

*На правах рукописи*



**Крикун Никита Сергеевич**

**ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И РУДОНОСНОСТЬ  
ЮЖНОЙ ГРУППЫ ОСТРОВОВ БОЛЬШОЙ КУРИЛЬСКОЙ ГРЯДЫ  
(ОСТРОВА КУНАШИР И ИТУРУП)**

**Специальность 1.6.1 Общая и региональная геология.**

**Геотектоника и геодинамика**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

**Научный  
руководитель:**

**Таловина Ирина Владимировна** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой исторической и динамической геологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургского горный университет императрицы Екатерины II».

**Официальные  
оппоненты:**

**Буслов Михаил Михайлович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией геодинамики и магматизма, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук;

**Устинов Степан Андреевич** – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник лаборатории геоинформатики, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Защита диссертации состоится **25 сентября 2025 г. в 11:00 часов** на заседании Диссертационного совета 24.1.132.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН и на сайте института <https://ifz.ru/>. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru/main> и на сайте ИФЗ РАН <https://ifz.ru/>.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в одном экземпляре, просьба направлять по адресу: 123242, Москва, Большая Грузинская ул., д. 10, стр.1, ИФЗ РАН, ученому секретарю Диссертационного совета Жосткову Руслану Александровичу.

Автореферат разослан «23» июля 2025 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук



Р.А. Жостков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Курило-Камчатская островодужная система является единственной активной в пределах Российской Федерации. Вместе с тем в отечественной литературе по-прежнему представлено мало работ, рассматривающих строение и геологическую историю Курильской островной дуги (КОД) с позиции тектоники литосферных плит. Представленная работа исследует вопросы формирования геологических структур островов Кунашир и Итуруп и связанного с ними оруденения в результате развития субдукционной зоны.

Комплексное исследование дизъюнктивных структур и магматизма, рассмотренное в работе, позволяет получить новые представления о взаимосвязи тектонических и магматических процессов, протекающих в пределах Большой Курильской гряды (БКГ), а также преддугового и задугового бассейнов. Изучение тектоно-магматической эволюции современной КОД дает возможность расширить понимание физических процессов, происходящих в зонах субдукции. Базируясь на принципе актуализма, можно использовать эти данные при исследовании геодинамических процессов древних островных дуг.

Установление закономерностей размещения полезных ископаемых в зависимости от геодинамических процессов, проявившихся на разных стадиях геологического развития Южных Курил, выявление рудоконтролирующих факторов и этапов рудогенеза играет определяющую роль при прогнозе полезных ископаемых. Это может способствовать расширению минерально-сырьевой базы региона, среди которой наибольший интерес представляют уникальное месторождение рения на вулкане Кудрявый (о. Итуруп), а также ряд объектов золото-серебряной минерализации, в том числе Прасоловское золоторудное месторождение (о. Кунашир).

**Степень разработанности темы исследования.** Исследование особенностей магматизма и тектонического строения южных Курильских островов реализовывалось в рамках работ по созданию комплектов Государственных геологических карт, авторами которых являются Ю.С. Желубовский (ГГК-1000/1), В.Е. Бевз, Т.П. Королева (ГГК-200/1), В.К. Ротман (ГГК-1000/2), П.Ю. Ковтунович (ГГК-200/2) и др. Модели развития островных систем Тихого океана были представлены в работах выдающихся геологов-тектонистов Г.М. Власова (1978, 1986, 1992), Ю.А. Косыгина (1976, 1984, 1985) и Л.И. Красного (1973, 1978). Результаты этих исследований обобщены и систематизированы в применении к КОД в монографиях К.Ф. Сергеева (1976, 1980, 1987). Особенности эволюции магматизма Курильских островов посвящены работы Г.С. Горшкова (1958, 1967), Б.Н. Пискунова (1975), В.М. Дуничева (1974, 1983), А.В. Рыбина (1994, 1997), Ю.А. и А.Ю. Мартыновых (в конце XX – начале XXI веков). В последние годы исследованием геодинамических обстановок и глубинного строения региона занимались Г.П. Авдейко, Т.К. Злобин и Н.Л. Добрецов. Работы по исследованию строения фронтальной части дуги и фундамента в XXI веке проводились Е.П. Леликовым, Р.Г. Кулиничем, Т.А. Емельяновой.

Однако до сих пор отсутствует устоявшееся представление о пространственном распределении дизъюнктивных структур, их кинематике, возрасте и генезисе. Это факторы,

которые имеют большое значение не только для понимания геологической эволюции региона, но и для изучения характера распределения тектонических напряжений в его пределах, прогноза землетрясений и закономерностей распределения полезных ископаемых. Неясными остаются детали эволюции магматизма на территории островов, роль задуговых процессов в развитии КОД, природа продольной и поперечной геохимических зональностей южного звена БКГ.

**Цель работы** – реконструкция тектоно-магматической эволюции южного сегмента Большой Курильской гряды (острова Кунашир и Итуруп) с установлением закономерностей размещения золото-серебряного оруденения в связи с этапами геологического развития Южных Курил.

**Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:**

1. Уточнить методику картирования разрывных нарушений Южных Курил на основе интегрального анализа данных геологических съемок, результатов обработки и интерпретации комплекса геофизических работ и данных дистанционного зондирования (ДДЗ);

2. Уточнить схему разрывных нарушений Южных Курил, обосновать их пространственные взаимоотношения, морфокинематический тип и относительный возраст заложения;

3. Выявить особенности петрохимического и микроэлементного состава магматических образований Южных Курил, обосновать их формационную принадлежность и геологический возраст;

4. Обосновать этапы тектоно-магматической эволюции и стадии магматизма островов Южных Курил;

5. Изучить связь со структурными элементами геологического строения и закономерности изменения состава золото-серебряного оруденения Южных Курил в ходе их тектоно-магматической эволюции.

**Научная новизна:**

1. Разработана региональная классификация разрывных нарушений с учетом их масштаба, морфологии, времени и обстановок формирования;

2. Выделены разрывные нарушения трех иерархических уровней, обоснованы закономерности их взаимного расположения, морфокинематический тип. Отмечен ряд ранее не выявленных разломов в центральной части о. Кунашир и северной части о. Итуруп;

3. Обоснована модель тектоно-магматической эволюции региона, в которой выделены основные этапы геодинамической эволюции и стадии магматизма/вулканизма, уточнены их вещественные характеристики и возрастные диапазоны;

4. Уточнены мощность и состав стратифицированных образований, слагающих островную сушу, на основе обобщения данных бурения структурных и поисково-оценочных скважин на островах Кунашир и Итуруп;

5. Выявлена связь со структурными элементами и унаследованность изменения состава золото-серебряного оруденения на островах Кунашир и Итуруп в ходе тектоно-магматической эволюции.

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

1. Результаты исследования позволили уточнить геологическое строение территории, были использованы при подготовке третьего издания Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 по листам К-55, L-55 и могут быть привлечены при картировании смежных листов;

2. Разработанная методика картирования разрывных нарушений Южных Курил на основе интегрального анализа данных полевых геологических съемок, обработки и интерпретации комплекса геофизических данных и дистанционных материалов может быть использована для уточнения геологического строения других островов Курильского архипелага и современных островодужных систем;

3. Установленная связь размещения золото-серебряного оруденения с выделенными иерархическими уровнями разрывных нарушений и магматических тел способствует повышению достоверности прогноза новых объектов и расширению минерально-сырьевой базы региона.

**Методология и методы исследования.** Фактический материал для исследования был отобран в ходе полевых работ, проведенных автором в 2019 и 2020 гг. в составе Курильского отряда ФГБУ «ВСЕГЕИ». Автором использовались данные дистанционного зондирования высокого разрешения и цифровые модели рельефа, карты аномальных геофизических полей, данные о распределении современных очагов землетрясений, фондовые материалы, в т.ч. первичные данные по геологосъемочным, поисково-оценочным и разведочным работам, проведенным во второй половине XX века. При проведении исследований автором разработана методика картирования разрывных нарушений Южных Курил на основе анализа разнотипных геолого-геофизических данных и ДДЗ. Для изучения особенностей магматизма использовались лабораторно-аналитические методы исследования вещественного состава, выполненные в ЦЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (85 проб методом РСФА и 33 пробы методом ICP-MS), а также собственные описания шлифов (85 шт.) и аншлифов (10 шт.).

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Геологическая структура островов Кунашир и Итуруп включает три системы разрывных нарушений: 1) продольные разломы первого порядка сдвиго-сбросовой кинематики, проявленные в пределах Большой Курильской гряды, преддугового и задугового бассейнов, формирующие общий структурный план территории ( $P_3-N_1$ ) и обусловленные процессами над субдуцирующей плитой; 2) поперечные разломы второго порядка, преимущественно сбросо-сдвиговой кинематики, обусловившие клавишное строение островов ( $N_{1-2}$ ); 3) радиально-кольцевые дислокации третьего порядка, приуроченные к вулканическим структурам ( $N-Q$ );

2. Тектоно-магматическая эволюция островов Кунашир и Итуруп проходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с растяжением в задуговом бассейне, активным интрузивным магматизмом и с субаквальным вулканизмом центрального типа ( $P_3-N_2$ ); 2) ослабление режима растяжения в задуговом бассейне с проявлением вулканизма трещинного типа ( $N_2-Q_1$ ); 3) проявление субаэрального вулканизма центрального

типа в пределах Большой Курильской гряды с затуханием интрузивного магматизма в задуговом бассейне в условиях сжатия ( $Q_1$ - $Q_n$ );

3. Разломы первого порядка контролируют размещение интрузивных тел прасоловского и рыбаковского комплексов, в то время как разломы второго порядка контролируют субвулканические тела камуйского комплекса, к контактовым зонам данных магматических образований приурочены основные проявления золото-серебряных руд, сформировавшихся на первом этапе тектоно-магматической эволюции на территории островов Кунашир и Итуруп.

