

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 – 2024

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

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Таловина Ирина Владимировна

Официальные оппоненты:

Матушкин Николай Юрьевич

кандидат геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория геодинамики и палеомагнетизма, старший научный сотрудник.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Петропавловск-Камчатский.

Защита диссертации состоится **3 марта 2025 г. в 14:00** на заседании диссертационного совета 24.1.132.01 при ИФЗ РАН по адресу: 123242, г. Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФЗ РАН, на сайте www.ifz.ru. Автореферат размещен на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки Российской Федерации vak.ed.gov.ru и на сайте института www.ifz.ru.

Отзывы на автореферат, с подписью, заверенной печатью, в 1 экземпляре, просьба направлять по адресу: 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1, ИФЗ РАН, ученому секретарю диссертационного совета кандидату физико-математических наук Жосткову Руслану Александровичу

Автореферат разослан **15 ноября 2024 г.**

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Р.А. Жостков

диссертационного совета,

кандидат физико-

математических наук

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 тыловодужного и задугового бассейнов. Изучение тектоно-магматической эволюции ныне активной 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, проявлявшихся 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.

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.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Усовершенствовать 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 интрузивных и вулканических образований Южных Курил, обосновать их формационную принадлежность и геологический возраст;

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

5. Уточнить закономерности размещения золото-серебряного оруденения на территории и выявить их взаимосвязь с этапами тектоно-магматической эволюции Южных Курил.

Научная новизна работы:

1. Разработана 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. Уточнена 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 унаследованность формирования структур, контролирующих размещение золото-серебряного оруденения на островах Кунашир и Итуруп.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Результаты исследования позволили уточнить геологическое строение территории, 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 ИСР-

MS), а также собственные описания шлифов (85 шт.) и аншлифов (10 шт.).

На защиту выносятся следующие положения:

1. На островах Кунашир и Итуруп выделяется три системы разрывных нарушений: 1) продольные разломы первого порядка сдвига-сбросовой кинематики, проявленные в пределах Большой Курильской гряды, преддугового и задугового бассейнов и обусловленные субдукционными процессами над погружающейся Тихоокеанской плитой (N_1); 2) поперечные разломы второго порядка, преимущественно сбросо-сдвиговой кинематики, обусловившие клавишное строение островов (N_2); 3) радиально-кольцевые дислокации третьего порядка, приуроченные к вулканическим структурам ($N-Q$);

2. Тектоно-магматическая эволюция островов Кунашир и Итуруп происходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с растяжением в задуговом бассейне, активным интрузивным магматизмом и с субаквальным вулканизмом центрального типа (N_1-N_2); 2) ослабление режима растяжения в задуговом бассейне с вулканизмом трещинного типа (N_2-Q_1); 3) проявление субаэрального вулканизма центрального типа в пределах Большой Курильской гряды с затуханием магматизма в задуговом бассейне в условиях сжатия (Q_1-Q_n);

3. Основные проявления золото-серебряных руд на территории островов Кунашир и Итуруп сформировались на первом этапе тектоно-магматической эволюции, приурочены к контактам интрузивных тел прасоловского, рыбаковского комплексов и субвулканических тел камуйского комплекса, размещение которых контролируется разломами первого и второго порядков соответственно.

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 линеamentного 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 ДДЗ 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. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и библиографического списка. Содержит 163 страницы машинописного текста, 50 рисунка, 8 таблиц, список литературы из 172 наименований и 6 приложений на 24 страницах.

Благодарности. Работа выполнена под руководством д.г.-м.н. Таловиной И.В., которой автор выражает искреннюю благодарность за поддержку, советы и консультации на всех этапах выполнения исследования. Автор благодарит к.г.-м.н. Юрченко Ю.Ю. за полезные замечания, чуткое руководство и проявленное терпение. Автор признателен за ценные советы и консультации к.г.-м.н. Дурягиной А.М., к.г.-м.н. Щеколдину Р.А. За помощь в области технологий компьютерной обработки и интерпретации геофизических данных автор благодарен к.г.-м.н. Агееву А.С. и к.т.н. Сенчиной Н.П. За консультации по вопросам геохимии и оформления картографических материалов автор благодарит Долгоселец Д.А. Автор признателен сотрудникам отдела РГ и ПИ ДВ ФГБУ «ВСЕГЕИ», в особенности Соловьевой И.Н., Беяковой А.А. за совместную работу. Автор признателен Институту Минералогии Фрайбергской Горной Академии (Германия) и его директору проф. д-ру Г. Хайде за консультации и помощь в реализации 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., № 049-00016-21-00, выданное Федеральным агентством по недропользованию).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту. **В первой главе** приводится описание результатов предметного анализа комплексных исследований особенностей магматизма и тектонического строения Южных Курил. Показано геологическое строение территории. **Во второй главе** описывается интегральная методика исследования разрывных нарушений региона. Детально показан весь алгоритм работы с комплексом геолого-геофизических материалов и данных ДЗЗ. **В третьей главе** приводится описание результатов картирования разрывных нарушений Южных Курил на дневной поверхности, их классификация, признаки выделения и возможные причины формирования. **В четвертой главе** описана методика исследований вулканических и магматических 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. **Пятая глава** посвящена исследованию закономерностей распределения золото-серебряного оруденения в регионе. В главе определены важнейшие рудоконтролирующие факторы и этапы рудогенеза, приводится детальная реконструкция тектоно-магматической эволюции Южных Курил и этапов рудообразования с подробным описанием каждого этапа и моделированием геодинамических условий магматизма/вулканизма территории в ходе ее эволюции.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1) На островах Кунашир и Итуруп выделяется три системы разрывных нарушений: 1) продольные разломы первого порядка сдвига-сбросовой кинематики, проявленные в пределах Большой Курильской гряды, преддугового и задугового бассейнов и обусловленные субдукционными процессами над погружающейся Тихоокеанской литосферной плитой (N_1); 2) поперечные разломы второго порядка, преимущественно сбросо-сдвиговой кинематики, обусловившие клавишное строение островов (N_2); 3) радиально-кольцевые дислокации третьего порядка, приуроченные к вулканическим структурам ($N-Q$);

