

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 – 2022

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

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, доцент

Таловина Ирина Владимировна

Официальные оппоненты:

Супруненко Олег Иванович

доктор геолого-минералогических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», отдел мониторинга недропользования и геологоразведочных работ на нефть и газ, научный консультант;

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 **1 декабря 2022 г. в 14:00** на заседании диссертационного совета ГУ 2022.12 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 3321.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 30 сентября 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ДУРЯГИНА
Асия Минякупова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Курило-Камчатская зона субдукции является единственной активной в пределах Российской Федерации. Однако, в отечественной научной литературе по-прежнему мало работ, рассматривающих строение и геологическую историю Курильской островной дуги с позиции тектоники литосферных плит.

Комплексное исследование дизъюнктивных структур и вулканизма способно дать новые представления о взаимосвязи тектонических и магматических процессов. Изучение тектоно-магматической эволюции действующей Курильской островной дуги позволяет расширить понимание физических процессов, происходящих в земной коре субдукционных зон. Эти данные, основываясь на принципе актуализма, могут быть применимы также для исследования этапов эволюции палеодуг.

В то же время, установление закономерностей размещения полезных ископаемых в связи с этапами геологического развития Южных Курил играет определяющую роль при прогнозе полезных ископаемых, что способствует расширению минерально-сырьевой базы региона. Наибольший интерес представляют уникальное проявление рения на вулкане Кудрявый, ряд объектов, несущих золото-серебряную минерализацию, в т.ч. Прасоловское месторождение, а также месторождения серы, ильменит-магнетитовые россыпи и другие.

Удаленность и труднодоступность территории Курильских островов делает чрезвычайно актуальным применение в работе разработанного автором комплексного подхода, основанного на использовании дистанционных методов.

Степень разработанности темы исследования

Исследование Курильских островов отечественными специалистами началось лишь с середины XX века. За этот период времени был опубликован ряд монографий, посвященных особенностям вулканизма и тектонического строения региона. Данным вопросам при построении Государственных геологических карт касались Ю.С. Желубовский, В.Е. Бевз, П.Ю. Ковтунович. Нельзя не упомянуть К.Ф. Сергеева, в монографиях которого

объединены представления о строении островных систем Тихого океана Г.М. Власова, Ю.А. Косыгина и Л.И. Красного. Особенности эволюции и вулканизма Курильских островов отражены в работах Г.С. Горшкова, Б.Н. Пискунова, В.М. Дуничева, А.В. Рыбина, Ю.А. Мартынова. В последние годы исследованием геодинамических обстановок и глубинного строения региона занимались Г.П. Авдейко, Т.К. Злобин, Н.Л. Добрецов.

Однако, исследователи постоянно пересматривают географическое распределение дислокаций, их кинематику, возраст и генезис, что важно 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 вулканизма на территории островов, природа продольной и поперечной геохимических зональностей Южного звена Большой Курильской гряды (БКГ).

Цель работы – реконструкция тектоно-магматической эволюции южной группы островов Большой Курильской гряды на примере островов Итуруп и Кунашир и установление закономерностей размещения металлических полезных ископаемых в связи с этапами геологического развития Южных Курил.

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

1. Разработать методику интегрального анализа дизъюнктивной тектоники региона с использованием геолого-геофизических данных и материалов дистанционного зондирования;
2. Изучить структурно-геологические особенности строения Южных Курил на основе анализа дизъюнктивной тектоники островов;
3. Изучить вулканические и магматические образования южных Курил, определить этапы эволюции и стадии вулканизма/магматизма региона;
4. Установить закономерности размещения металлических полезных ископаемых в связи с этапами геологического развития Южных Курил.

Научная новизна работы:

1. Исследована взаимосвязь между тектоническими и вулканическими процессами, протекающими в ходе геологической эволюции региона. так, например, причиной формирования радиальных и кольцевых структур стал неоген-четвертичный вулканизм;
2. Уточнены положение и кинематика разрывных нарушений, установлен ряд ранее не выявленных структур в центральной части о. Кунашир и северной части о. Итуруп;
3. Разработана классификация разрывных нарушений, основываясь на их масштаб, время и причины формирования. Полученные данные позволяют уточнить историю геологического развития островов;
4. Предложена модель тектоно-магматической эволюции региона, в которой обоснованы основные этапы и уточнены их возрастные диапазоны.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Результаты исследования, позволившие уточнить геологическое строение территории, включены в третье издание Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (лист L-55) и будут учтены при последующем геологическом картировании региона.
2. Разработанная методика интегрального анализа дизъюнктивной тектоники зон развития альпийского тектогенеза с использованием многоэтапного дешифрирования материалов дистанционного зондирования, геофизических данных и полевых наблюдений может быть использована для уточнения геологического строения других островов Большой Курильской гряды, Алеутской и Японской островных дуг.
3. Выявленные закономерности размещения металлических полезных веществ способствуют прогнозу новых объектов на территории региона.
4. Установленная роль несубдукционных факторов в истории геологического развития Большой Курильской гряды позволяет предложить новую концепцию эволюции островодужных систем.