**Степень достоверности результатов исследования** обусловлена применением современных технологий обработки и интерпретации данных с привлечением в том числе различного программного обеспечения; использованием разнотипных данных для верификации результатов линеаментного анализа, в особенности полевых наблюдений, собственных и предшественников; представительностью и надежностью исходных материалов; детальным анализом литературных источников по исследуемой тематике, а также использованием полученных результатов при построении Государственной геологической карты.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертационной работы обсуждены на заседаниях кафедры исторической и динамической геологии Санкт-Петербургского Горного университета и совещаниях отдела региональной геологии и полезных ископаемых Дальнего Востока ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2019-2024 гг. Результаты исследования доложены и получили положительную оценку на 4 международных и 1 российской конференциях.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследования; в анализе ранее проведенных работ по изучению геологического строения Южных Курил и разработке методики изучения разрывных нарушений региона. Автором проведена интерпретация данных ДЗЗ и карт потенциальных полей, подготовлена база данных линеаментов, по которой в результате интегрального анализа с использованием других информационных слоев построена схема разрывных дислокаций Южных Курил. Установлены геодинамические условия формирования магматических образований островной суши, проведено сопоставление между этапами магматизма/вулканизма, положением разрывных нарушений и размещением проявлений золото-серебряного оруденения, построена модель тектоно-магматической эволюции региона.

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 10 печатных работах, 3 из которых в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК («Записки Горного института», 2022; «Russian Journal of Earth Science», 2024). Получено 1 свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности, приравненное к публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и библиографического списка. Содержит 182 страницы машинописного текста, 54 рисунка, 8 таблиц, список литературы из 204 наименований и 7 приложений на 26 страницах.

**Благодарности.** Работа выполнена под руководством д.г.-м.н. Таловиной Ирины Владимировны, которой автор выражает искреннюю благодарность за постоянную поддержку, советы и консультации. Автор благодарит к.г.-м.н. Юрченко Юрия Юльевича (Институт Карпинского) за полезные замечания и конструктивную критику. Автор признателен за ценные советы и консультации к.г.-м.н. Дурягиной Асие Минякуповне, к.г.-м.н. Щеколдину Роману Анатольевичу и всему коллективу кафедры исторической и динамической геологии Санкт-Петербургского горного университета. За помощь в области технологий компьютерной обработки и интерпретации геофизических данных к.г.-м.н. Агееву Алексею Сергеевичу и к.т.н. Сенчиной Наталии Петровне. За консультации по вопросам геохимии, оформления картографических и текстовых материалов Долгоселец Диане Александровне. За совместную работу сотрудникам отдела РГ и ПИ ДВ Института Карпинского, в особенности Соловьевой Ирине Николаевне и Беляковой Анастасии Алексеевне. Институту Минералогии Фрайбергской Горной Академии (Германия) и его директору проф. д-ру Герхарду Хайде за консультации и помощь в реализации исследования.

Отдельно автор благодарит своих родных Добрую Юлию Борисовну, Крикуна Сергея Кирилловича, Крикун Светлану Владимировну и Крикуна Илью Сергеевича за постоянную поддержку и мотивацию на всех этапах выполнения исследования.

Исследование выполнено в ходе работ «Создание комплектов Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 листов L-55, 56» (Государственное задание ФГБУ «ВСЕГЕИ» 14.01.2021 г., № 049-00016-2 1-00, выданное Федеральным агентством по недропользованию).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

**Глава 1. Общие сведения о геологическом строении островов Кунашир и Итуруп.** Приводится описание результатов предметного анализа комплексных исследований особенностей магматизма и тектонического строения Южных Курил. Отражено тектоническое районирование, географическое положение и геологическое строение территории.

**В разделе 1.1** отражена история геологического изучения Курильских островов, которая берет начало еще в XIX веке. С 1950-х годов проводятся системные геолого-геофизические исследования, в результате которых построены первые геологические карты. Дальнейшая история изучения Курильских островов отражает смену научных парадигм – от фиксизма и геосинклинальной теории к концепции тектоники плит. Последние исследования демонстрируют необходимость комплексного подхода, объединяющего геологические, геофизические и геохимические данные.

**В разделе 1.2** рассмотрена проблема тектонического районирования территории исследования, обобщены последние представления о типе коры и донеогеновой истории геологического развития. Согласно анализу последних работ, Курило-Камчатская островодужная система сформировалась на границе Охотоморской и Тихоокеанской литосферных плит в результате субдукции последней [Зоненшайн и др., 1990; De Grave et al., 2015; Schellart et al., 2003]. Сама система состоит из серии разновозрастных островных дуг (Курильской, Южно-Камчатской, Восточно-Камчатской и др.), которые последовательно или параллельно формируются в ходе закрытия Пацифики и Палеопацифики [Авдейко и др., 2002]. Заложение современного структурного плана Курильской островной дуги произошло на границе палеогена и неогена. В это время в результате магматизма началось формирование Большой Курильской гряды и Курильской котловины в ходе растяжения в задуговом бассейне [Baranov et al., 2002; Werner et al., 2020]. Наличие кремнистых глубоководных осадков эоцен-олигоценного возраста в Срединно-Курильском бассейне указывает на его более раннее формирование [Крикун и др., 2024]. Вероятнее всего, заложение данной морфоструктуры обусловлено эволюцией так называемой «Протокурильской» островной дуги, служащей сейчас фундаментом современной Большой Курильской гряды и частями которой, предположительно, являлись хребет Витязь и мел-палеогеновое Малокурильское поднятие.

**В разделе 1.3** отражена географическая характеристика района исследований. Большая Курильская гряда (БКГ) представляет собой последовательность вулканических островов протяженностью более 1150 км со средней шириной 100-200 км (рисунок 1). Традиционно БКГ подразделяется на три сегмента: северный, южный и центральный, которые различаются по геохимическим и геофизическим характеристикам. Границами между сегментами являются проливы [Авдейко и др., 1992]. Острова Кунашир и Итуруп относятся к южному сегменту, в котором также выделяются острова Уруп, Черные Братья (Чирип и Чирпой) и Броутона. Геодинамические параметры для разных сегментов Боль-

шой Курильской гряды различны, при средней скорости погружения Тихоокеанской плиты 79-80 мм/год [Seno et al., 1996; Авдейко и др, 2007] расстояние до вулканического фронта в центральной части дуги меньше по сравнению с её флангами (175 км при 190 км и 235 км для Северных и Южных Курил соответственно).

**В разделе 1.4** рассмотрена стратиграфия островов Кунашир и Итуруп. Мелраннепалеогеновые образования на территории исследования не закартированы и обнажаются только в пределах Малокурильского поднятия. Вскрытый геологический разрез островов Кунашир и Итуруп представлен стратифицированными олигоцен-четвертичными образованиями, в основном вулканогенно-осадочного, вулканогенно-кластического и осадочного генезиса, которые прорваны комагматичными им субвулканическими и экстрезивно-жерловыми телами. Нижняя часть разреза представлена дислоцированными отложениями рыбаковской (раннеолигоцен (?)) [De Grave et al., 2016] – раннеплиоценовой) свиты, включающей фациально-изменчивые преимущественно средние вулканические и вулканогенно-осадочные породы. Рыбаковская свита перекрыта плиоценовой камуйской свитой, представленной преимущественно вулканогенно-осадочными образованиями кислого состава. Нижнеплейстоценовые платобазальты фрегатской толщи занимают промежуточное положение между неогеновыми и четвертичными породами. Вулканиды, сформировавшиеся в четвертичный период, характеризуются пестротой петрографического состава и включают в себя базальты и андезиты богатырской толщи, а также дациты и риодациты головнинской и роковской свит.

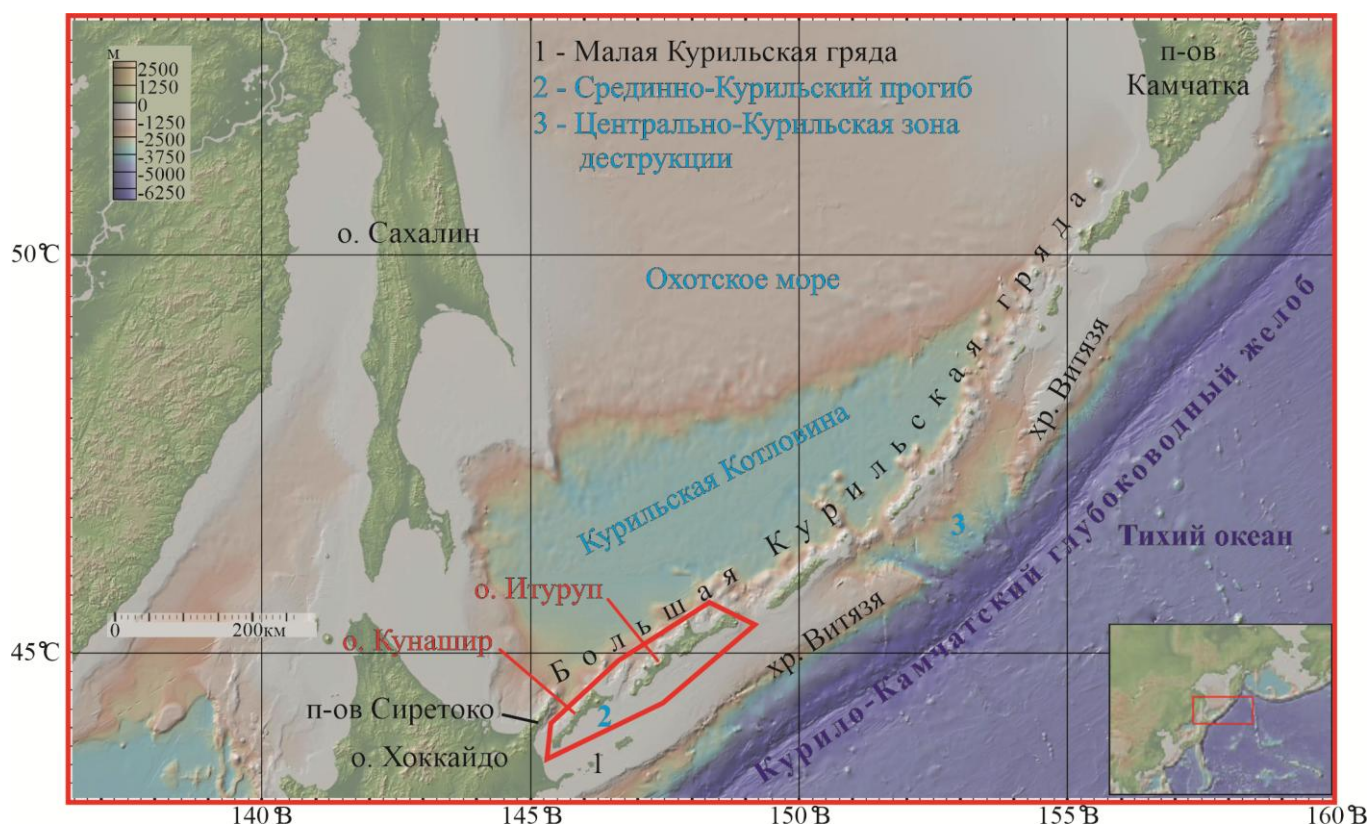


Рисунок 1 – Географическое положение района исследований (показан красной рамкой). Топографическая основа взята с электронного ресурса <https://www.gmrt.org>

**Глава 2. История изучения и методика выделения разрывных нарушений островов Кунашир и Итуруп.** Выполнен аналитический обзор истории изучения разрывных нарушений территории, приведены существующие тектонические схемы и карты. Описана интегральная методика исследования разрывных нарушений региона и разнотипные источники геолого-геофизических данных и космических снимков.