Для уточнения дизъюнктивной сети региона была разработана интегральная методика, включающая в себя использование комплекса систематизированной и подготовленной разнотипной геолого-геофизической информации и ДДЗ. Первым этапом работы являлось выполнение линеаментного анализа (визуального и автоматизированного) исходных карт аномальных геофизических полей, их трансформант [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] 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 заключался в последовательной корреляции полученных схем линеаментных сетей с различными информационными слоями [Таловина и др., 2022., Крикун и др., 2024]: результатами полевых наблюдений собственных и предшественников; данными о распределении очагов землетрясений; тектоническими схемами; геологическими картами различного масштаба; построенными автором схемами корреляция разрезов по скважинам [Крикун и др., 2023]; данными по опорным геофизическим профилям. По результатам приведенного интегрального анализа 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 которых представлен на Рисунке 1. Информация о дизъюнктивной сети прибрежной акватории взята из существующих геологических карт. В ходе построений, опираясь на элементы залегания, морфологию, время заложения и масштаб структур, было выявлено 3 основных системы наиболее крупных разрывных нарушений.

Разломы первого порядка являются самыми протяженными дислокациями на территории островов. Разрывные нарушения данной системы перекрыты вышележащими 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.

Опираясь на северо-восточное (продольное) простирание и наиболее раннее, в сравнении с остальными группами, заложение, формирование разломов первого порядка можно связать с началом магматизма в пределах Большой Курильской гряды в раннем миоцене, возможно, даже в конце олигоцена (?). Подъем магматического расплава из мантийного клина приводил к деформированию и воздыманию тонкой субконтинентальной [Павленкова и др., 2018] земной коры. Это объясняет формирование Западного и Восточного сбросов, структурно ограничивающих Большую Курильскую гряду от Курильской котловины и Срединно-Курильского прогиба. Рифтогенез в

задуговым бассейне также приводил к формированию серии продольных сбросов, перпендикулярно оси растяжения, что отмечается на опорном геофизическом профиле 2 ДВ-М [по результатам работ ООО «Севморгеология»], пересекающем Южные Курилы в районе пролива Фриза, который разделяет острова Итуруп и Уруп. Более того, результаты интерпретации данных профиля показывают, что продольные разрывные нарушения в пределах пролива имеют нижнекоревое заложение при весьма крутых углах падения (до 80°), которые, вероятно, уменьшаются с глубиной. Схожие параметры предполагаются и для структур на островах Кунашир и Итуруп. Сдвиговая компонента рассматриваемых структур прослеживается по фокальным механизмам очагов землетрясений (Рисунок 1).

Разломы первого порядка контролируют распределение интрузивных образований прасоловского комплекса на северо-востоке о. Кунашир, имеющих, по разным оценкам, палеоцен [De Grave et al., 2017] -миоценовый возраст, что также указывает на время их заложения.

Разломы второго порядка – это структуры, длина которых превышает 5-6 км, 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 геологических картах данные разрывные нарушения сопровождаются субвулканическими телами плиоценового возраста и зонами интенсивной метасоматической переработки пород, что указывает на их глубокое заложение и неогеновое время формирования. Достоверно можно утверждать, что разрывные нарушения данной группы моложе разломов первого порядка, так как смещают последние на некоторых участках (Рисунок 1). Разломы второго порядка имеют преимущественно поперечное, т.е. северо-западное,

простирается, при этом характеризуются сбросо-сдвиговой, в единичных случаях сбросовой и взбросовой кинематикой. Амплитуду некоторых сбросов в центральной части о. Итуруп можно приблизительно оценить по схемам корреляции разрезов по скважинам [Крикун и др., 2023], она составляет первые сотни метров. Правая сдвиговая компонента выделяется по взаимоотношению с разломами первого порядка. Результаты данного исследования подтверждают представления о том, что разломы второго порядка формируют клавишную структуру островов [Ковтунович и др., 2002]. Большинство из них активны в настоящее время, что подтверждается распределением очагов малоглубинных землетрясений, выходами термальных источников и характерной выраженностью в рельефе.