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 материалы 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 поисково-оценочным и разведочным работам. Для исследования особенностей вулканизма использовались результаты химических анализов образцов горных пород, выполненных в ЦЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (85 проб для РСФА и 33 пробы для ICP-MS), а также собственные описания шлифов (85 шт.).

При проведении исследований автором была разработана методика интегрального анализа дизъюнктивной тектоники сейсмически активных зон с использованием фонда различной геолого-геофизической информации, в т.ч. многоэтапного дешифрирования материалов дистанционного зондирования, интерпретации геофизических данных, результатов собственных полевых наблюдений и накопленных геологических материалов.

Применялись также лабораторно-аналитические методы изучения вещественного состава с целью выявления геодинамических обстановок и этапов магматической эволюции региона.

На защиту выносятся следующие положения:

1. На южных островах Большой Курильской гряды выделено три системы разрывных нарушений: 1) продольные глубинные разломы первого порядка сдвига-сбросовой кинематики, связанные с заложением зоны субдукции (N_1 ?); 2) поперечные крутопадающие разломы второго порядка преимущественно сбросовой кинематики, обусловившие клавишное строение островов (N_2); 3) разнонаправленные, преимущественно радиально-кольцевые разломы третьего порядка, приуроченные к центрам развития современного и палеовулканизма (N-Q).

2. Тектоно-магматическая эволюция островов южного звена Большой Курильской гряды происходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с субаквальным

вулканизмом центрального типа и активным интрузивным магматизмом (N_1-N_2); 2) смена режима растяжения на сжатие в задуговом бассейне с вулканизмом трещинного типа (N_2-Q_1); 3) установление режима сжатия в задуговом бассейне с переходом к субаэральному вулканизму центрального типа и затуханием магматизма (Q_1-Q_n).

3. Основные проявления металлических полезных ископаемых Большой Курильской гряды сформировались на первом этапе эволюции, приурочены к зонам пересечения разломов второго и третьего порядков и связаны с субвулканическими и интрузивными телами позднеэоценового возраста, распределение которых контролируется вышеупомянутыми дислокациями.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена применением современных технологий обработки и интерпретации данных; использованием разнотипных данных для верификации результатов линеаментного анализа; 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 2019-2022 гг. Результаты исследования доложены и получили положительную оценку на 3-х международных и 1 российской конференциях.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; в предметном анализе исследований геологического строения Южных Курил и разработке интегральной методики изучения разрывных нарушений региона. Выполнено построение схемы латерального распределения дизъюнктивных структур территории, установлены геодинамические условия формирования магматических образований, проведено сопоставление между этапами вулканизма/магматизма, положением

разрывных нарушений и размещением проявлений металлических полезных ископаемых, проведены петрографические исследования и интерпретация результатов лабораторных исследований, построена модель геологического развития региона.

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 6 печатных работах, в том числе в 1 статье – в издании 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, шести глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и библиографического списка. Содержит 148 страниц машинописного текста, 47 рисунков, 6 таблиц, список литературы из 148 наименований и 4 приложения на 22 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 выполненного исследования. Автор благодарит к.г.-м.н. Юрченко Ю.Ю., зав. отделом РГ и ПИ ДВ ФГБУ «ВСЕГЕИ», за ценные советы, 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 д.г.-м.н. Егорову А.С., 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 благодарит сотрудников отдела РГ и ПИ ФГБУ «ВСЕГЕИ», в особенности Соловьеву И.Н., Белякову А.А., Волченкову Т.Б., за совместную работу. Автор признателен Институту Минералогии Фрайбергской Горной Академии (Германия) и его директору профессору 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, выданного 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 вулканизма 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 данных. **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 детальный анализ химического и петрографического составов горных пород. В итоге выделены этапы и причины тектоно-магматической эволюции территории и обоснованы стадии вулканизма/магматизма. **Пятая глава** посвящена исследованию закономерностей распределения металлических полезных ископаемых в регионе. В главе проведен анализ фондовых и опубликованных материалов по теме, описаны виды металлических полезных ископаемых, их связь с особенностями структурно-геологического строения и магматизмом. В конце главы сформулированы выводы, определены важнейшие рудоконтролирующие факторы и этапы рудогенеза. **В шестой главе** приводится детальная реконструкция тектоно-магматической эволюции Южных Курил и этапов рудообразования с подробным описанием каждого этапа и моделированием геодинамических условий вулканизма/магматизма территории в ходе ее эволюции.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1) На южных островах Большой Курильской гряды выделено три системы разрывных нарушений: 1) продольные глубинные разломы первого порядка сдвига-сбросовой кинематики, связанные с заложением зоны субдукции ($N_1?$); 2) поперечные крутопадающие разломы второго порядка преимущественно сбросовой кинематики, обусловившие клавишное строение островов (N_2); 3) разнонаправленные, преимущественно радиально-кольцевые разломы третьего порядка, приуроченные к центрам развития современного и палеовулканизма (N-Q).