**В разделе 2.1** детально рассмотрена эволюция представлений о разрывных нарушениях островов Кунашир и Итуруп, их возрасте, масштабе, кинематике, классификации, механизмах и причинах формирования. В результате критического обзора современных представлений о дизъюнктивной сети региона, приведенных во втором поколении Государственной геологической карты м-ба 1:200 000, сделан вывод о наличии ряда нераскрытых вопросов и нерешенных проблем.

**В разделе 2.2** приводится подробное описание комплекса использованной геолого-геофизической информации и данных дистанционного зондирования, процесса их систематизации и подготовки, а также интегральной методики анализа, разработанной для уточнения дизъюнктивной сети региона. Первым этапом работы являлось выполнение линеаментного анализа (визуального и автоматизированного) исходных карт аномальных геофизических полей, их трансформант [графические приложения к книге 7 отчета «Создание комплектов государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (авторский вариант) листов L-55 – Южно-Курильск (с клапаном К-55), L-56 – о. Симушир», 2021] и данных дистанционного зондирования. Данный алгоритм активно применяется для идентификации трещиноватых участков земной коры [Ageev et al., 2019; Adiri et al. 2019; Aminov et al., 2019]. Для редуцирования огромного числа выявленных линеаментов они были проранжированы в зависимости от их длины и контрастности проявления.

Авторский подход подробно описан в работах [Крикун, Таловина и др., 2024; Таловина, Крикун и др., 2022] и заключался в последовательной корреляции полученных схем линеаментных сетей с различными информационными слоями: результатами полевых наблюдений, собственных и предшественников; данными о распределении очагов мелкофокусных землетрясений; тектоническими схемами; геологическими картами различного масштаба; построенными автором схемами корреляций разрезов по скважинам [Крикун, Бабенко и др., 2024]; данными по опорным геофизическим профилям.

**Глава 3. Типизация, кинематика и пространственно-временные соотношения разрывных нарушений островов Кунашир и Итуруп.** Приводится описание результатов идентификации разрывных нарушений Южных Курил по приведенной выше разработанной автором методике, их классификация, признаки выделения и возможные причины формирования.

По результатам дешифрирования космических снимков выполнен анализ линеаментных сетей региона. Для каждого выделенного в пределах островной суши ранга линеаментов построены роз-диаграммы с целью оценки их пространственного распределения и возможных причин формирования. Полученные данные свидетельствуют о том, что восток-северо-восточное простирание является доминирующим для зон деструкции на Южных Курилах. Объяснением преобладания такого направления может служить существование региональной обстановки латерального сжатия, характерного для субдукционных

зон. С учетом того, что в районе Южных Курил Тихоокеанская плита субдуцирует в преобладающем запад-северо-западном направлении [Авдейко, 2007], образование ослабленных зон будет происходить перпендикулярно оси максимального сжатия.

Следующим этапом стало построение схем плотностного распределения линеаментов островов Кунашир и Итуруп. Зонам повышенной концентрации соответствуют действующие вулканические постройки, центры эксплозивного плейстоценового вулканизма и активного интрузивного палеоген-неогенового магматизма. Кроме того, на схемы вынесены объекты полезных ископаемых, при этом наблюдается значимая корреляция между распределением полезных ископаемых и зонами повышенной концентрации и пересечений линеаментов. Таким образом, схемы зон деструкции коры, построенные при помощи комплексного дешифрирования материалов дистанционного зондирования, могут быть применимы в качестве альтернативного метода прогноза полезных ископаемых в удаленных и труднодоступных районах [Сохраби и др., 2020] не только Южных Курил, но и островной дуги в целом [Крикун, 2024].

По результатам проведенного интегрального анализа по ранее описанной схеме были построены карты разрывных нарушений о-вов Кунашир и Итуруп. Для того, чтобы оценить рудоконтролирующую роль выявленных структур, на карты были вынесены объекты размещения металлических полезных ископаемых. Объединенный и упрощенный вариант схем представлен в приложении 1. Информация о дизъюнктивной сети акватории взята из существующих геологических карт.

В ходе построений, опираясь на элементы залегания, морфологию, время заложения и масштаб структур, в пределах островной суши и прибрежной акватории было выявлено 3 основные системы наиболее крупных разрывных нарушений.

**Разломы первого порядка** являются самыми протяженными дислокациями на территории островов. Длина структур составляет от первых десятков (на островной суше) до первых сотен (в акватории) километров. Разрывные нарушения данной системы перекрыты вышележащими неоген-четвертичными отложениями, поэтому слабо фиксируются на КС, но надежно выделяются на картах аномальных геофизических полей. В ходе полевых работ они могут быть отмечены только по косвенным признакам.

На территории острова Итуруп и его прибрежной акватории к данной группе относятся 3 разрывных нарушения: в центральной части острова (Рубчиковский сброс), в прибрежной акватории (вероятно, фрагмент так называемого Западного сброса), в северной части острова (Сибеторский сброс). В пределах острова Кунашир к данной группе отнесены Центрально-Кунаширский разлом и разрывные нарушения в районе п-ва Ловцова. Предполагается также наличие крупного разлома в северной части острова на побережье Охотского моря. Несмотря на тот факт, что Рубчиковский и Центрально-Кунаширский разломы были выявлены ранее [Стрельцов, 1976; Сергеев, 1976 и др.], в рамках данного исследования уточнены их морфология, пространственное положение, время формирования.

Восточный и Западный сбросы определяют границы между региональными морфоструктурными элементами. Это сложные, неоднородные структуры, состоящие из серии более мелких разрывных нарушений. Основываясь на масштабе и морфологии, Восточный

и Западный сбросы (фактически сдвиго-сбросы) могут быть отнесены к разломам первого порядка. Для Восточного сброса различными авторами предполагается компонента правого [ГГК-200/2, Werner et al., 2020; и др.] или левого [Стрельцов, 1976] сдвига. Для Западного сброса также отмечаются левосдвиговые подвижки [ГГК-200/2], что указывает на сдвиго-сбросовую кинематику данных структур. Заложение этих разломов, по всей видимости, происходило в ходе формирования общего структурного плана территории, на границе палеогена и неогена (?), а не в палеоцене-эоцене, как полагали авторы ГГК-200/2. Начало активного магматизма и подъем расплава из мантийного клина в районе БКГ приводил к деформированию и воздыманию тонкой субконтинентальной [Павленкова и др., 2018] земной коры. На возраст структур также указывают и результаты сейсмопрофилирования МОВ-ОГТ в акватории: разломы смещают олигоцен-миоценовые сейсмоакустические горизонты и перекрыты более поздними образованиями [ГГК-200/2].

В пределах островной суши наиболее протяженные дизъюнктивные структуры северо-восточного простирания контролируют размещение плутонических массивов прасоловского (на островах Кунашир, Уруп) и парамуширского (на о. Парамушир) комплексов [Стрельцов, 1976, Сергеев, 1976]. Это связывают с морфологией тел, активным магматизмом в раннем (как считалось ранее) неогене, при котором поступление расплава осуществлялось по ослабленным зонам. Согласно последним датировкам цирконов U-Pb методом [De Grave et al., 2016], возраст пород прасоловского комплекса, отобранных в северной части о. Кунашир, составляет ~31 Ма (ранний олигоцен). Для Сибеторского и Центрально-Кунаширского сбросов, по материалам к ГГК-200/2, предполагается наличие сдвиговой компоненты, что дает основание предполагать заложение наиболее протяженных продольных дислокаций акватории и суши в одно время в одном тектоническом режиме и совместно рассматривать их в качестве разломов первого порядка.

Анализ механизмов очагов мелкофокусных землетрясений показывает преобладающую обстановку горизонтального сжатия в задуговом бассейне (Курильской котловине), что позволяет предполагать инверсию режима её развития, так как в задуговом бассейне во время его формирования преобладал режим горизонтального растяжения [Baranov et al., 2002]. Таким образом, с учетом того, что задуговой бассейн формировался в ходе рифтогенеза, оказавшего влияние на заложение продольных сбросов, можно предполагать локальную инверсию характера подвижек, произошедшую также по разломам первого порядка.

**Разломы второго порядка** – это структуры, длина которых превышает 5-6 км и достигает первых десятков километров, ярко выраженные на КС по наличию линеаментов первого ранга или по линейному распределению линеаментов второго и третьего рангов. Масштаб разломов позволяет выделять их по слабым положительным аномалиям на карте горизонтальной составляющей градиента аномального магнитного поля. В ходе полевых работ разломы второго порядка надежно трассируются в рельефе, особенно при выполнении аэрогеологической съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов, по глубоким U-образным долинам рек, в бортах которых картируются зоны брекчирования, повышенной трещиноватости, катаклаза, гидротермальной измененности пород.