Причина формирования разломов второго порядка может быть связана с деформированием висячего блока субдукционной зоны в результате косоугольного погружения слэба, так как направление, скорость и угол погружения Тихоокеанской плиты отличаются для разных сегментов КОД [Авдейко и др., 2006].

Разломы третьего порядка среди выделенных групп являются наименее протяженными и глубокими. Это структуры, связанные прежде всего с центрами современного и палеовулканизма (Рисунок 1). На продешифрированных КС они соответствуют линеаментам второго ранга или линейно распределенным линеаментам третьего ранга. Вследствие малого масштаба 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, 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 вулcano-тектонических структур зачастую отмечаются кальдеры. Радиальные структуры данной группы имеют сложную кинематику и разнообразное простираение, которое, как правило, связано со структурным планом цоколя. Кроме того, разломы третьего порядка являются подводящими 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).

2) Тектоно-магматическая эволюция островов Кунашир и Итуруп происходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с растяжением в задуговом бассейне, активным интрузивным магматизмом и с субаквальным вулканизмом центрального типа (N_1-N_2); 2) ослабление режима растяжения в задуговом бассейне с вулканизмом трещинного типа (N_2-Q_1); 3) проявление субаэрального вулканизма центрального типа в пределах Большой Курильской гряды с затуханием магматизма в задуговом бассейне в условиях сжатия (Q_1-Q_n);

Ключевую роль при исследовании магматической эволюции южной группы островов Большой Курильской гряды сыграли данные полевых наблюдений и результаты петрографических и геохимических исследований образцов горных пород, отобранных в ходе полевых работ (Рисунок 2). Они позволили уточнить петрографический состав пород, принадлежность субвулканических тел к различным геологическим подразделениям и формациям. 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].

Интерпретация результатов петро- и геохимического анализа и оптико-микроскопические исследования горных пород показали, что на сравнительно небольшой по площади островной суше

