

ИЗУЧЕНИЕ ДИЗЪЮНКТИВНОЙ СЕТИ О. КУНАШИР (КУРИЛЬСКИЕ  
ОСТРОВА) С ЦЕЛЬЮ РЕКОНСТРУКЦИИ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО  
ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯН. С. Крикун<sup>\*1</sup>, И. А. Абдрахманов<sup>2</sup>, и И. В. Таловина<sup>1</sup><sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> ФГБУ ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, Россия\* **Контакт:** Никита Сергеевич Крикун, nskrikun@gmail.com

Статья посвящена изучению дизъюнктивных структур острова Кунашир, в частности, их классификации, морфологии, кинематики, времени и причинам формирования, что имеет ключевое значение для понимания тектонической эволюции данного района. Отмечена магмоподводящая роль разломов, что способствует расширению знаний о распределении вулканических и плутонических формаций Большой Курильской гряды. Оценена рудоконтролирующая роль разрывных нарушений, что может способствовать открытию новых месторождений полезных ископаемых. Кроме того, изучение разломов важно для повышения точности прогнозирования землетрясений. Методология исследования включает интегрированный подход, сочетающий традиционные геологические наблюдения и современные дистанционные методы исследования, что позволяет детализировать карту разрывных нарушений острова Кунашир. Результаты работы подтверждают наличие трех систем дизъюнктивных структур разного порядка, отличающихся глубиной заложения, протяженностью, кинематикой, временем и причинами формирования. Исследование вносит вклад в понимание сложного геологического строения острова Кунашир и всей островной дуги и предоставляет основу для дальнейших изысканий в этой области.

**Ключевые слова:** Курильская островная дуга, Кунашир, линеаментный анализ, данные дистанционного зондирования Земли, сбросы, сдвиги, задуговой бассейн, Курильская котловина.

**Цитирование:** Крикун, Н. С., И. А. Абдрахманов, и И. В. Таловина Изучение дизъюнктивной сети о. Кунашир (Курильские острова) с целью реконструкции особенностей его тектонического развития // Russian Journal of Earth Sciences. — 2024. — Т. 24. — ES2012. — DOI: 10.2205/2024es000915 — EDN: QLROTE

## Введение

Представления о дизъюнктивных структурах Курильской островной дуги (КОД) непрерывно изменяются в течение последних семидесяти лет [Королева и Смирнов, 1971; Сергеев, 1976; Стрельцов, 1976]. Проблематика, включающая классификацию, морфологию, географическое положение, кинематику, а также временные рамки заложения разрывных нарушений, продолжает вызывать активные обсуждения среди специалистов. Однако, понимание этих аспектов является критически важным для изучения тектонической эволюции данного района. Исследование магмоподводящей роли разломов на территории о. Кунашир позволяет расширить знания о распределении вулканических и плутонических формаций Большой Курильской гряды (БКГ) в целом с момента их образования. В дополнение, изучение рудоконтролирующей роли разрывных нарушений открывает перспективы для обнаружения месторождений различных полезных ископаемых [Beysi et al., 2023] на островах и в сопредельной акватории [Калинин и др., 2023; Bolshakova and Fedorova, 2021]. Более того, знания о механизмах тектонических подвижек и структуре разломов могут повысить точность

<https://elibrary.ru/qlrote>

Получено: 23 апреля 2024 г.

Принято: 17 июня 2024 г.

Опубликовано: 25 июня 2024 г.



© 2024. Коллектив авторов.

прогноза землетрясений и цунами, что критически важно для безопасности населения и инфраструктуры территории.