На построенной по разработанной методике схеме уточнено местоположение некоторых структур (Тебеньковский сброс, Рейдовский сброс, Добрынинский сброс и др.), наличие нескольких разломов, выделяемых ранее, не было подтверждено. Предполагается существование ряда поперечных структур в районе Доброго перешейка (о. Итуруп) и в центральной части о. Кунашир. Кроме этого, уточнена дизъюнктивная сеть наименее изученного и труднодоступного Медвежьего полуострова.

На геологических картах разрывные нарушения второго порядка сопровождаются субвулканическими телами миоцен-плиоценового возраста и контролируют их размещение, что позволяет предположить глубокое заложение разрывных нарушений и миоценовое время формирования. Вероятнее всего, разрывные нарушения данной группы моложе разломов первого порядка, так как смещают последние на некоторых участках (приложение 1). Это согласуется с моделью формирования Центрально-Курильской зоны деструкции специалистов из ТОИ ДВО РАН, которые предполагают существование поперечных линейных структур преимущественно северо-западного простирания, разбивающих общий структурный план островодужной системы на ряд блоков. Эти разломные зоны прослеживаются от оси Курильского желоба через островную дугу, выходят в Курильскую котловину и служат подводными каналами для молодых плиоцен-плейстоценовых вулканитов [Леликов и др., 2008]. Заложение самих разрывных нарушений, вероятно, происходило раньше, параллельно с формированием зоны деструкции фронтального склона глубоководного желоба в районе Центральных Курил (цифра 3 на рисунке 1).

Разломы второго порядка имеют преимущественно поперечное, т.е. северо-западное, простирание, при этом характеризуются сбросо-сдвиговой, в единичных случаях сбросовой и взбросовой кинематикой [по ГГК-200/2]. Это соответствует модели М.В. Гзовского [М.В. Гзовский, 1975]: при сжатии в север-северо-западном направлении в случае с неоднородным характером субдукции и наличием показанных ранее элементов сдвига у продольных структур поперечные разломы второго порядка могут являться правыми сдвигами (при восток-северо-восточном простирании) или чистыми взбросами (при север-северо-восточном простирании). Простирания даек, замеренные в ходе полевых работ, разнятся, однако можно отметить слабое преобладание простирания в субширотном, преимущественно восток-северо-восточном, направлении, по оси наименьшего сжатия.

Амплитуду некоторых сбросов в центральной части о. Итуруп возможно приблизительно оценить по схемам корреляции разрезов по гидрологическим и структурным скважинам [Крикун, Бабенко и др., 2024]: она составляет первые сотни метров. Таким образом, разломы второго порядка формируют клавишную структуру островов, что согласуется с представлениями [Ковтунович и др., 2002]. Большинство из них активны в настоящее время, что подтверждается распределением очагов малоуглубинных землетрясений, выходами термальных источников и характерной выраженностью в рельефе.

**Разломы третьего порядка** среди выделенных групп являются наименее протяженными и глубокими – при длине от первых сотен метров до первых километров. Это структуры, связанные, прежде всего, с центрами современного и палеовулканизма (приложение 1). На продешифрированных КС они соответствуют линеаментам второго ранга или линейно распределенным линеаментам третьего ранга. Вследствие малого масштаба

эти разломы не фиксируются на картах аномальных полей, однако кольцевые структуры, связанные с современными вулканическими постройками, соответствуют повышенным значениям на картах аномального магнитного поля. Разломы третьего порядка надежно фиксируются в ходе полевых работ, но отличаются от структур второго порядка меньшей мощностью зон дробления и изменения пород. Преимущественно связаны с современной вулканической активностью, поэтому, несмотря на размер, выражаются в рельефе по гидросети, скалистым уступам и др. рельефным формам: например, в окрестностях хребта Богатырь (о. Итуруп) на побережье Охотского моря сопровождаются многочисленными водопадами в скалистом берегу.

Разрывные нарушения третьего порядка имеют кольцевую и радиальную морфологию. Выделяются серии радиально-кольцевых структур у построек одиночных вулканов, сформированные разломами данной группы. В центральной части таких вулканотектонических структур зачастую отмечаются кальдеры. Радиальные структуры данной группы имеют сложную кинематику и разнообразное простирание, которое, как правило, связано со структурным планом цоколя. Кроме того, разломы третьего порядка являются подводными каналами для циркуляции растворов, разгрузка которых происходит в виде термальных источников и парогидротерм, контролируя размещение месторождений самородной серы и минерализации цветных металлов (центральная часть о. Итуруп).

Построенная схема разрывных нарушений позволяет уточнить структурно-геологические особенности строения островов, так как на ней выделены разрывные нарушения, которые не были зафиксированы ранее. В то же время для ранее отмеченных нарушений уточнены местоположение, структура, а также связь с историей геологического развития региона. Достоверность построенной схемы обосновывается использованием современных методов машинного анализа разнотипных геолого-геофизических данных в сочетании с их мануальной обработкой с привлечением результатов работ других авторов, приведенных как в опубликованных, так и в фондовых источниках информации. Такого рода комплексный подход позволил уточнить классификацию разрывных нарушений островов Кунашир и Итуруп и примыкающей акватории, которая базируется не только на особенностях простирания (продольные и поперечные по [Стрельцов, 1976; Сергеев, 1976] или масштаба (главные и прочие по [ГГК-200/2]), но и на кинематике, времени и причинах формирования выделенных структур. Важно отметить магмоподводящую роль разрывных нарушений в распределении позднеолигоцен-раннеэоценовых интрузивных тел (для разломов первого порядка) и эоценовых малых интрузивных тел (для разломов второго порядка). В итоге было сформулировано **первое защищаемое положение**:

*«Геологическая структура островов Кунашир и Итуруп включает три системы разрывных нарушений: 1) продольные разломы первого порядка сдвига-сбросовой кинематики, проявленные в пределах Большой Курильской гряды, преддугового и задугового бассейнов, формирующие общий структурный план территории ( $P_3-N_1$ ) и обусловленные процессами над субдущивающей плитой; 2) поперечные разломы второго порядка, преимущественно сбросо-сдвиговой кинематики, обусловившие клавишное строение островов ( $N_{1-2}$ ); 3) радиально-кольцевые дислокации третьего порядка, приуроченные к вулканическим структурам ( $N-Q$ )».*

**Глава 4. Вулкано-плутонические комплексы островов Кунашир и Итуруп – петрография, геохимия, формационная принадлежность и этапы магматической активности.** Описана методика исследований вулканических и плутонических образований Южных Курил. Проведен анализ петрохимического и микроэлементного составов горных пород. В итоге выделены этапы и причины тектоно-магматической эволюции территории и обоснованы стадии магматизма.

**В разделе 4.1** приведена подробная информация о каждом из использованных методов исследования горных пород, включающих в себя: изучение шлифов из отобранных в ходе полевых работ образцов для определения минерального состава; рентгеноспектральный флуоресцентный анализ для исследования состава породообразующих оксидов; масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой для определения содержания микроэлементов.

**В разделе 4.2** приведены уточненные макроскопические описания, полученные автором в ходе полевых работ, для каждого геологического подразделения (приложение 2) и петрографические описания наиболее распространенных разновидностей слагающих комплексы пород по результатам оптико-микроскопического изучения шлифов (исключением являются экстрезии роковского и богатырского комплексов, которые не были опробованы автором в ходе полевых работ, для них описание приводится по опубликованным данным). Как и в случае со стратифицированными (покровными) аналогами, субвулканические и экстрезивные тела островов Кунашир и Итуруп принадлежат к фрегатскому, богатырскому андезибазальтовому, рыбаковскому андезитовому и камуйскому, роковскому, головнинскому дацитовым вулканическим комплексам. Субвулканические образования в пределах территории исследований формируют разнообразные по морфологии и генезису тела: силлы, штоки, дайки, экстрезивные купола и некки, состав которых близок к составу их покровных аналогов. Помимо этого, выделяются интрузивные массивы прасоловского плагиогранит-диоритового комплекса, отмеченные в северной части о. Кунашир, По отобранным автором образцам получены принципиально новые датировки абсолютного возраста субвулканических образований, позволяющие уточнить историю геологического развития региона и использованные при создании ГГК-1000/3 [книга 7 отчета «Создание комплектов государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (авторский вариант) листов L-55 – Южно-Курильск (с клапаном К-55), L-56 – о. Симушир», 2021].

**В разделе 4.3** приведена интерпретация результатов петро- и геохимического исследований. Для полноты анализа также использованы содержания элементов из фондовых и опубликованных источников. В результате интерпретации сделан вывод о том, что на сравнительно небольшой по площади островной суше геологические подразделения, слагающие острова, отличаются пестротой геохимического и петрографического состава. В целом породы составляют непрерывный ряд от базальтов до риолитов с интервалом содержаний  $\text{SiO}_2$  от 45 до 79%. При этом характеризуются низкими и умеренными содержаниями  $\text{K}_2\text{O}$  нормального щелочного подряда и относятся к известково-щелочной и толеитовой сериям. Отмечается поперечная геохимическая зональность вулканизма в пределах Южных Курил, связанная с возрастанием содержания калия и других некогерентных (Rb, Ba и др.) элементов от фронта островной дуги к тыловой зоне и возрастанием отношения

LREE/HREE. В этом же направлении уменьшаются содержания в лавах Fe, V, величины Fe/Fe+Mg и Fe<sub>2+</sub>/Fe<sub>3+</sub> отношений и содержание летучих компонентов [Авдейко, 1994]. Анализируя рисунок 2, можно отметить, что в среднем значения содержаний редких и редкоземельных элементов на о. Итуруп выше, чем на о. Кунашир. В этом проявляется слабая продольная геохимическая зональность в пределах южного звена Курильской островной дуги.