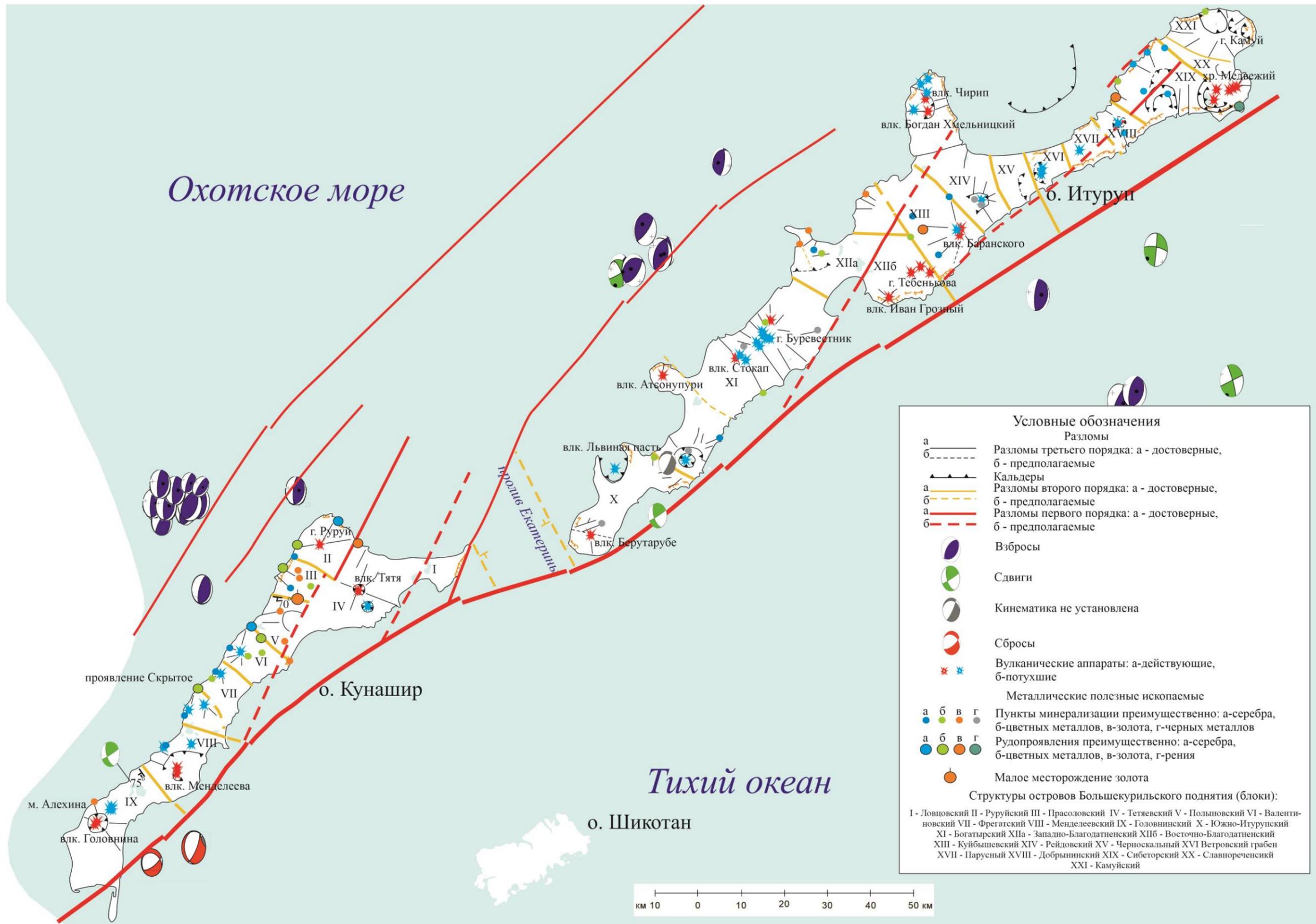


Рисунок 1 – Упрощенная и генерализованная схема разрывных нарушений островов Итуруп и Кунашир и части прилегающей акватории с объектами размещения металлических полезных ископаемых

геологические подразделения, слагающие острова, отличаются пестротой химического и петрографического составов. Отмечается продольная геохимическая зональность вулканизма в пределах Южных Курил, изученная ранее только для о. Кунашир [Мартынов и др., 2011, 2015 и др.] и выраженная в росте содержания различных некогерентных элементов (K, Rb, Ba и др.) от фронта островной дуги к тыловой зоне с возрастанием отношения легких РЗЭ к тяжелым РЗЭ (Рисунок 2, Рисунок 4). Кроме того, стоит отметить, что в среднем значения содержаний редких и редкоземельных элементов на о. Итуруп выше, чем на о. Кунашир. В этом проявляется слабая поперечная геохимическая зональность в пределах южного звена Курильской островной дуги.

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 тектоно-магматической эволюции Южных Курил, смена которых обусловлена прежде всего процессами, протекающими в задуговом бассейне. Внутри каждого этапа можно выделить также стадии магматизма/вулканизма, опираясь на результаты изучения петрографических и геохимических характеристик геологических подразделений (Таблица 1).

Первый этап соответствует установлению стационарного режима субдукции, началу активного вулканизма и формированию Большой Курильской гряды, так как возраст наиболее древнего картируемого подразделения (рыбаковского андезитового комплекса) относится к олигоцену (?) – раннему миоцену (по данным автора – 20,7 млн. лет). Предполагается [Мартынов, 2011, Varanov et al., 2002], что данный процесс ассоциирует с рифтогенезом в Курильской котловине и с подъемом астеносферной мантии в ее пределах (Рисунок 3), что приводило к повышению температуры слэба и надсубдукционной мантии и выплавке тыловодужных магм со специфическими геохимическими характеристиками (Рисунок 4). Это нашло отражение в продуктах вулканизма того времени, *первая стадия* которого привела к формированию вулканогенно-осадочных,

вулканокластических, реже вулканических пород рыбаковской свиты. Кроме того, данная стадия сопровождалась активным магматизмом, преимущественно среднего и кислого составов (рыбаковский андезитовый вулканический и прасоловский плагиогранит-диоритовый плутонический комплексы), спровоцированным, вероятно, процессами рифтогенеза, происходящими в Курильской котловине.

Рифтогенез в тыловодужном бассейне также привел к заложению серии сбросов в акватории Охотского моря северо-западнее территории исследования. Однако анализ фокальных механизмов очагов современных мелкофокусных землетрясений и ряд других признаков [Baranov et al., 2002] отображает обстановку сжатия в пределах задугового бассейна на текущий момент времени (Рисунок 1), что может говорить о смене тектонического режима после формирования продольных разломов.

Присутствие в верхней части разреза отложений рыбаковской свиты обломков псаммитовой, реже псефитовой размерностей (в разрезах по некоторым скважинам) говорит о том, что на границе миоцена и плиоцена некоторые структурные блоки островной суши (отмечены римскими цифрами на Рисунке 1) испытали локальный подъем, который происходил по разломам второго порядка [Крикун и др., 2023]. Это свидетельствует о существовании данных структур уже в конце раннего неогена.

В плиоцене произошла смена преобладающего состава вулканизма на более кислый, что привело к формированию пород камуйского дацитового комплекса и позволяет выделить *вторую стадию* вулканизма, которая продолжалась до позднего плиоцена. Вулканизм сопровождался магматизмом и образованием субвулканических тел камуйского дацитового комплекса, размещение которых контролируется разломами второго порядка.