Курило-Камчатская островодужная система является единственной активной на территории РФ. В ее современной структуре выделено три сегмента с разной историей тектонического развития и разным геодинамическим режимом: Восточно-Камчатский, Южно-Камчатский и Курильский [Авдейко и др., 2001; Avdeiko et al., 2006]. В пределах Курильского сегмента (Курильской островной дуги) выделяются вулканическая (внутренняя) и невулканическая (внешняя) дуги, представленные Большой Курильской грядой и Малой Курильской грядой, продолжением которой является подводный хребет Витязя. Остров Кунашир расположен на южной оконечности БКГ (рис. 1). Площадь острова и развитая, по сравнению с другими островами, инфраструктура делают его эталонным объектом для изучения геологии БКГ, сформировавшейся в результате субдукции Тихоокеанской плиты под Охотоморскую [Piip and Rodnikov, 2004; Schellart et al., 2003]. Вместе с этим удаленность и труднодоступность территории в совокупности с плохой оснаженностью и проходимостью делают чрезвычайно актуальным привлечение данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для изучения особенностей ее геологического строения, а также проведение полевых маршрутов с использованием плавательных средств и беспилотных летательных аппаратов.

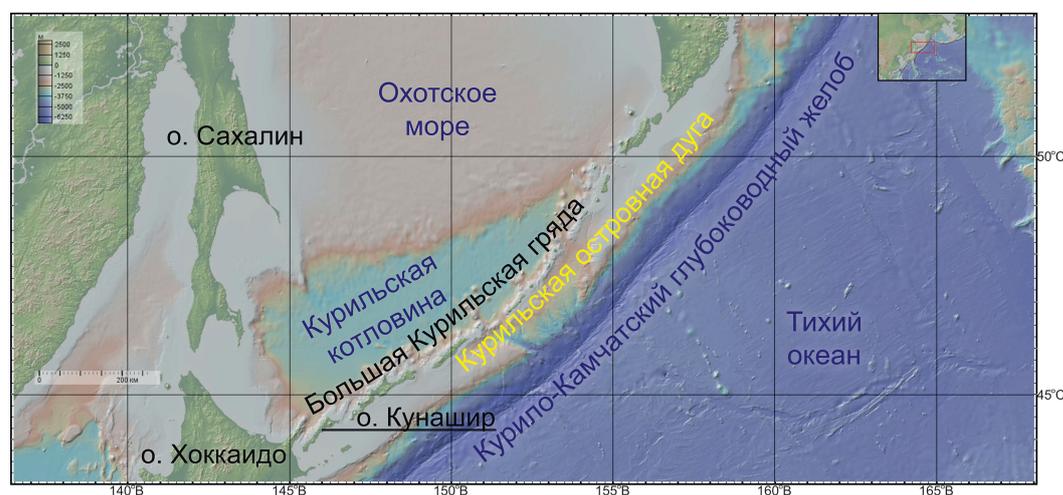


Рис. 1. Региональное положение территории исследования [<https://www.gmrt.org/>].

### Структурно-геологические особенности строения о. Кунашир

Геологический разрез о. Кунашир, как и всей БКГ в целом [Piip and Rodnikov, 2004], сложен стратифицированными вулканическими, вулканогенно-обломочными, реже осадочными породами неоген-четвертичного возраста, которые прорваны комагматическими и субвулканическими, реже интрузивными и экструзивными образованиями [Krikun et al., 2024] (рис. 2).

Современные представления о дизъюнктивной сети островной суши и сопредельной акватории приведены во втором издании Государственной геологической карты по листам L-55 с клапаном (К-55-II) масштаба 1:200 000 [Государственная геологическая карта РФ, 2002]. Авторами выделяются Западный и Восточный сбросы – главные продольные разломы, разграничивающие основные элементы КОД – Большекурильское поднятие от Курильской котловины и Срединно-Курильского прогиба соответственно. Данные разрывные нарушения проявлены как системы крутопадающих сближенных параллельных сбросов, сбросо-сдвигов, имеющих северо-западное (Западный сброс) и юго-восточное (Восточный сброс) падения.

В пределах Большекурильского поднятия выявлена сложная блоковая структура: поднятые блоки формируют острова и полуострова, например, Итурупский и Кунаширский, тогда как опущенные блоки, такие как Екатерины и Немуро, образуют проливы.