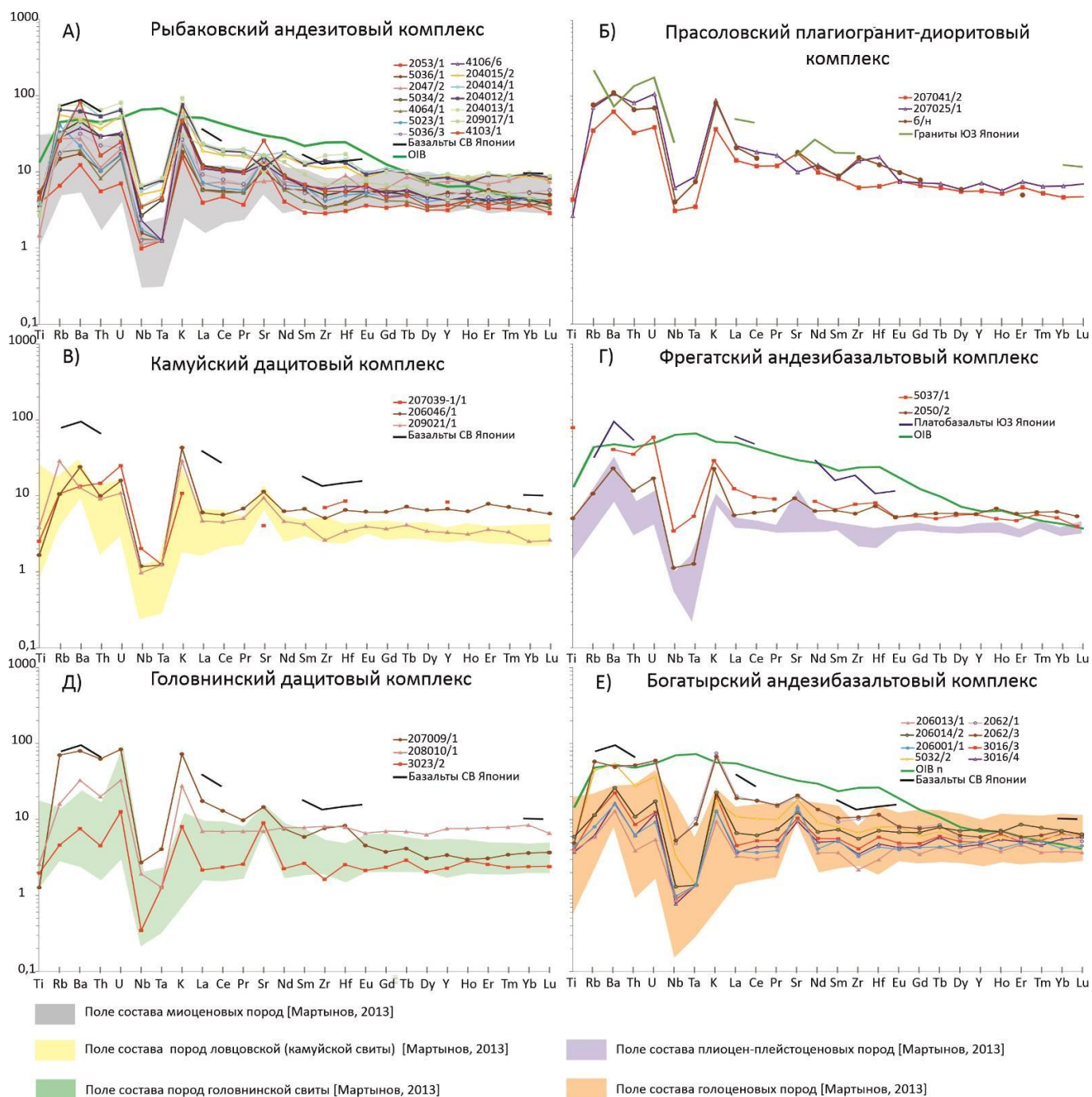


Рисунок 2 – Мультиэлементные диаграммы, нормированные на примитивную мантию, для вулканических и плутонических пород различных магматических комплексов Южных Курил: А-рыбаковский андезитовый, Б-прасоловский плагиогранит-диоритовый, В-камуйский дацитовый, Г-фрегатский андезибазальтовый, Д-головинский дацитовый, Е-богатырский андезибазальтовый. Содержания элементов в примитивной мантии по

[Sun, McDonough, 1989], в базальтах и платобазальтах Японии по [Мартынов, 1999], в гранитах Японии по [Kutsukake, 2002]

**Разделе 4.4** посвящен тектоно-магматической эволюции Южных Курил. В результате комплексного анализа полученных результатов, существующих данных о геологическом строении территории, выполненных ЦИИ ФГБУ «ВСЕГЕИ» датировок U-Pb (SHRIMP II) методом анализа абсолютного возраста пород, разрезов по скважинам, пробуренных в пределах островной суши, выделено три этапа эволюции, смена которых обусловлена прежде всего процессами, протекающими в задуговом бассейне. Внутри каждого этапа выделены также стадии магматизма/вулканизма, опираясь на результаты изучения петрографических и геохимических характеристик геологических подразделений и датировки абсолютного возраста (таблица 1).

Таблица 1 – Этапы тектоно-магматической эволюции южного звена Большой Курильской гряды, их минерагеническая специализация и стадии магматизма/вулканизма

<b>Первый этап (P<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>). Становление стационарного режима субдукции, формирование задугового бассейна Курильской котловины и его последующее растяжение (Au, Ag, Cu, Zn, Pb)</b>	
<i>Первая стадия:</i> ранний олигоцен (?) – ранний плиоцен (31 млн. лет ~ 5 млн. лет). Субаквальный вулканизм центрального типа, активный интрузивный магматизм.	Рыбаковский андезитовый вулканический комплекс (P <sub>3</sub> -N <sub>2rb</sub> )
	Прасоловский плагиогранит-диоритовый комплекс (P <sub>3</sub> -N <sub>2pr</sub> )
<i>Вторая стадия:</i> ранний плиоцен – поздний плиоцен (5 млн. лет ~ 3 млн. лет). Преимущественно субаквальный кислый вулканизм центрального типа.	Камуйский дацитовый вулканический комплекс (N <sub>2km</sub> )
<b>Второй этап (N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>). Ослабление режима растяжения в задуговом бассейне (Fe-Ti, Cu)</b>	
<i>Третья стадия:</i> поздний плиоцен – ранний плейстоцен (гелазский ярус) (3 млн. лет ~ 2 млн. лет). Трещинный, преимущественно субаэральный, основной вулканизм.	Фрегатский андезибазальтовый вулканический комплекс (N <sub>2</sub> -Q <sub>1fr</sub> )
<b>Третий этап (Q<sub>1</sub>-Q<sub>n</sub>). Установление режима сжатия в задуговом бассейне</b>	
<i>Четвертая стадия:</i> ранний плейстоцен – средний плейстоцен (2 млн. лет – 700 тыс. лет). Преимущественно субаэральный вулканизм центрального типа кислого состава и затухание интрузивного магматизма. <b>(Fe-Ti).</b>	Головинский дацитовый вулканический комплекс (Q <sub>E</sub> -pgl)
<i>Пятая стадия:</i> средний плейстоцен – голоцен (700 тыс. лет – наст время). Вулканизм преимущественно основного состава с эксплозивными эпизодическими кислыми извержениями (50 тыс. лет – 2 (?) тыс. лет) <b>(Re. Fe-Ti, Au, Ag).</b>	Богатырский андезибазальтовый вулканический комплекс (Q <sub>n</sub> -hbg)
	Роковский дацитовый вулканический комплекс (Q <sub>nrk</sub> )

Примечание к таблице: цвет в правом столбце отражает преобладающий состав пород: зеленый – основной; малиновый – средний; красный – кислый. Химические элементы отражают минерагеническую специализацию и указаны по степени их распространенности в породах каждого этапа (стадии) от большего к меньшему.

**Первый этап (P<sub>3</sub>-N<sub>2</sub>)** соответствует установлению стационарного режима субдукции и формированию Большой Курильской гряды с магмогенерацией в пределах мантийного клина [Авдейко и др., 2006]. Начало активного вулканизма в пределах БКГ относится к раннему (?) олигоцену, что установлено по возрасту наиболее древней датировки, полученной на территории (прасоловский комплекс 31 млн. лет) [De Grave et al., 2016]. Предполагается [Werner et al., 2020; Varanov et al., 2002], что примерно в это время в позднем (?) олигоцене – раннем миоцене начинается формирование Курильской котловины в результате подъема астеносферной мантии в задуговом бассейне. В ходе формирования молодой и «горячей» литосферы происходило повышение температурного фона надсубдукционной мантии и поверхности погружающейся океанической плиты с выплавлением тыловодужных магм со специфическими геохимическими характеристиками. Этот механизм может объяснить происхождение латеральной зональности в Курильской островной дуге [Ю.А. Мартынов и др., 2010; А.Ю. Мартынов, 2013], в пределах которой в это время выделяются 2 стадии вулканизма (таблица 1). *Первая стадия* – ранний олигоцен (?) – ранний плиоцен (31 млн. лет ~ 5 млн. лет) – привела к формированию вулканогенно-осадочных, вулканокластических и вулканических пород рыбаковского комплекса, формировавшегося исключительно в подводных условиях (рисунок 3).

Кроме того, данная стадия сопровождалась активным интрузивным магматизмом, преимущественно среднего и кислого составов, спровоцированным, вероятно, процессами, происходящими в Курильской котловине. Об активном магматизме свидетельствуют многочисленные субвулканические образования рыбаковского комплекса и интрузивные тела прасоловского комплекса. Формирование последнего происходило в несколько фаз, что обуславливает его широкий возрастной диапазон (с позднего олигоцена по ранний плиоцен). Учитывая тот факт, что прасоловский блок, в котором сосредоточены массивы прасоловского плутонического комплекса, является наиболее приподнятым и эродированным тектоническим блоком на островах Кунашир и Итуруп, можно предположить наличие других погребенных интрузивных тел в пределах Южных Курил, связанных с раннеолигоцен-раннемиоценовым магматизмом. Интрузивные тела неогенового (?) возраста также отмечаются и в прибрежной акватории по данным сейсморазведки [ГГК-200/2].

