. 255-261.
27. **Ershova V.**, Prokopiev A., Andersen T., Khudoley A., Kullerud K., Thomsen T.B. U–Pb and Hf Isotope Analysis of Detrital Zircons from Devonian–Permian Strata of Kotel'ny Island (New Siberian Islands, Russian Eastern Arctic): Insights Into The Middle–Late Paleozoic Evolution of the Arctic // *Journal of Geodynamics.* –2018. – Vol. 119. – P. 210-220.
28. **Ershova V.**, Prokopiev A., Khudoley A., Andersen T., Kullerud K., Kolchanov D. U–Pb age and Hf isotope geochemistry of detrital zircons from Cambrian sandstones of the Severnaya Zemlya archipelago and Northern Taimyr (Russian high arctic) // *Minerals.* –2020. – Vol. 10 (1), статья № 36.
29. **Ershova V.**, Prokopiev A., Stockli D. 2024. Provenance of Detrital Rutiles from the Triassic–Jurassic Sandstones in Franz Josef Land (Barents Sea Region, Russian High Arctic): U–Pb Ages and Trace Element Geochemistry // *Geosciences.* –2024. – Vol. 14 – Paper 41.
30. **Ershova V.**, Prokopiev A., Stockli D., Zubkova D., Shmanyak, A. Provenance and Stratigraphy of the Upper Carboniferous—Lower Permian Strata of October Revolution Island (Severnaya Zemlya Archipelago): Implications for Geological History of the Russian High Arctic // *Minerals.* – 2022. – Vol. 12. – P. 1325.
31. **Ershova V.B.**, Ivleva A.S., Podkovyrov V.N., Khudoley A.K., Fedorov P.V., Stockli D., Anfinson O., Maslov A.V., Khubanov V. Detrital zircon record of the Mesoproterozoic to Lower Cambrian sequences of NW Russia: implications for the paleogeography of the Baltic interior // *GFF.* – 2019. – Vol. 141. – P. 279-288.
32. **Ershova V.B.**, Khudoley A., Drachev S.S., Prokopiev A.V., Shimanskiy S.V. 2024. Olenek-Anabar Composite Tectono-Sedimentary Element, Northern East Siberia // *Geological Society, London, Memoirs.* – 2024. – Vol. 57. – Paper M57-2023–2024.
33. **Ershova V.B.**, Khudoley A.K., Prokopiev A.V. Early Visean paleogeography of northern Siberia: new evidence of rift to drift transition along the eastern margin of Siberia // *Journal of Asian Earth Sciences.* – 2014. – Vol. 91. – P. 206-217.
34. **Ershova V.B.**, Khudoley A.K., Prokopiev A.V., Tuchkova M.I., Fedorov P.V., Kazakova G.G., Shishlov S.B., O'Sullivan. Trans-Siberian Permian rivers: A key to understanding Arctic sedimentary provenance// *Tectonophysics.* – 2016. – Vol. 691PA. – P. 220-233.
35. **Ershova V.B.**, Lorenz H., Prokopiev A.V., Sobolev N.N., Khudoley A.K., Petrov E.O., Estrada, S., Sergeev S., Larionov A., Thomsen, T.B. The De Long Islands: A missing link in unraveling the Paleozoic paleogeography of the Arctic. *Gondwana Research* // *Gondwana Research*. – 2016. – Vol. 35. – P. 305-322.
36. **Ershova V.B.**, Prokopiev A.V., Khudoley A.K. Hidden middle Devonian magmatism of northeastern Siberia: Age constraints from detrital zircon U–Pb data // *Minerals.* – 2020 – Vol. 10 (10), статья № 874. – P. 1-12.
37. **Ershova V.B.**, Prokopiev A.V., Khudoley A.K., Sobolev N.N., Petrov E.O. U/Pb dating of detrital zircons from Upper Paleozoic deposits of Bel'kovsky Island (New Siberian Islands): critical testing of Arctic tectonic models // *International Geology Review.* – 2015. – Vol. 57(2). – P. 199-210.
38. **Ershova V.B.**, Prokopiev A.V., Khudoley A.K., Sobolev N.N., Petrov E.O., 2015. Detrital zircon ages and provenance of the Upper Paleozoic successions of Kotel'ny Island (New Siberian Islands Archipelago) // *Lithosphere.* – 2015. – Vol. 7. – P. 40-45.
39. **Ershova V.B.**, Prokopiev A.V., Nikishin V.A., Khudoley A.K., Nikishin A.M., Malyshev N.A. New data on Upper Carboniferous Lower Permian deposits of Bol'shevik Island, Severnaya Zemlya Archipelago // *Polar Research.* – 2015. – Vol.34 – Paper 24558.