Для анализа дизъюнктивной тектоники региона была специально разработана методика, включающая в себя использование комплекса разнотипной систематизированной и подготовленной геолого-геофизической информации. Первым этапом работы являлось выполнение линеamentного анализа (визуального и автоматизированного) исходных карт аномальных геофизических полей, их трансформант и материалов дистанционного зондирования. Для редуцирования огромного числа выявленных линеamentов, они были проранжированы, опираясь на их длину и контрастность проявления.

Основываясь на полученных схемах линеamentных сетей, с применением различных информационных слоев (полевых наблюдений собственных и предшественников, данных о распределении очагов землетрясений, существующих тектонических схем и геологических карт, подготовленных автором схем корреляции разрезов по скважинам и цифровых моделей рельефа), были построены карты разрывных нарушений о-вов Итуруп и Кунашир. Для того, чтобы оценить рудоконтролирующую роль выявленных структур, на карты были вынесены объекты размещения металлических полезных ископаемых. Объединенный и упрощенный вариант представлен на Рисунке 1. Информация о разрывной тектонике прибрежной акватории взята из существующих геологических карт.

В ходе построений, опираясь на элементы залегания, морфологию, время заложения и масштаб структур, было выявлено 3 системы разрывных нарушений: первого порядка (преимущественно продольные относительно простирания островной дуги), второго порядка (преимущественно поперечные ей) и третьего порядка (разнонаправленные).

Разломы первого порядка являются наиболее глубинными и 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. Вследствие того, что разломы первого порядка зачастую погребены под поздненеоген-четвертичными отложениями, в ходе полевых работ они могут быть отмечены только по косвенным признакам. Опираясь на северо-восточное (продольное Большой Курильской гряде) простирание и морфологию, идентичную крупным региональным разломам (Восточному и Западному сбросам, рифтогенным структурам в Курильской котловине), формирование разрывных нарушений первого порядка можно связать с заложением зоны субдукции и образованием Курильской котловины, которое, как предполагается, произошло в раннем миоцене [Мартынов и др., 2017]. Разломы первого порядка контролируют распределение интрузивных образований прасоловского комплекса, имеющих, по разным оценкам, палеоцен [De Grave et al., 2017] - миоценовый возраст. Для разрывных нарушений первого порядка характерна сложная сбросовая, реже сдвига-сбросовая (пролив Екатерины и южная оконечность о. Итуруп) кинематика, которая устанавливается по фокальным механизмам очагов землетрясений и по морфологии Центрально-Кунаширского сброса.

Разломы второго порядка - это структуры, длина которых превышает 5-6 км, ярко выраженные на КС по наличию линеаментов 1 ранга или по линейному распределению линеаментов более низких 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 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, что позволяет предположить их достаточно глубинное заложение и неогеновое время формирования. Такого рода глубинные долгоживущие разломы являются подводящими каналами для металлоносных растворов, формирующих рудную минерализацию. Достоверно можно утверждать, что разрывные нарушения данной группы моложе разломов первого порядка, так как смещают их на некоторых участках (Рисунок 1). Разломы второго порядка имеют преимущественно поперечное, т.е. северо-западное, простирание и крутые углы падения (до 80°), измеренные в том числе в ходе полевых работ, при этом характеризуются сбросовой, сдвига-сбросовой, реже взбросовой кинематикой. Амплитуду некоторых сбросов в центральной части о. Итуруп можно приблизительно оценить по схемам корреляции разрезов по скважинам, она составляет первые сотни метров. 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 проявленностью в рельефе.

Разломы третьего порядка среди выделенных групп являются наименее протяженными. Это структуры, связанные прежде всего с центрами современного и палеовулканизма. На продешифрированных КС они соответствуют линеаментам второго ранга или линейно распределенным линеаментам третьего ранга. Вследствие малого масштаба не фиксируются на картах аномальных полей, однако современные вулканические постройки соответствуют положительным значениям на картах аномального магнитного поля. Разломы третьего порядка надежно фиксируются в ходе полевых работ, но отличаются от главных 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. Разрывные нарушения третьего порядка имеют кольцевую и линейную морфологию. Выделяются серии радиально-кольцевых разломов у построек одиночных вулканов. Среди кольцевых форм преобладают кальдеры. Линейные структуры данной группы имеют сложную кинематику и разнообразное, порой невыдержанное простирание. Кроме того, разломы третьего порядка являются подводными каналами для циркуляции растворов, разгрузка которых происходит в виде термальных источников и парогидротерм.

2) Тектоно-магматическая эволюция островов южного звена Большой Курильской гряды происходила в три этапа: 1) становление стационарного режима субдукции с субаквальным вулканизмом центрального типа и активным интрузивным магматизмом (N_1-N_2); 2) смена режима растяжения на сжатие в задуговом бассейне и вулканизм трещинного типа (N_2-Q_1); 3) установление режима сжатия в задуговом бассейне с переходом к субаэральному вулканизму центрального типа и затуханием магматизма (Q_1-Q_n).