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

Первый этап (N₁-N₂). Становление стационарного режима субдукции, формирование задугового бассейна Курильской котловины и его последующее растяжение (Au, Ag, Cu, Zn, Pb)	
<i>Первая стадия:</i> ранний миоцен (?) – ранний плиоцен (20 млн. лет ~ 5 млн. лет). Субаквальный вулканизм центрального типа, активный интрузивный магматизм	Рыбаковский андезитовый вулканический комплекс (N _{1-2rb})
	Прасоловский плагиогранит-диоритовый комплекс (N _{1-2pr})
<i>Вторая стадия:</i> ранний плиоцен – поздний плиоцен (5 млн. лет ~ 3 млн. лет)	Камуйский дацитовый вулканический комплекс (N _{2km})
Второй этап (N₂-Q₁). Ослабление режима растяжения в задуговом бассейне (Fe-Ti, Cu)	
<i>Третья стадия:</i> поздний плиоцен – ранний плейстоцен (гелазский ярус) (3 млн. лет ~ 2 млн. лет). Трещинный вулканизм переходного типа	Фрегатский андезибазальтовый вулканический комплекс (N ₂ -Q _{1fr})
Третий этап (Q₁-Q_n). Установление режима сжатия в задуговом бассейне	
<i>Четвертая стадия:</i> ранний плейстоцен – средний плейстоцен (2 млн. лет – 700 тыс. лет). Субаэральный вулканизм центрального типа кислого состава и затухание магматизма (Fe-Ti)	Головинский дацитовый вулканический комплекс (Q _{е-пгl})
<i>Пятая стадия:</i> средний плейстоцен – голоцен (700 тыс. лет – наст время). Вулканизм преимущественно основного состава с эксплозивными кислыми извержениями 50-20 тыс. лет (Re, Fe-Ti, Au, Ag)	Богатырский андезибазальтовый вулканический комплекс (Q _{n-нbg})
	Роковский дацитовый вулканический комплекс (Q _{шrk})

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

Второй этап является переходным, он связан со сменой режима развития задугового бассейна и ослаблением сжатия, которая протекала в позднем плиоцене (около 3 млн. лет назад) (Рисунок 4). В это время отмечается подъем Южных Курил до уровня моря и проявление *третьей стадии* нетипичного для островных дуг вулканизма с трещинным характером излияний. Продуктами такого вулканизма являются платобазальты фрегатского андезибазальтового комплекса, датировки абсолютного возраста которых позволили выделить временные границы этапа. Низкое содержание щелочных компонентов, некогерентных элементов в породах фрегатского комплекса и полное отсутствие кислых образований, в отличие от других этапов, показывают резкую смену условий геодинамического режима, которая может быть вызвана в первую очередь изменением параметров субдукции Тихоокеанской плиты.

На **текущем третьем этапе** развития Большой Курильской гряды отмечается сжатие задугового бассейна (Рисунок 4), которое сопровождается снижением магматической активности в нем. 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 взрывному вулканизму центрального типа, который продолжался вплоть до среднего плейстоцена (~ 700 тыс. лет) и привел к формированию пород головнинского дацитового комплекса. Судя по ограниченному распространению субвулканических тел данного геологического подразделения, можно также предположить постепенное затухание магматической активности и на островной суше. 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) фиксируются взрывные извержения кислого вулканизма. Породы, сформировавшиеся в это время, выделены в