В дальнейшем, вероятно, произошло небольшое затухание вулканической активности, которое определяет увеличение терригенной составляющей в отложениях, слагающих нижнюю часть камуйской свиты [Крикун, Бабенко и др., 2024]. В плиоцене происходит смена состава вулканизма на более кислый, что приводит к формированию пород камуйского дацитового комплекса и позволяет выделить *вторую стадию* вулканизма, которая продолжалась до позднего плиоцена. Вулканизм сопровождается интрузивным магматизмом и образованием гипабиссальных тел камуйского комплекса.

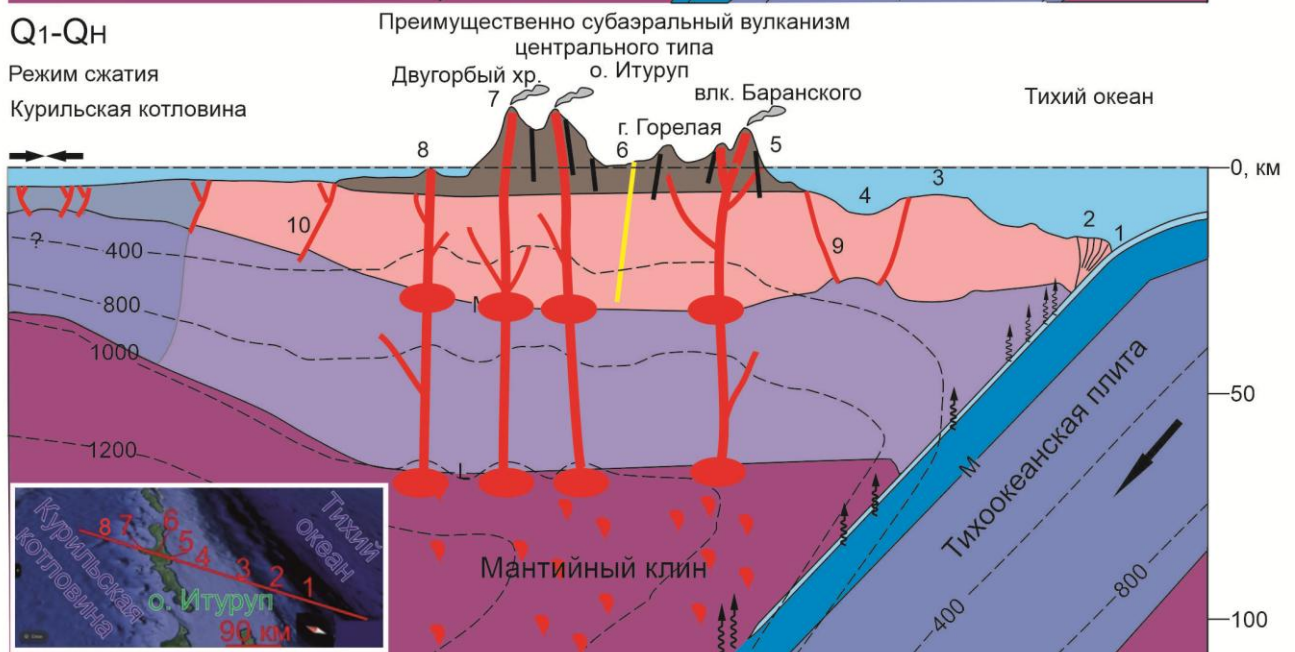
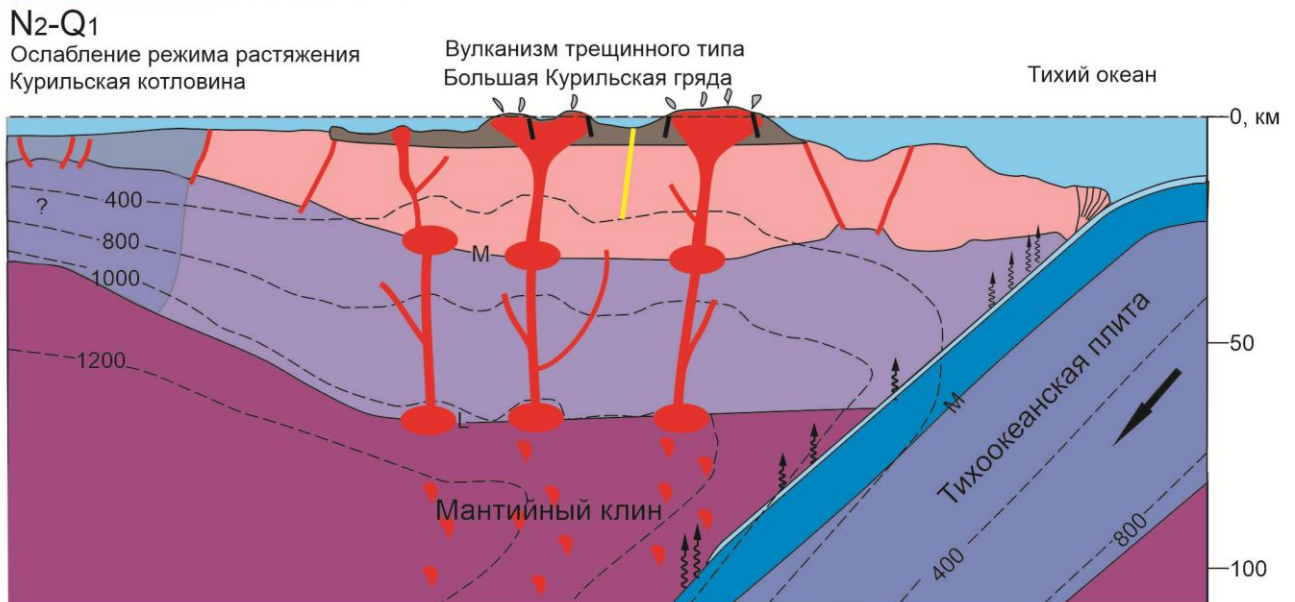
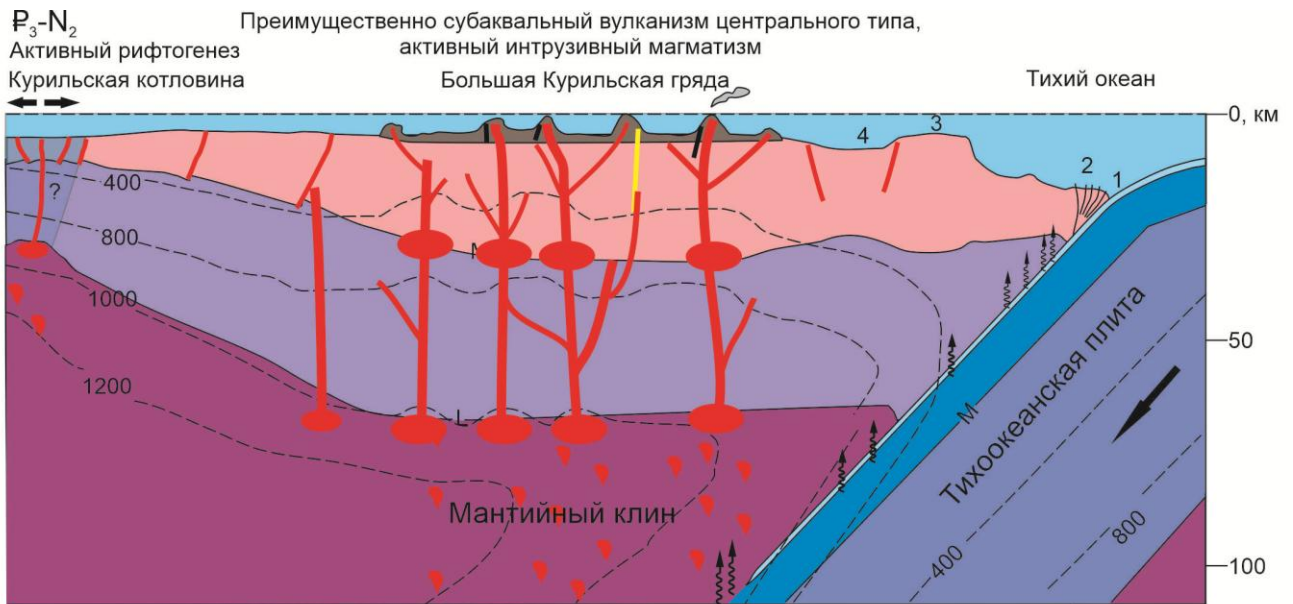


Рисунок 3 – Графическая реконструкция тектоно-магматической эволюции Южных Курил на примере центральной части о. Итуруп: параметры субдукции по [Авдейко и др., 2002]; температурный режим по [Добрецов и др., 2010]; строение зоны сочленения дуга-желоб по [Ломтев и др., 2012]; данные о строении земной коры по [Павленкова и др., 2018]. На схеме: 1 – глубоководный желоб; 2 – аккреционная призма; 3 – внешняя дуга (хр. Витязь); 4 – Срединно-Курильский прогиб; 5 – фронтальная вулканическая зона; 6 – промежуточная вулканическая зона; 7 – тыловодужная вулканическая зона; 8 – зона затухания вулканизма; 9 – Восточный сброс; 10 – Западный сброс.

В легенде: 1 – разноуровневые магматические очаги; 2 – участки генерации магм в надсубдукционном мантийном клине; 3 – направление миграции летучих компонентов над сейсмофокальной зоной; 4 – субконтинентальная а – кора, б – литосферная мантия; 5 – субокеаническая (?) по [Werner et al., 2020] а – кора, б – литосферная мантия; 6 – океаническая а – пелагический осадочный слой, б – кора, в – литосферная мантия; 7 – активные вулканы и вулканические постройки текущего этапа; 8 – астеносфера; 9 – изотермы, °С; 10 – разломы а – первого порядка, б – второго порядка, в – третьего порядка

**Второй этап (N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>)** является переходным, он связан со сменой режима развития задугового бассейна и ослаблением растяжения, которое, по оценкам (Baranov et al., 2002), произошло в позднем миоцене. По данным автора, вероятнее всего, это событие протекало позднее, а именно в позднем плиоцене (около 3 млн. лет назад). В это время отмечается подъем территории островов Большой Курильской гряды до уровня моря и проявление *третьей стадии* нетипичного для островных дуг вулканизма с трещинным характером излияний (рисунок 3). Продуктами такого вулканизма являются платобазальты фрегатского комплекса. Лавовые потоки фрегатского комплекса демонстрируют текстурные и структурные признаки формирования в преимущественно наземных, субаэральных условиях и накопления на плоской низменной поверхности на уровне или вблизи уровня моря.