Большую роль при исследовании магматической эволюции территории 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 тем или иным геологическим подразделениям, их геологические границы. По отобранным автором образцам получены принципиально новые данные об абсолютном возрасте субвулканических образований, позволяющие уточнить историю геологического развития региона.

Интерпретация результатов петро- и геохимического анализа горных пород показала, что на сравнительно небольшой по площади островной суше геологические подразделения, слагающие острова, отличаются пестротой геохимического и петрографического составов. 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 (Рисунок 3).

Обработав полученные результаты, существующие данные о геологическом строении территории, выполненные ЦИИ ФГБУ «ВСЕГЕИ» датировки U-Pb (SHRIMP II) методом абсолютного возраста отобранных пород, разрезы по скважинам, пробуренным 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 вулканизма/магматизма, опираясь на результаты изучения петрографических и геохимических характеристик геологических подразделений (Таблица 1).

Первый этап соответствует началу активного вулканизма и формированию Большой Курильской гряды, так как возраст наиболее древнего картируемого подразделения (рыбаковского комплекса) относится к раннему миоцену (по нашим оценкам - 20,7 млн. лет), что совпадает с началом рифтогенеза в Курильской котловине [Baganov et al., 2002] и подъемом астеносферной мантии в ее пределах (Рисунок 3). В результате этого происходило повышение температурного фона надсубдукционной мантии и поверхности погружающейся океанической плиты с выплавлением тыловодужных магм со специфическими геохимическими характеристиками (Рисунок 4), что нашло отражение в продуктах вулканизма того времени, *Первая стадия* которого привела к формированию вулканогенно-осадочных и вулканокластических пород рыбаковской свиты. Кроме того, данная стадия сопровождалась активным магматизмом, преимущественно среднего и кислого составов, спровоцированным, вероятно, процессами, происходящими в Курильской котловине. 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 магматизмом и образованием субвулканических тел камуйского комплекса.

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

Стадия	Геологические подразделения
Первый этап (N₁-N₂). Становление стационарного режима субдукции, формирование и последующее растяжение в Курильской котловине	
Первая стадия: ранний миоцен (?) – ранний плиоцен (20 млн. лет ~ 5 млн. лет). Субаквальный вулканизм центрального типа, активный интрузивный магматизм.	Рыбаковский андезитовый вулканический комплекс (N ₁₋₂ rb)
	Прасоловский плагиогранит-диоритовый комплекс (N ₁₋₂ pr)
Вторая стадия: ранний плиоцен – поздний плиоцен (5 млн. лет ~ 3 млн. лет).	Камуйский дацитовый вулканический комплекс (N ₂ km)
Второй этап (N₂-Q₁). Смена режима растяжения на сжатие в задуговом бассейне	
Третья стадия: поздний плиоцен – ранний плейстоцен (гелазский ярус) (3 млн. лет ~ 2 млн. лет). Трецинный вулканизм переходного типа.	Фрегатский андезибазальтовый вулканический комплекс (N ₂ -Q ₁ fr)
Третий этап (Q₁-Q_н). Установление режима сжатия в задуговом бассейне	
Четвертая стадия: ранний плейстоцен – средний плейстоцен (2 млн. лет – 700 тыс. лет). Субаэральный вулканизм центрального типа кислого состава и затухание магматизма.	Головнинский дацитовый вулканический комплекс (Q _{E-пгl})
Пятая стадия: средний плейстоцен – голоцен (700 тыс. лет – наст время). Вулканизм преимущественно основного состава.	Роковский дацитовый вулканический комплекс (Q _{III} rk)
	Богатырский андезибазальтовый вулканический комплекс (Q _{II-н} bg)

Второй этап является переходным, он связан со сменой режима развития задугового бассейна с растяжения на сжатие, которая протекала в позднем плиоцене (около 3 млн. лет назад) (Рисунок 4). 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. Продуктами такого вулканизма являются платобазальты фрегатского комплекса, абсолютный возраст которых и позволил оценить границы этапа.

На **текущем третьем этапе** развития Большой Курильской гряды отмечается сжатие задугового бассейна (Рисунок 4), которое должно привести к полному прекращению магматической активности в нем, снижению температуры надсубдукционной мантии в тыловой зоне островной дуги и, соответственно, к смене физической природы субдукционного компонента. *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, 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 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) преобладал кислый эксплозивный вулканизм. Порода, сформировавшиеся в это время, выделены в отдельное геологическое подразделение и отнесены к роковскому дацитовому вулканическому комплексу.

3) Основные проявления металлических полезных ископаемых, в том числе медных, свинцово-цинковых и золото-серебряных руд, сформировались на первом этапе

эволюции Большой Курильской гряды, приурочены к зонам пересечения разломов второго и третьего порядков северо-западного, реже северо-восточного простираний и связаны с субвулканическими и интрузивными телами позднеогенового возраста, распределение которых контролируется вышеупомянутыми дислокациями.