Эти структуры, по мнению авторов, возникшие из-за левосторонних сдвигов, расположены кулисообразно вдоль южной границы поднятия, указывая на динамическое формирование островной дуги. Помимо этого, на островах выделены раздвиговые региональные нарушения, связанные с вулканическими структурами, которые наиболее отчетливо дешифрируются на материалах аэрофотосъемки цепочкой кратеров и экзструзий преимущественно северо-восточного направления. Отмечаются мелкие трещины, через которые происходило внедрение даек, имеющих различное простирание [Государственная геологическая карта РФ, 2002].

В записке к ГГК-200/2 авторы отмечают, что многие разломы были заложены в позднемеловое-палеогеновое время, что определило структурный план будущей островной системы. В первой половине палеогена предполагается «интенсификация тектонической активности», приведшая к формированию многочисленных нарушений, повторяющих общий структурный план территории. Средний и поздний миоцен отмечены заложением ключевых структур, таких как Курило-Камчатский желоб, Срединно-Курильский прогиб, Курильская котловина и Большекурильское поднятие, возникшее в результате активной вулканической деятельности, которая не прекращается донныне. Предполагается, что многие разломы утратили свою активность во второй половине неогена. Однако моменты возобновления движений и появления новых нарушений в четвертичном периоде фиксируются современными сейсмодислокациями, преимущественно левостороннего сбросово-сдвигового смещения [Государственная геологическая карта РФ, 2002].

### Материалы и методы

Для выявления и классификации дизъюнктивных структур реализована интегрированная методика, включающая как традиционные геологические наблюдения, так и современные дистанционные методы исследования, в том числе анализ данных мультиспектральных снимков и радиолокационного зондирования, карт потенциальных полей, сейсмологических данных и др. Использование ДДЗ хорошо зарекомендовало себя в качестве основного инструмента для идентификации трещиноватых участков земной коры, не только в различных тектонически активных регионах [Агеев и Егоров, 2017; Калинин и др., 2022], но и непосредственно в пределах БКГ [Хубаева и др., 2020]. Линеаментный анализ осуществляется в полуавтоматическом режиме для фильтрации ложных структур и упрощения операции ранжирования линеаментов, которая необходима для дальнейшего определения масштаба разрывных нарушений [Крикун, 2022; Таловина и др., 2022]. По результатам дешифрирования ДДЗ (Sentinel-1, 2) [<https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>; <https://earthexplorer.usgs.gov>] подготавливаются схемы линеаментных сетей, плотностного распределения линейных структур, формируется база данных линеаментов, функционирующая по специально разработанному программному коду [Крикун и др., 2021].

Визуальный способ дешифрирования использовался для интерпретации карт аномальных геофизических полей и их различных трансформаций и был ориентирован на выделение характерных особенностей полей (градиентные зоны, изменение простираний аномалий и т.д.). Для идентификации разрывных нарушений наиболее информативными источниками в рамках данной территории оказались карты горизонтальной составляющей градиента аномального магнитного поля [Senchina et al., 2023] и локальная составляющая аномального гравитационного поля.

Следующим этапом является подтверждение тектонической природы каждого выявленного линеамента. Для этого его пространственное положение коррелируется с различными информационными слоями, включающими в себя: карты потенциальных полей и различных трансформант к ним; построенную цифровую модель рельефа; полевые наблюдения собственные и предшественников [первичные материалы к Ковтунович и др., 2002]; существующие геологические карты и тектонические схемы, в том числе приведенные в фондовых источниках; данные о распределении мелкофокусных землетрясений [<https://www.bosai.go.jp/>; <http://neic.usgs.gov/>] и др. Учитывались толь-