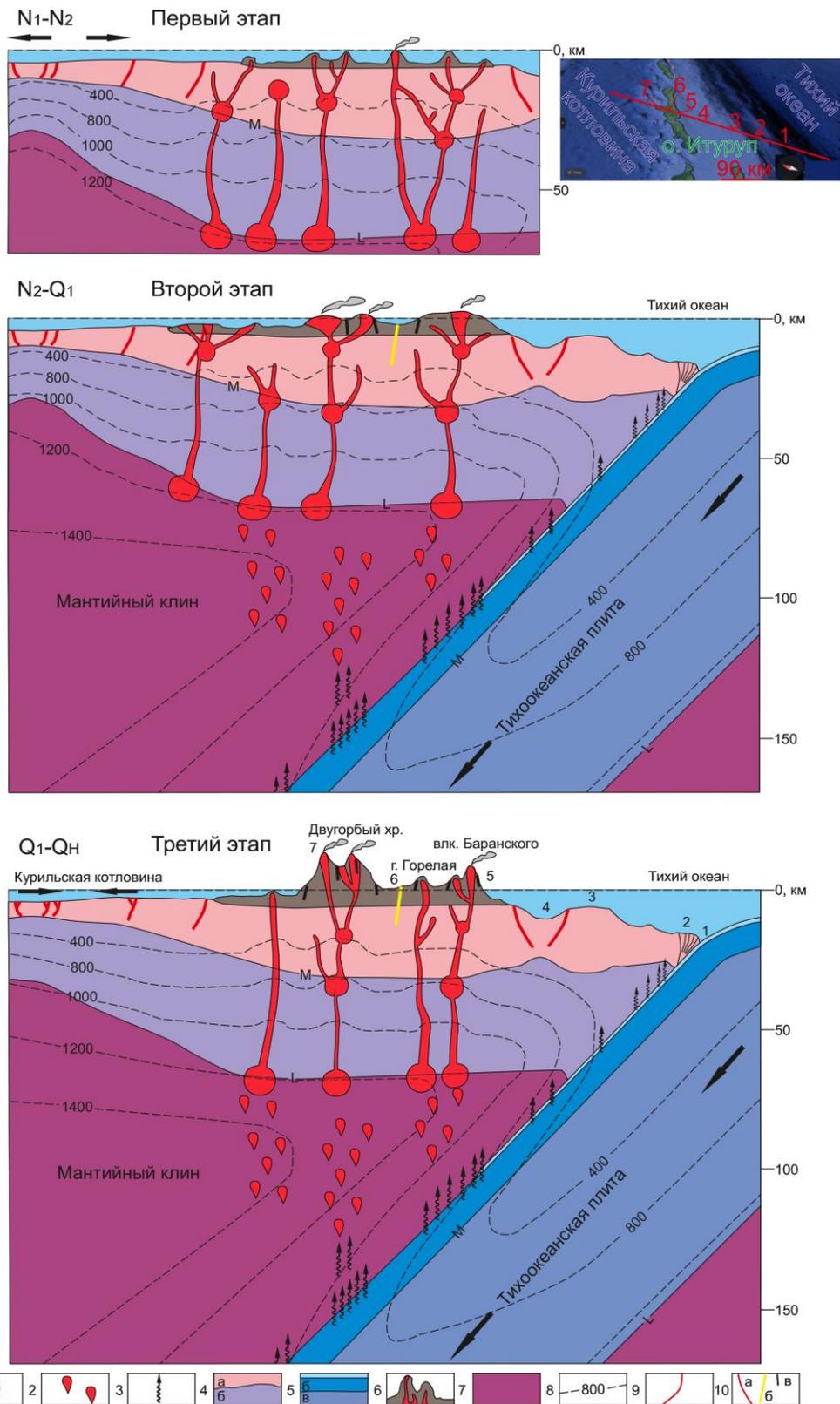


Рисунок 3 – Условия вулканизма и магматизма на примере центральной части о. Итуруп в ходе его тектоно-магматической эволюции: параметры субдукции по [Авдейко и др., 2002]; температурный режим по [Добрецов и др., 2010]; строение зоны сочленения дуга-желоб по [Ломтев и др., 2012]; данные о строении земной коры по [Павленкова и др., 2018]. На схеме: 1 – глубоководный желоб; 2 – аккреционная призма; 3 – внешняя дуга (хр. Витязь); 4 – Среднекурильский прогиб; 5 – фронтальная вулканическая зона; 6 – промежуточная вулканическая зона; 7 – тыловодужная вулканическая зона. 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 – океаническая а - пелагический осадочный слой, б - кора, в - литосферная мантия; 6 – вулканы; 7 – астеносфера; 8 – изотермы, °С; 9 – разломы; 10 – разломы а – первого порядка, б – второго порядка, в – третьего порядка