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 вулканическими процессами, протекающими в пределах Южных Курил, использовалась для исследования закономерностей размещения металлических полезных ископаемых 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.

При корреляции схем разрывных нарушений и размещения полезных ископаемых (Рисунок 1) было установлено, что определяющая роль в локализации оруденения принадлежит разрывным нарушениям преимущественно северо-западного и северо-восточного простираний, контролирующим размещение зон гидротермально-метасоматических образований, с которыми ассоциируют все известные на площади объекты металлических полезных ископаемых (за исключением ильменит-магнетитовых россыпей). Так, например, золото-серебряная и медно-полиметаллическая минерализации пространственно и генетически связаны с позднеогеновыми субвулканическими образованиями камуйского комплекса. Размещение данных образований на территории островов контролируется разломами второго порядка. Таким образом, к данной группе разрывных нарушений прежде всего приурочена минерализация меди, цинка, свинца, серебра и золота. Более того, оцененный K-Ar методом абсолютный возраст гидротермально-метасоматических образований, вмещающих

наиболее перспективную золотую минерализацию в пределах Южных Курил составляет от $1,94 \pm 0,1$ до 5 ± 1 млн. лет (месторождение Прасоловское, о. Кунашир), 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 и связанных с ними гидротермально-метасоматических образований. С более поздним плейстоценовым этапом ассоциирует медная, молибденовая, мышьяковистая минерализация. Действующая вулканическая активность сопровождается интенсивной гидротермальной, фумарольной и сольфатарной деятельностью

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 и установления этапов рудообразования.

В результате проведенных исследований разработана комплексная методика изучения разрывной тектоники региона, позволившая уточнить структурно-геологические особенности строения территории исследований. В ходе исследования установлено 3 этапа тектоно-магматической эволюции Южных Курил, в которых можно выделить подэтапы. Оруденение сопровождало заложение вулканоплутонических ассоциаций в ходе каждого подэтапа на последних постмагматических стадиях, особенно при формировании пород повышенной кислотности.

Подготовленная методика для изучения структурно-геологических особенностей строения может быть распространена на другие острова Большой Курильской гряды. Полученные в ходе исследования результаты позволяют уточнить геологическое строение островов Кунашир и Итуруп: состав, возраст, границы геологических подразделений, разрывную тектонику региона. 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 могут поспособствовать прогнозу новых объектов и расширению минерально-сырьевой базы региона, что, в свою очередь, способно привести к его экономическому росту и развитию.

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. Несубдукционные факторы оказывают большое влияние на структурное строение островных дуг, состав вулканизма и магматизма и даже на их минерагенический потенциал. Дальнейшее развитие исследований островных дуг с учетом этого влияния может объяснить причины формирования таких уникальных объектов, как проявление рения на вулкане Кудрявом. Кроме того, возникает необходимость в рассмотрении несубдукционных факторов при реконструкции эволюций уже сформировавшихся островных дуг.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикация в издании из Перечня ВАК:

1. 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.

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

2. Бейги, С. Оценка неотектонической активности вулканического пояса Уромие-Дохтар (Иран) на основе расчета морфотектонических индексов / С. Бейги, И.В. Таловина, **Н.С. Крикун** // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2021. – № 3. – С. 64–76.

3. 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:

4. **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.

5. **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.

6. **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.

Свидетельство:

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

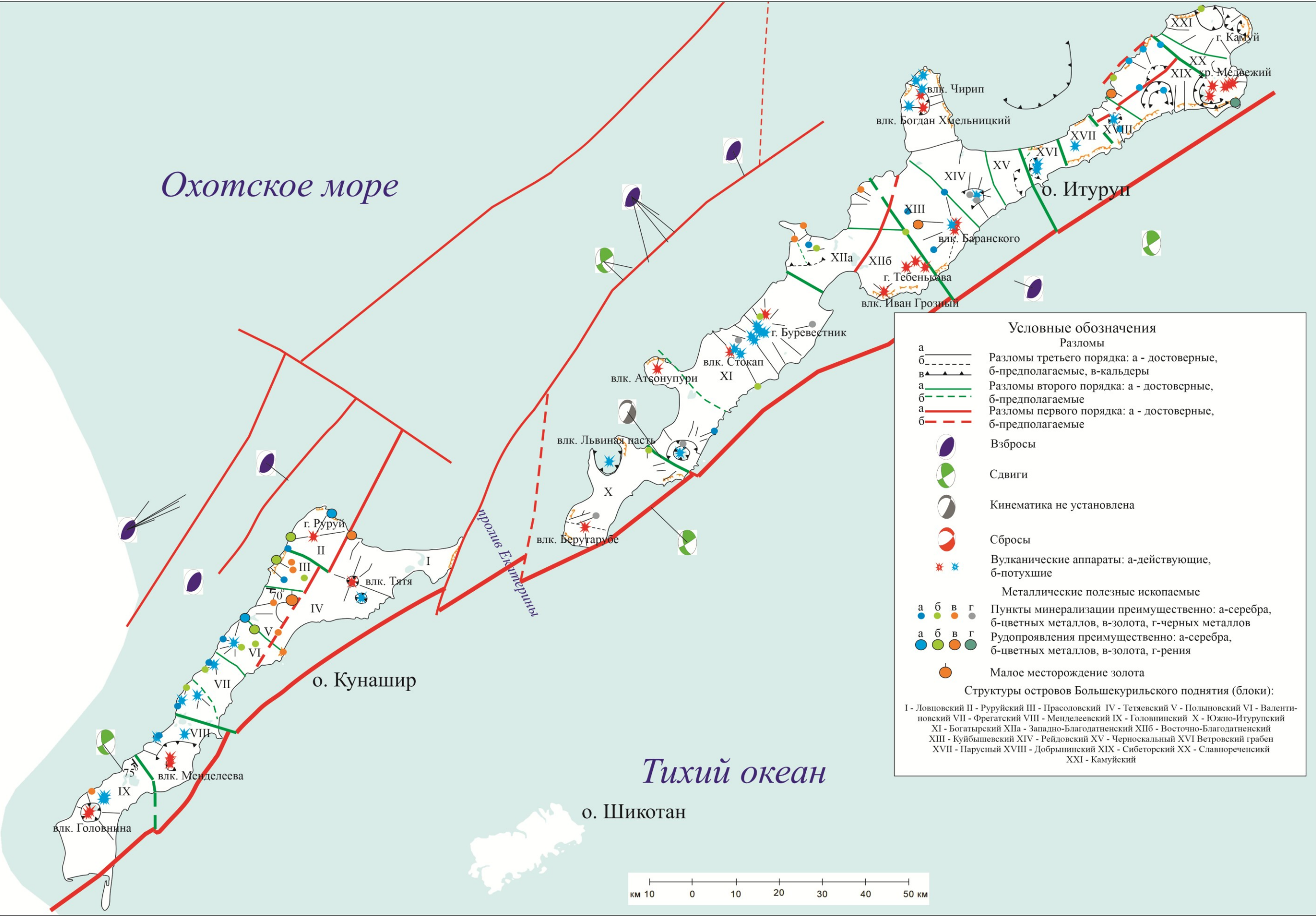


Рисунок 1 – Схемы разрывных нарушений островов Итуруп и Кунашир с объектами размещения металлических полезных ископаемых