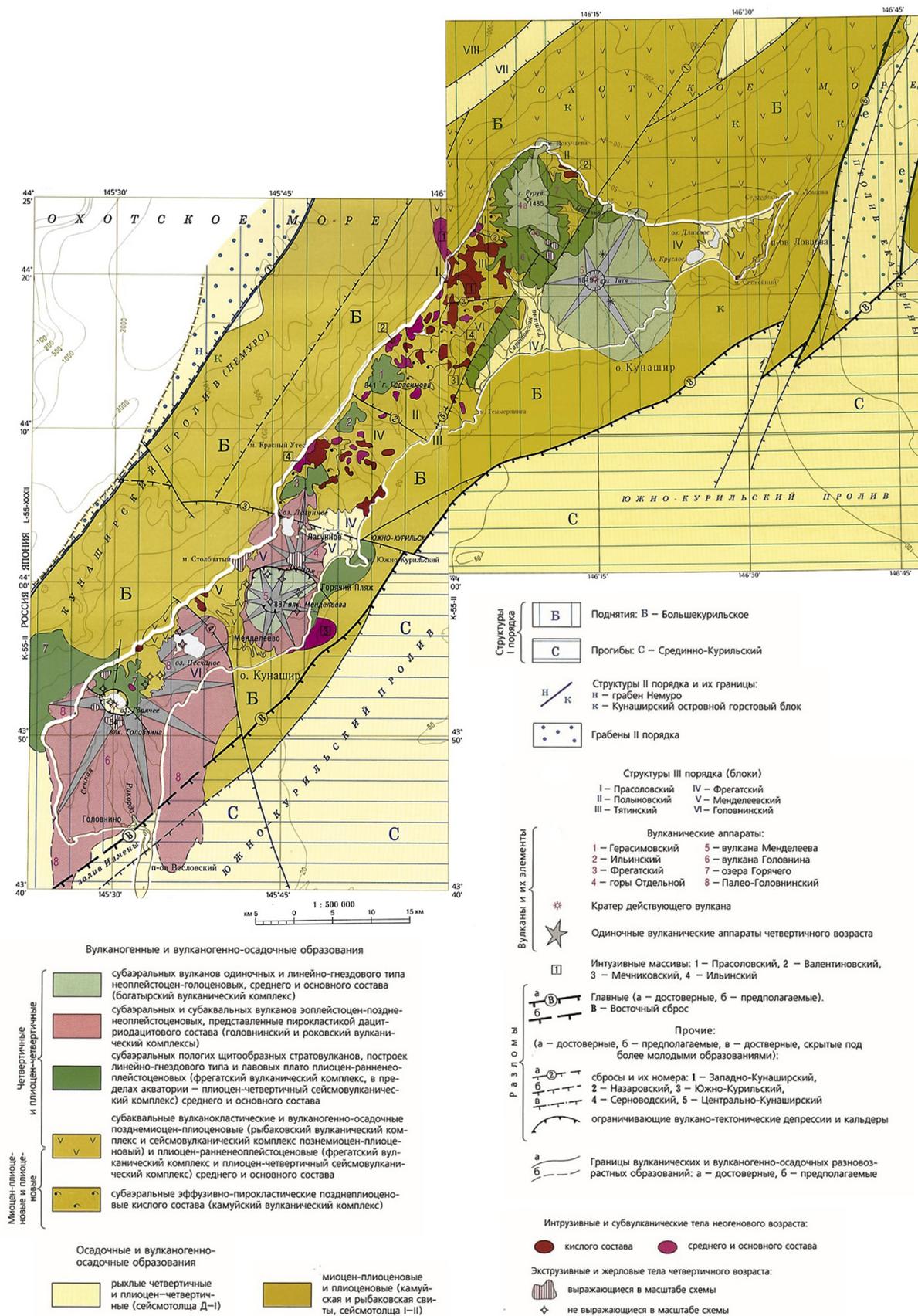
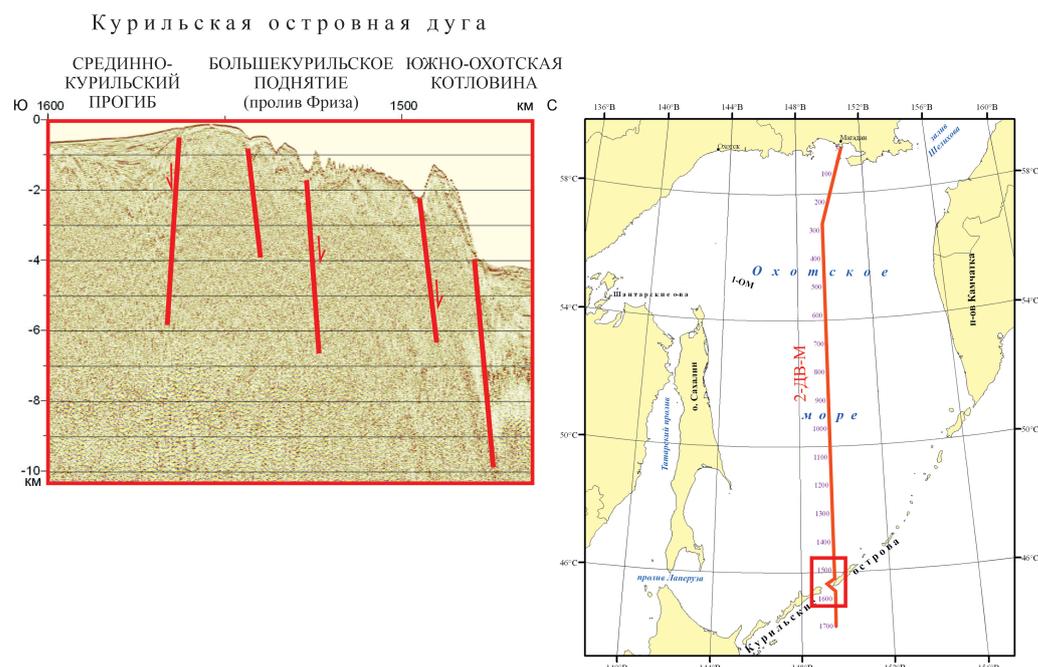