Низкие содержания щелочных компонентов, некогерентных элементов в породах фрегатского комплекса и полное отсутствие кислых образований в отличие от других этапов показывают резкую смену условий тектонического режима, которая может быть связана с затуханием активного интрузивного магматизма и последующей эксгумацией интрузивных тел [Ребецкий, 2023] либо с изменениями параметров субдукции Тихоокеанской плиты. Некоторые авторы предполагают наличие обстановок пологой субдукции или вовсе не субдукционных [А.Ю. Мартынов, 2015].

На **текущем третьем этапе (Q<sub>1</sub>-Q<sub>н</sub>)** развития Большой Курильской гряды отмечается сжатие задугового бассейна, которое должно привести к полному прекращению магматической активности в нем, снижению температурного фона надсубдукционной мантии в тыловой зоне [А.Ю. Мартынов, 2015]. По данным сейсмопрофилирования, приведенным в ГГК-200/2, все интрузивные образования неогенового возраста в акватории перекрыты более молодыми отложениями. *Четвертая стадия* вулканизма началась, вероятнее всего, в раннем плейстоцене (приблизительно 2 млн. лет назад) и связана с переходом от трещинных излияний к кислому эксплозивному вулканизму центрального типа (рисунок 3), который продолжался вплоть до среднего плейстоцена (~ 700 тыс. лет) и привел к формирова-

нию пород головнинского дацитового комплекса. Судя по ограниченному распространению субвулканических тел данного геологического подразделения, можно предположить постепенное затухание магматической активности. Начало формирования пород богатырского андезибазальтового вулканического комплекса в среднем плейстоцене позволяет выделить *пятую стадию* вулканизма на территории исследования, которая продолжается до сих пор в пределах действующих вулканических структур. Несмотря на то, что данная стадия характеризуется преимущественно средними и основными излияниями, в позднем плейстоцене (~50-20 тыс. лет назад), по последним оценкам вплоть до голоцена [Бергаль-Кувикас, 2023] на территории был проявлен кислый эксплозивный вулканизм, чем обусловлено образование кальдер на Медвежьем хребте, на Ветровом перешейке, в заливе Львиная пасть и др. Породы, сформировавшиеся в это время, выделены в отдельное геологическое подразделение и отнесены к роковскому дацитовому вулканическому комплексу.

В выводах к разделу сформулировано **второе защищаемое положение:**

*«Тектоно-магматическая эволюция островов Кунашир и Итуруп проходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с растяжением в задуговом бассейне, активным интрузивным магматизмом и с субаквальным вулканизмом центрального типа ( $P_3-N_2$ ); 2) ослабление режима растяжения в задуговом бассейне с проявлением вулканизма трецинного типа ( $N_2-Q_1$ ); 3) проявление субаэрального вулканизма центрального типа в пределах Большой Курильской гряды с затуханием интрузивного магматизма в задуговом бассейне в условиях сжатия ( $Q_1-Q_H$ )».*

**Глава 5. Металлические полезные ископаемые островов Кунашир и Итуруп. Их виды, связь с элементами структурно-геологического строения и закономерности изменения состава в ходе тектоно-магматической эволюции.** Отражено исследование закономерностей изменения состава золото-серебряного оруденения в ходе тектоно-магматической эволюции и связи со структурными элементами геологического строения. Определены важнейшие рудоконтролирующие факторы и этапы рудогенеза.

**В разделе 5.1** отражена информация о существующих фондовых и опубликованных данных, касающихся полезных ископаемых и их связи с элементами тектонического строения исследуемой территории, а также обработка первичных данных. В конце раздела сделан вывод о том, что в существующих источниках роль магматических и тектонических процессов в распределении полезных ископаемых в районе исследования остается нераскрытой. Дополнительного изучения требуют время формирования оруденения; рудоконтролирующие факторы и поисковые признаки – данные, которые являются ключевыми при прогнозе месторождений полезных ископаемых и необходимы для полного понимания истории геологического развития территории.

**В разделе 5.2** приводятся актуализированные данные о металлических полезных ископаемых островов Кунашир и Итуруп, полученные на основе анализа литературных источников и собственных наблюдений. В результате была актуализирована схема размещения полезных ископаемых на островах Кунашир и Итуруп и сформулирован вывод о том, что в настоящее время на территории островов среди металлических полезных ископаемых наибольшее экономическое значение имеют месторождения золота и редких металлов (проявление рения на о. Итуруп). Наибольшими перспективами на золото обладает север-

ная часть о. Кунашир, где имеются одно месторождение (Прасоловское) и ряд проявлений. На о. Итуруп, вследствие менее детальной изученности, выявлено только два проявления золота, но имеются многочисленные пункты его минерализации, сосредоточенные преимущественно в северной части острова, ранее считавшейся неперспективной. Остальные месторождения металлических полезных ископаемых (ильменит-магнетитовых россыпей, полиметаллических руд) в настоящее время законсервированы.

**Раздел 5.3** посвящен закономерностям распределения металлических полезных ископаемых на островах Кунашир и Итуруп. В пределах островной суши золото-серебряное оруденение может быть отнесено к эпиптермальному типу золото-кварцевой и мезотермальному типу золото-сульфидной формаций. Наибольший экономический интерес представляют два золоторудных района: Северо-Итурупский – прогнозируемый и Северо-Кунаширский – установленный (рисунок 4). В пределах рудных районов выделяются рудные зоны, узлы и поля. Рудные узлы и поля соответствуют вулканотектоническим структурам четвертичного и неогенового возрастов. В связи с этим **магматический фактор** определен в качестве важнейшего рудоконтролирующего на территории островов Кунашир и Итуруп, значимую роль в размещении полезных ископаемых также играет **тектонический фактор**.

**Магматический фактор.** Вулканические и плутонические образования, слагающие Южные Курилы, являются рудоматеринскими для ряда твердых полезных ископаемых: меди, цинка, золота и серебра и др., а также выступают в качестве рудовмещающей среды при наложенных рудоносных процессах и последующей мобилизации металлов [по ГГК-200/2]. Минерагеническая специализация магматических комплексов (таблица 1) установлена по данным ГГК-200/2, а также согласно результатам лабораторного анализа, полученным автором в ходе исследования геохимической специализации выделенных комплексов. Более того, оцененный K-Ar методом абсолютный возраст гидротермально-метасоматических образований, вмещающих наиболее перспективную золотую минерализацию в пределах Южных Курил на Прасоловском месторождении (рисунок 4), составляет от  $1,94 \pm 0,1$  до  $5 \pm 1$  млн. лет (при возрасте вмещающих пород 10-14 млн. лет) [Ковтунович и др., 2000, 2002], что соответствует плиоцену-плейстоцену (гелазский ярус) и преимущественно относится к заключительной стадии первого этапа тектоно-магматической эволюции – времени формирования рыбаковского и камуйского вулканических и прасоловского плутонического комплексов, а также связанных с ними гидротермально-метасоматических образований. С более поздним плейстоценовым этапом ассоциирует медная, в меньшей степени молибденовая, мышьяковистая минерализации. Современная вулканическая активность сопровождается интенсивной гидротермальной, фумарольной и сольфатарной деятельностью, с которой связано накопление редких, реже благородных металлов.

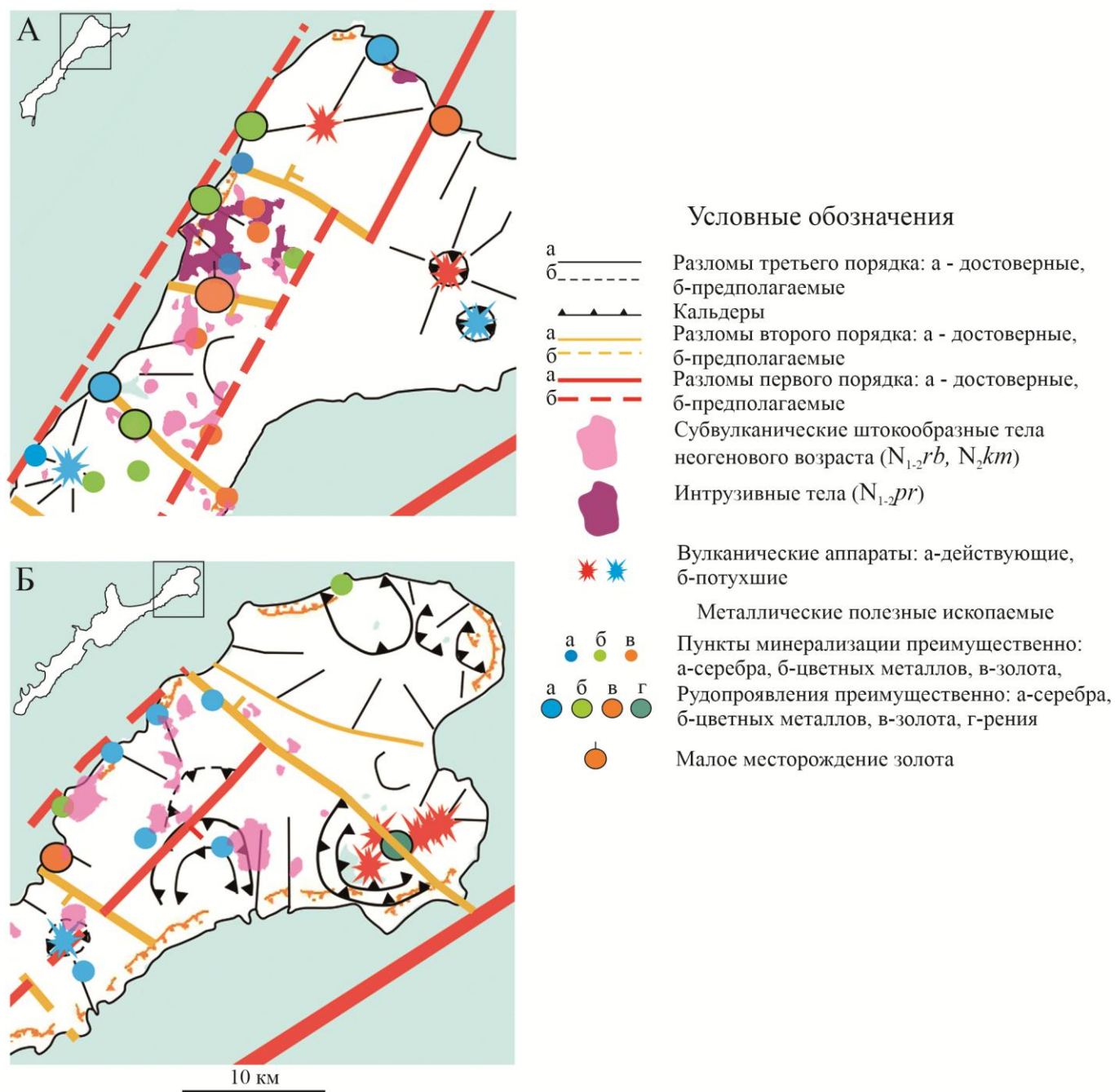


Рисунок 4 – Схемы размещения полезных ископаемых наиболее перспективных на золото-серебряную, медно-полиметаллическую и редкометалльную минерализацию участков островов Кунашир (А) и Итуруп (Б)