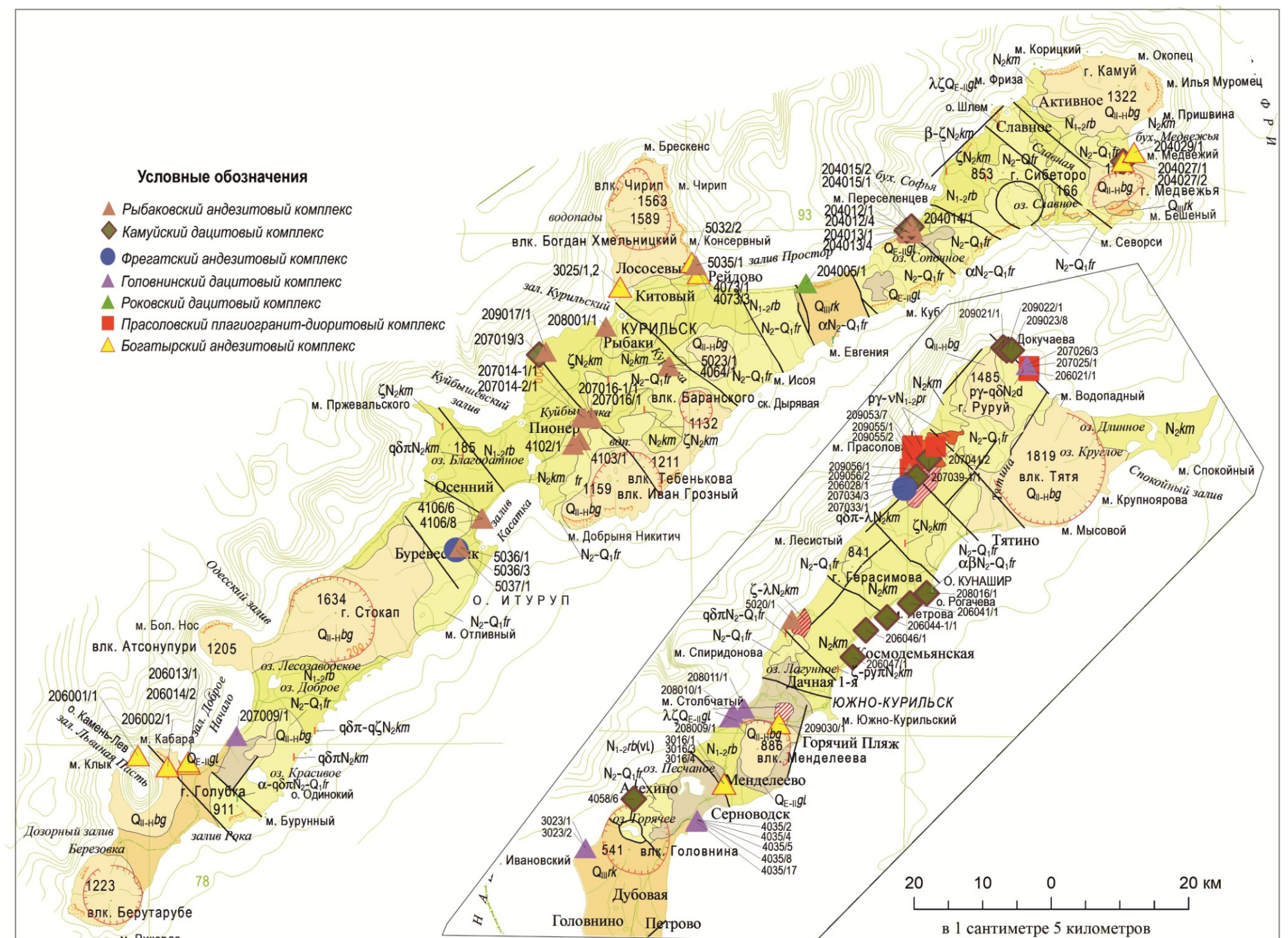


Рисунок 2 – Схема опробования горных о. Итуруп (слева) и о. Кунашир (справа), размещенная на геологической основе