Рис. 2. Вулкано-тектоническая схема о. Кунашир [Государственная геологическая карта РФ, 2002].

ко землетрясения не выходящие в сейсмофокальную зону (глубиной до 100 км) за последние 10 лет. Построенные фокальные механизмы очагов землетрясений также использовались для уточнения кинематики выявленных структур, с этой же целью был использован фрагмент профиля ГСЗ 2-ДВ-М (рис. 3), проходящего через пролив Фриза, расположенный северо-восточнее между островами Итуруп и Уруп. Также горизонтальное и вертикальное смещение по разломам можно оценить по структурным взаимоотношениям с другими разрывными нарушениями и между различными геологическими подразделениями. Приблизительно предположить амплитуду вертикальных подвижек можно, основываясь на корреляцию разрезов по поисково-оценочным, структурным и гидрологическим скважинам [Krikun et al., 2024], пробуренным в пределах островной суши.



**Рис. 3.** Фрагмент профиля ГСЗ по результатам работ ФГУ НПП «Севморгео». Красным цветом показаны разрывные нарушения первого порядка.

В табл. 1 представлен сокращенный фрагмент сопоставления различных информационных слоев. В зависимости от проявленности на различных информационных слоях ячейки окрашены в различные оттенки зеленого цвета, где наименее насыщенный оттенок соответствует наименее значимому критерию. Определяющую роль при идентификации разрывных нарушений играли полевые наблюдения (собственные и предшественников). Важным информационным слоем являлись продешифрованные космические снимки (КС), которые использовались для заверки преобладающего простираения и оценки масштаба выделенных в ходе полевых работ структур. К сожалению, покрыть густой сетью геологических маршрутов территорию острова не представляется возможным. Более того, большая часть островной суши характеризуется очень плохой обнаженностью. Для выделения разрывных нарушений на такого рода участках привлекались карты потенциальных геофизических полей, особенно при картировании наиболее крупных структур, данные о распределении землетрясений, цифровая модель рельефа (ЦМР), существующие геологические и тектонические схемы и др. Интеграция построенных линеаментных схем с приведенными слоями информации осуществлялась через интерактивный процесс. В ходе этих действий, связанные картографические данные накладывались на экране монитора в сопоставимой форме для удобства анализа. Кинематика для ранее выделенных разломов определялась согласно результатам