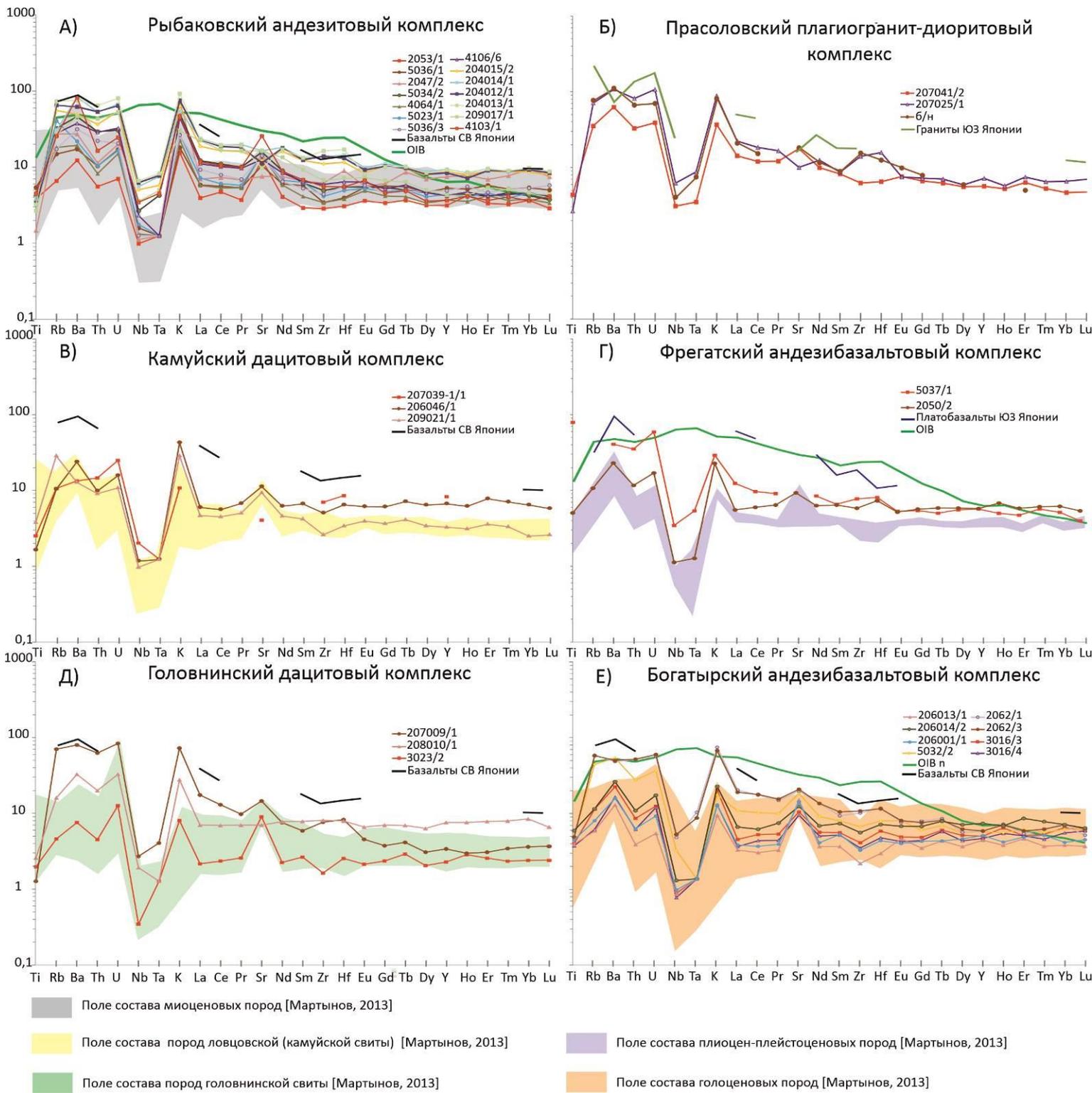


Рисунок 4 – Мультиэлементные диаграммы, нормированные на примитивную мантию, для вулканических и плутонических пород различных геологических подразделений Южных Курил: А-рыбаковский андезитовый комплекс, Б-прасоловский плагиогранит-диоритовый комплекс, В-камуйский дацитовый комплекс, Г-фрегатский андезибазальтовый комплекс, Д-головнинский дацитовый комплекс, Е-богатырский андезибазальтовый комплекс. Содержания элементов в примитивной мантии по [Sun, McDonough, 1989], в базальтах и платобазальтах Японии по [Мартынов, 1999], в гранитах Японии по [Kutsukake, 2002]

отдельное геологическое подразделение и отнесены к роковскому дацитовому вулканическому комплексу.

3) Основные проявления золото-серебряных руд на территории островов Кунашир и Итуруп сформировались на первом этапе тектоно-магматической эволюции, приурочены к контактам интрузивных тел прасоловского, рыбаковского комплексов и субвулканических тел камуйского комплекса, размещение которых контролируется разломами первого и второго порядков соответственно.

В настоящее время на территории островов Кунашир и Итуруп среди металлических полезных ископаемых установлены месторождения и проявления золота, меди, цинка, редких металлов (рений), а также черных металлов в виде ильменит-магнетитовых россыпей. Полученная связь между тектоническими и магматическими процессами, протекающими в пределах Южных Курил, использовалась для исследования закономерностей размещения золото-серебряного оруденения в связи с выделенными этапами тектоно-магматической эволюции островов, в том числе на основании собственных полевых материалов и интерпретации и обобщения ретроспективных данных, фондовых и опубликованных. В результате была подготовлена схема размещения полезных ископаемых на островах Кунашир и Итуруп.

Вулканические и интрузивные образования, слагающие Южные Курилы, являются рудоматеринскими [Ковтунович и др., 2002] 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. В связи с этим **магматический фактор** определен в качестве важнейшего рудоконтролирующего на территории островов Кунашир и Итуруп. Минерагеническая специализация (Таблица 1) магматических комплексов установлена по данным ГГК-200/2, а также согласно результатам лабораторного анализа, полученным автором в ходе исследования геохимической специализации выделенных комплексов (Глава 4 диссертации). Более того, оцененный К-Ag методом абсолютный возраст гидротермально-метасоматических образований, вмещающих наиболее перспективную золотую минерализацию

в пределах Южных Курил на Прасоловском месторождении (Рисунок 5), составляет от $1,94 \pm 0,1$ до 5 ± 1 млн. лет (при возрасте вмещающих пород 10-14 млн. лет), 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.

Значимую роль в размещении полезных ископаемых также играет **тектонический фактор**. На Рисунке 5 представлена уточненная автором схема размещения минерализации двух золоторудных районов: Северо-Итурупского – прогнозируемого и Северо-Кунаширского – установленного, представляющих наибольший интерес. На схему также вынесены выделенные в главе 3 разрывные нарушения и субвулканические и интрузивные образования, отмеченные в ГГК-200/2.