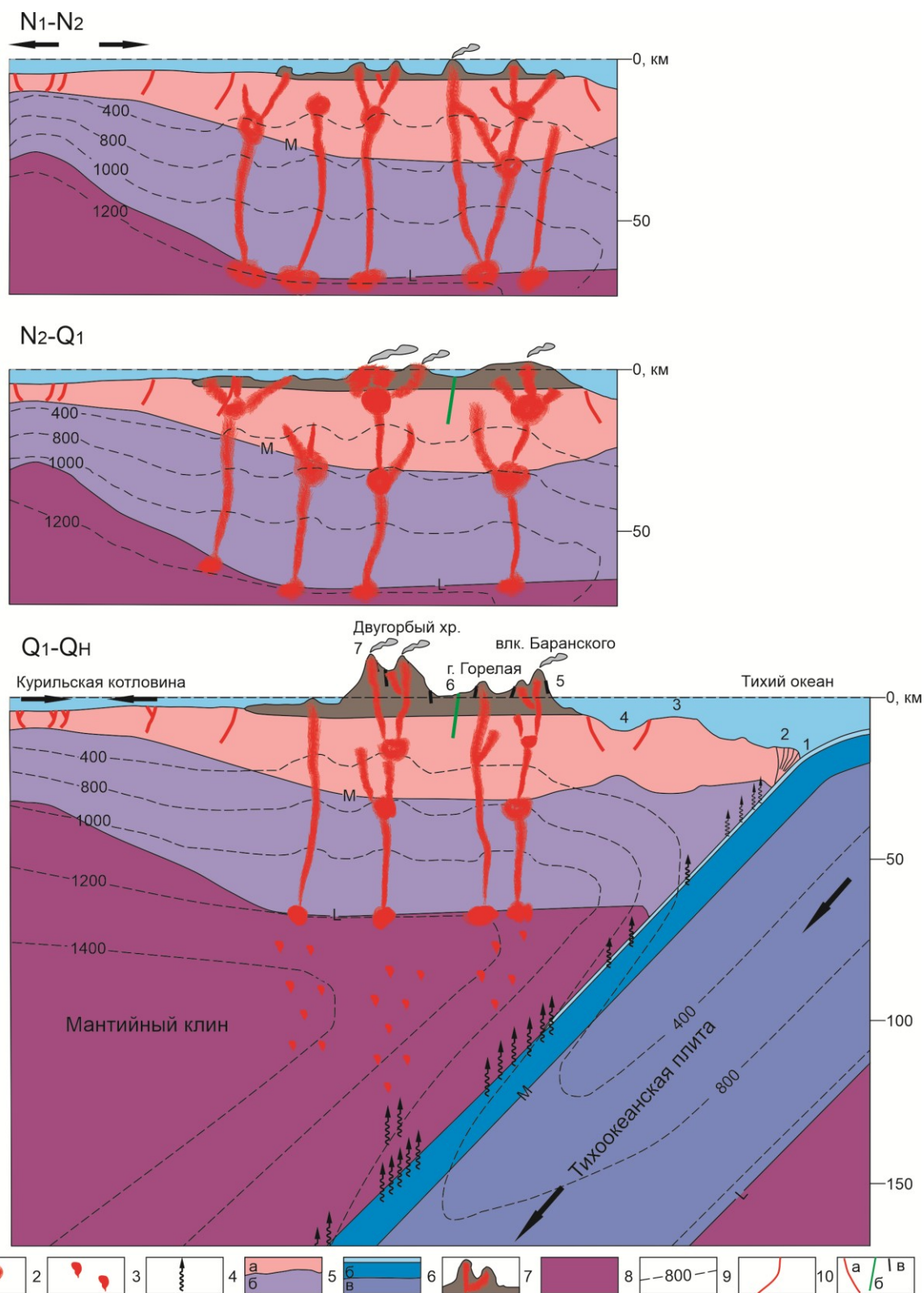


Рисунок 3 – Геодинамические условия вулканизма и магматизма на примере центральной части о. Итуруп. На схеме: 1 – глубоководный желоб; 2 – аккреционная призма; 3 – внешняя дуга (хр. Витязь); 4 – Среднекурильский прогиб; 5 – фронтальная вулканическая зона; 6 – промежуточная вулканическая зона; 7 – тыловодужная 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 – литосфера; 5 – океаническая а – пелагический осадочный слой, б – кора, в – литосфера; 6 – вулканы; 7 – астеносфера; 8 – изотермы, °С; 9 – разломы; 10 – разломы а – первого порядка, б – второго порядка, в – третьего порядка

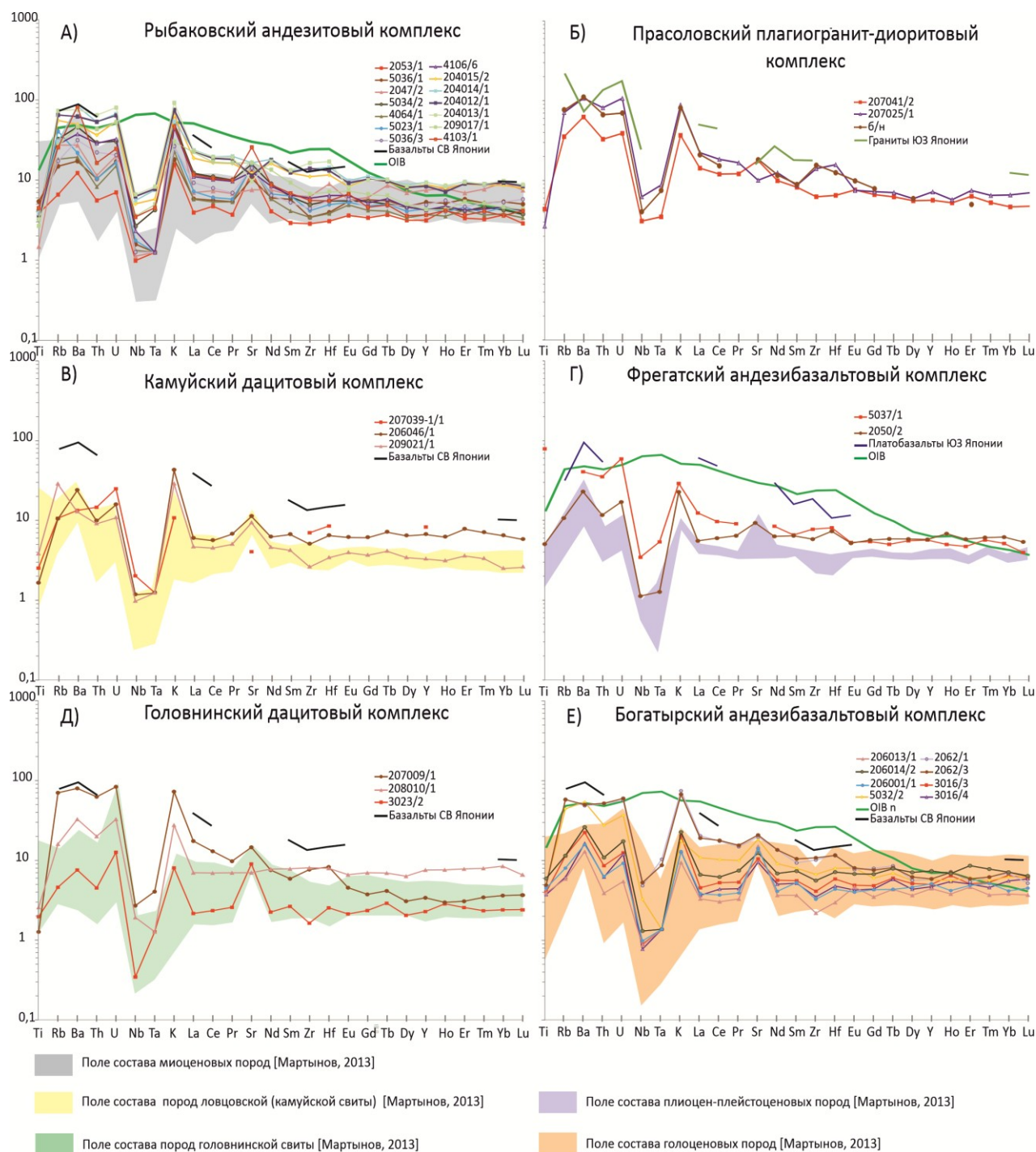


Рисунок 4 – Мультиэлементные диаграммы, нормированные на примитивную мантию, для вулканических и плутонических пород различных геологических подразделений Южных Курил:

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]