**Тектонический фактор.** На рисунок 4 помимо актуализированной автором схемы размещения полезных ископаемых также вынесены субвулканические и интрузивные тела [по данным ГГК-200/2] и выделенные ранее 3 системы разрывных нарушений. Как было показано выше, ключевая роль при распределении интрузивных тел прасоловского комплекса принадлежит разломам первого порядка (продольным). На рисунке 4 можно отметить, что они также контролируют размещение малых интрузий рыбаковского комплекса в северной части о. Итуруп на побережье Охотского моря. В то же время предполагается рудогенерирующая роль пород камуйского комплекса, особенно для золото-серебряной ми-

нерализации. Вместе с тем размещение субвулканических образований камуйского комплекса пространственно и генетически связано с разломами второго порядка. С учетом имеющихся датировок абсолютного возраста можно предполагать формирование золото-серебряной минерализации, в том числе Прасоловского месторождения и других объектов Прасоловского рудного поля, в несколько этапов, особенно если предположить наличие более крупных порфирировых объектов, нескрытых эрозией. В таком случае перераспределение вещества могло осуществляться в результате циркуляции флюидов по разломам второго порядка на поздних постмагматических фазах после внедрения по этим же структурам расплавов, приведших к формированию плиоценовых субвулканических тел. Рудные зоны соответствуют тектоническим блокам, а рудные тела имеют преимущественно северо-западное ( $280^{\circ}$ - $320^{\circ}$ ), поперечное островам, простирание, что также совпадает с ориентировкой разломов второго порядка (приложение 1). Таким образом, разумно предполагать, что области пересечения разломов первого и второго порядка могут рассматриваться в качестве перспективных участков на золото-серебряную минерализацию. В таком случае стоит прогнозировать наличие объектов в центральной части о. Итуруп, перспективность которой, по последним оценкам [Юрченко и др, 2021], подвергается сомнению.

Важная роль в распределении полезных ископаемых и разломов третьего порядка, связанных с центрами современного и палеовулканизма. Это определяется тем, что разломы являются подводными каналами для металлоносных растворов, разгрузка которых в пределах Южных Курил происходит в виде термальных источников и парогидротерм, несущих минерализацию редких, реже цветных и благородных металлов. С радиальными разломами на периферийных участках неогеновых вулcano-тектонических структур связана медно-полиметаллическая минерализация (рисунок 4). На месторождениях серы, ассоциирующих с четвертичными ВТС, также отмечаются повышенные содержания редких и благородных металлов.

На основе перечисленных выше данных в выводах к разделу сформулировано **третье защищаемое положение**:

*«Разломы первого порядка контролируют размещение интрузивных тел прасоловского и рыбаковского комплексов, в то время как разломы второго порядка контролируют субвулканические тела камуйского комплекса, к контактовым зонам данных магматических образований приурочены основные проявления золото-серебряных руд, сформировавшихся на первом этапе тектоно-магматической эволюции на территории островов Кунашир и Итуруп».*

**Глава 6. Реконструкция тектоно-магматической эволюции островов Кунашир и Итуруп и этапов рудообразования.** По полученным в рамках данного диссертационного исследования результатам по особенностям дизъюнктивной сети региона, магматизма и закономерностям распределения и формирования металлических полезных ископаемых в сочетании с комплексированием данных предшественников приводится детальная реконструкция тектоно-магматической эволюции островов Кунашир и Итуруп и этапов рудообразования с подробным описанием каждого этапа и моделированием геодинамических условий магматизма территории в ходе ее эволюции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация «Тектоно-магматическая эволюция и рудоносность южной группы островов Большой Курильской гряды (острова Кунашир и Итуруп)» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи — реконструкции тектоно-магматической эволюции южной группы островов Большой Курильской гряды.

Подготовленная методика изучения структурно-геологических особенностей островов Кунашир и Итуруп может быть распространена на другие острова Большой Курильской гряды. Полученные в ходе исследования результаты позволили уточнить геологическое строение островов Кунашир и Итуруп, в том числе: особенности дизъюнктивной сети; литолого-стратиграфический разрез; геологические границы магматических подразделений; формационную принадлежность богатырского комплекса; химический состав, включая редкие и редкоземельные элементы, горных пород, формирующих острова. Выявленные закономерности размещения полезных ископаемых, выделенные рудоконтролирующие факторы (магматический и тектонический) будут учтены при прогнозе новых объектов.

Знания тектоно-магматической эволюции южного звена Большой Курильской гряды на примере островов Кунашир и Итуруп позволяют по-новому взглянуть на историю развития всей островной дуги и в качестве наиболее значимых факторов определить процессы, протекающие в задуговом бассейне. Однако причина таких глобальных тектонических перестроек остается вопросом дискуссионным и требует дальнейшего изучения.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в периодических изданиях рекомендованных ВАК Минобрнауки России, индексируемых в Web of Science и Scopus*

1. **Крикун, Н. С.** Изучение дизъюнктивной сети о. Кунашир (Курильские острова) с целью реконструкции особенностей его тектонического развития / **Н. С. Крикун, И. А. Абдрахманов, И. В. Таловина** // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – №. 2. – С. 1-17. – DOI: 10.2205/2024ES000915.

2. **Крикун, Н. С.** Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности неогеновых отложений южного сегмента Курильской островодужной системы / **Н. С. Крикун, И. А. Бабенко, И. В. Таловина, А. М. Дурягина** // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – №. 2. – С. 1-16. – DOI: 10.2205/2024ES000905.

3. Таловина, И. В. Дистанционные методы исследования в изучении структурно-геологических особенностей строения о. Итуруп (Курильские острова) / И. В. Таловина, **Н. С. Крикун, Ю. Ю. Юрченко, А. С. Агеев** // Записки Горного института. – 2022. – Т. 254. — С. 158-172. — DOI 10.31897/PMI.2022.45.

*Публикации в прочих изданиях:*

4. Ageev, A. The principal characterized features of earth's crust within regional strike-slip zones / A. Ageev, A. Egorov, **N. Krikun** // Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals – Litvinenko (Ed). – 2021. – pp. 78-83.

5. **Крикун, Н. С.** Классификация, масштаб и пространственно-временные взаимоотношения разрывных нарушений Южных Курил / **Н. С. Крикун, И. В. Таловина, И. А. Бабенко** // Геотектоника и геодинамика сейсмоактивных районов : материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук (Москва, 22-24 октября 2024 года). – Москва : Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2024. - С. 22-25.

6. **Крикун, Н. С.** Изучение закономерностей распределения металлических полезных ископаемых о. Кунашир с использованием разнотипных геолого-геофизических данных и МДЗ / **Н. С. Крикун** // Сборник тезисов докладов XIII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» Москва ФГБУ «ЦНИГРИ» 10–12 апреля 2024. – М. : ФГБУ «ЦНИГРИ». – 2024. – С. 195-197.

7. **Крикун, Н. С.** Применение дистанционных методов исследования для уточнения структурно-геологических особенностей строения Курильского региона (на примере островов Кунашир и Итуруп) / **Н. С. Крикун** // Материалы X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле».Т. 1 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология. - М. : МГРИ. – 2022. – С. 21-24.

8. **Крикун, Н. С.** Типизация кинематика и масштаб тектонических нарушений о. Итуруп (Большая Курильская гряда) / **Н. С. Крикун** // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: XI Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конферен-

ции с международным участием, 15-18 сентября 2021, г. Хабаровск (Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов) – Хабаровск : ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2021. – С. 157-159.

9. **Крикун, Н. С.** История изучения тектонических нарушений о. Шикотан (Малая Курильская гряда) / **Н. С. Крикун**, А.В. Толкунова // Современная наука и молодые учёные. Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. 20 мая 2021, – г. Пенза : Наука и просвещение, 2021. – С. 15-18.

10. Бейги, С. Региональные линеаментные зоны Ирана и положение месторождений Cu, Pb, Zn и Fe / А. Сохраби, С. Бейги, И.В. Таловина, А.А. Круглова, **Н. С. Крикун** // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2020. – Т. 63, № 2. – С. 8-20. – DOI 10.32454/0016-7762-2020-63-2-8-20.

*Свидетельство:*

1. Свидетельство о регистрации базы данных № 2021621173. База данных линеаментов о. Итуруп : № 2021621051 : заявлено 27.05.2021 : опубликовано : 01.06.2021 **Н. С. Крикун**, Э. Р. Федорова, И. В. Таловина; заявитель СПГУ. – 179 кб.



Приложение 1 (вклейка) – Упрощенная и генерализованная схема разрывных нарушений островов Итуруп и Кунашир и части прилегающей акватории с объектами размещения металлических полезных ископаемых (схема, размещенная на геологической основе, приведена в приложении В диссертации)