40. **Ershova V.B.**, Prokopiev A. V., Khudoley A. K. Devonian–Permian sedimentary basins and paleogeography of the Eastern Russian Arctic: An overview, *Tectonophysics* – 2016 – Vol. 691PA. – P. – 234-255.
41. **Khudoley A.**, Chamberlain K., Ershova V., Sears J., Prokopiev A., MacLean J., Kazakova G., Malyshev S., Molchanov A., Kullerud K., Toro J., Miller E., Veselovskiy R., Li A., Chipley D. Proterozoic supercontinental restorations: constraints from provenance studies of Mesoproterozoic to Cambrian clastic rocks, eastern Siberian Craton // *Precambrian Research.* – 2015.– Vol. 259. – P. 78-94.
42. Khudoley A.K., Frolov S.V., Akhmanov G.G., Bakay E.A., Drachev S.S., Egorov A.Y., **Ershova V.B.**, Korobova N.I., Shevchuk N.S., Rogov M.A. Anabar–Lena Composite Tectono-Sedimentary Element, northern East Siberia // *Geological Society, London, Memoirs.* – 2024. – Vol. 57 – P. M57-2021–29.
43. Khudoley A.K., Verzhbitsky V.E., Zastrozhnov D.A., O'Sullivan P., **Ershova V.B.**, Proskurnin V.F., Tuchkova M.I., Rogov M.A., Kyser T.K., Malyshev S.V., Schneider G.V. Late Paleozoic – Mesozoic tectonic evolution of the Eastern

- Taimyr-Severnaya Zemlya Fold and Thrust Belt and adjoining Yenisey-Khatanga Depression // *Journal of Geodynamics*. – 2018. – Vol. 119. – P. 221-241.
44. Kurapov M., **Ershova V.**, Khudoley A., Luchitskaya M., Stockli D., Makariev A., Makarieva E., Vishnevskaya I. Latest Permian–Triassic magmatism of the Taimyr Peninsula: New evidence for a connection to the Siberian Traps large igneous province // *Geosphere*. – 2021. – Vol. 17. – P. 2062–2077.
45. Kurapov M., **Ershova V.**, Khudoley A., Makariev A., Makarieva E. The first evidence of Late Ordovician magmatism of the October Revolution Island (Severnaya Zemlya archipelago, Russian High Arctic): geochronology, geochemistry and geodynamic settings // *Norwegian Journal of Geology*. – 2020. – Vol. 100, Paper.– 202016.
46. Kurapov M., **Ershova V.**, Khudoley A., Luchitskaya M., Makariev A., Makarieva E., Vishnevskaya I. Late Palaeozoic magmatism of Northern Taimyr: new insights into the tectonic evolution of the Russian High Arctic // *International Geology Review*. – 2021. – Vol. 63. – P. 1990–2012.
47. Kurapov M.Yu., Konopelko D.L., Biske Y.S., Proskurnin V.F., Petrov, S.V., Proskurnina M.A., Berzon Y.Yi., **Ershova V.B.**, Berzin S.V., Stepanov, S.Yu. Geodynamic Settings of Late Paleozoic–Early Mesozoic Granitoid Magmatism at the Arctic Continental Margins: Insights from New Geochronological and Geochemical Data from the Taimyr Peninsula // *Minerals*. – 2024. – Vol. 14, 423.
48. Priyatkina N., Collins W.J., Khudoley A., Zastrozhnov D., **Ershova V.**, Chamberlain K., Shatsillo A., Proskurnin V. The Proterozoic evolution of northern Siberian Craton margin: a comparison of U–Pb–Hf signatures from sedimentary units of the Taimyr orogenic belt and the Siberian platform // *International Geology Review*. – 2017 – Vol. 59 (13). – P. 1632-1656.
49. Prokopiev A.V., **Ershova V.B.**, Anfinson O., Stockli D., Powell J., Khudoley A.K., Vasiliev D.A., Sobolev N.N., Petrov E.O. Tectonics of the New Siberian Islands Archipelago: Structural Styles and Low-Temperature Thermochemistry // *Journal of Geodynamics*. – 2018. – Vol. 121. – P. 155–184.
50. Prokopiev A.V., **Ershova V.B.**, Khudoley A.K., Vasiliev D.A., Baranov V.V., Kalinin M.A. Pre-mid-Frasnian angular unconformity on Kotel'ny Island (New Siberian Islands Archipelago): evidence of Mid-Paleozoic Deformation in the Russian High Arctic // *Arktos* – 2018. – Vol. 4. – P. 1–8.

Приложение 1. Схема корреляции девон–пермских тектонических, седиментационных и магматических событий в Арктике.