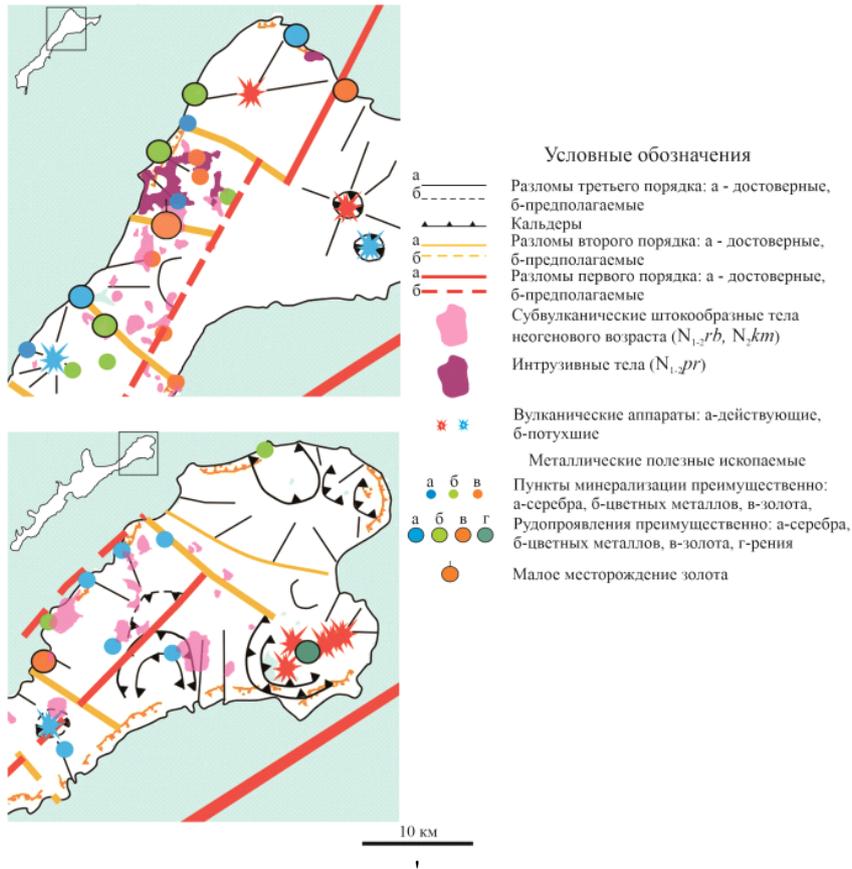


Рисунок 5. Схемы размещения полезных ископаемых наиболее перспективных на золото-серебряную, медно-полиметаллическую и редкометалльную минерализацию участков островов Кунашир (вверху) и Итуруп (внизу)

Как было отмечено ранее, ключевая роль при распределении интрузивных тел прасоловского комплекса принадлежит разломам первого порядка (продольным). На Рисунке 5 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 минерализации. 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. 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° - 320°), поперечное островам, простирание, что также совпадает с ориентировкой разломов второго порядка (Рисунок 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, подвергается сомнению.

Важна роль в распределении полезных ископаемых и разломов третьего порядка. С радиальными разломами на периферийных участках неогеновых ВТС связана медно-полиметаллическая минерализация. На месторождениях серы, ассоциирующих с четвертичными ВТС, также отмечаются повышенные содержания редких и благородных металлов (Рисунок 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – реконструкции тектоно-магматической эволюции южной группы островов Большой Курильской гряды.

В результате проведенных исследований разработана интегральная методика изучения разрывной тектоники региона, позволяющая уточнить структурно-геологические особенности строения территории исследований и установить 3 этапа тектоно-магматической эволюции Южных Курил, среди которых по особенностями

магматизма/вулканизма выделяется 5 стадий. Важно отметить, что окончание каждого из этапов, за исключением второго, характеризуется преобладанием продуктов кислого вулканизма (Таблица 1), что можно связать с эволюцией магматических очагов и сменой геодинамического режима с началом каждого этапа.

Оруденение сопровождало формирование вулкано-плутонических образований в ходе каждой стадии на последних постмагматических фазах, особенно при формировании пород повышенной кислотности. Однако основные проявления полезных ископаемых, в том числе медных, свинцово-цинковых и золото-серебряных руд, сформировались на первом этапе эволюции в конце неогена и приурочены к разрывным нарушениям первого и второго порядков.

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; формационную принадлежность богатырского комплекса; химический состав геологических подразделений, включая редкие и редкоземельные элементы. Эти данные будут включены в третье издание Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (листы L-55,56 с клапаном К-55-II (III)) и могут быть использованы для дальнейших исследований. Выявленные закономерности размещения полезных ископаемых, выделенные рудоконтролирующие факторы (тектонический, магматический, геоморфологический и др.) будут учтены при прогнозе новых объектов.

Знания о 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 определяющих факторов выделить особенности параметров субдукции и процессы, протекающие в задуговом бассейне. Однако причина таких глобальных тектонических перестроек остается вопросом дискуссионным и требует дальнейшего изучения. Исследования в данном направлении могут объяснить причины возникновения трещинного вулканизма в островодужных системах,

формирования таких уникальных объектов, как проявление рения на вулкане Кудрявом и других.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

- 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](https://doi.org/10.2205/2024ES000915)
- 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. 2023. — №. 3. — С. 1-16. — DOI: [10.2205/2024ES000905](https://doi.org/10.2205/2024ES000905)
- 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.
- 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

Публикации в прочих изданиях:

- **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.
- **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.

- **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 конференции 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.

- **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.

Свидетельство:

- 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