предыдущих работ и по взаимоотношениям с другими разрывными нарушениями. Для структур, выявленных впервые, – по результатам собственных полевых наблюдений, где это было возможно, либо по данным в полевых дневниках предшественников. Однако чаще на основании границ между различными геологическими подразделениями на картах и по положению в разрезе пород, вскрытых в противоположных блоках разрывных нарушений, и относящихся к одному геологическому подразделению.

**Таблица 1.** Сокращенный фрагмент сопоставления различных корреляционных слоев для идентификации дизъюнктивных структур

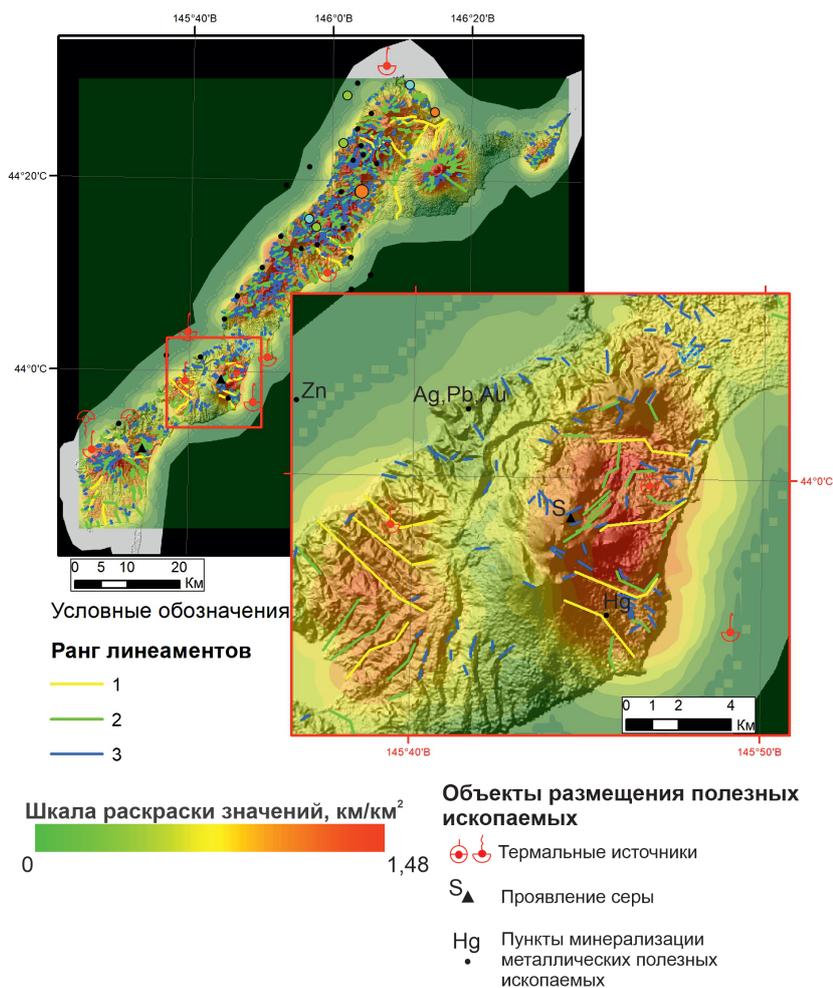
Информ. слой \ № разлома	1 Центральнo-Кунаширский сброс (рис. 6)	8 Серноводский сброс (рис. 7-2)	...
КС S1	Слабо проявлен в ЮЗ части	Слабо проявлен	...
КС S2 (ранг)	Слабо проявлен в ЮЗ части (линеаменты 2, 3 рангов – рис. 6-А)	Явно проявлен (линеаменты 1 ранга – рис. 7-2-А)	...
Магнитное поле	Слабые фрагментированные аномалии (рис. 6-Б)	Слабая линейная аномалия (рис. 7-2-Б)	...
Гравитационное поле	–	–	...
Землетрясения	–	№ 5049 без тензора	...
Цифровая модель рельефа	Проявлен в СВ части	Надежно прослеживается по долине через весь остров	...
ГГК-200/2	+ (рис. 2)	+ (рис. 2)	...
Поле	(ТН 207025, 207026 и др., рис. 6-В,Г)	Отмечается в рельефе в ходе аэрогеологической съемки	...
Поле предшественники	ТН 5560-5562	ТН 8800-8804	...
Геологические карты схемы	[Сергеев, 1976]	–	...
Порядок	1	2	...
Кинематика	Сброс	Сброс, сдвига-сброс (?)	...
Дополнительно	Юго-западный сегмент прослеживается слабо (предполагается). Для северо-восточного сегмента уточнено географическое положение по мощным зонам брекчирования на берегу	По ЦМР уточнено географическое положение (долина через весь остров). Возможно наличие оперяющей структуры (по магнитке) и продолжения на акваторию	...

Примечания к таблице: ТН – точка наблюдения S1, S2 – космический снимки миссий Sentinel-1, 2

### Результаты и обсуждение

В результате дешифрирования подготовленных и обработанных КС о. Кунашир была построена экстенсивная схема линеаментов (рис. 4), на которую вынесены объекты полезных ископаемых для исследования корреляции их размещения с распределением трещиноватых участков земной коры. Линеаменты на схеме проранжированы по их длине и контрастности проявления. На схеме заметно, что наибольшая концентрация линеаментов, соответствующая зонам локальной тектонической трещиноватости, характерна для современных и палео-вулcano-тектонических структур, к которым также приурочены полезные ископаемые территории, в том числе пункты минерализации, проявления и месторождения серы, термальных источников, благородных, цветных и черных металлов. Исключение составляют железорудные объекты, представленные ильменит-магнетитовыми россыпями.

Линеаментные схемы по результатам дешифрирования ДДЗ и интерпретации карт потенциальных полей являются основными информационными слоями для дальнейшего исследования. Далее осуществлялось подтверждение тектонической природы для каждого выделенного линеамента путем интегрального анализа по алгоритму, приведенному в предыдущем разделе. Итоговым результатом такого анализа является схема дизъюнктивных структур острова Кунашир, которая приведена на рис. 5



**Рис. 4.** Схема распределения зон локальной тектонической трещиноватости верхней части земной коры о. Кунашир с объектами размещения полезных ископаемых (за исключением строительных материалов и титан-магнетитовых россыпей), размещенная на черно-белой цифровой модели рельефа, построенной по данным космических радарных съемок.

в масштабе 1:1 000 000. На схему также вынесены данные о характере мелкофокусных сейсмических подвижек в период с 2011 г. по 2021 г., для которых удалось построить фокальные механизмы, центры современного и палеовулканизма, а также объекты размещения полезных ископаемых (ПИ) для оценки рудоконтролирующей роли выделенных разрывных нарушений. В ходе построений в зависимости от простирания, времени заложения и масштаба дизъюнктивных структур, было выявлено 3 системы разрывных нарушений: **первого порядка** (преимущественно северо-восточного простирания), **второго порядка** (преимущественно северо-западного простирания) и **третьего порядка** (разнонаправленные радиально-концентрические).

**Разрывные нарушения первого порядка:** являются самыми протяженными дислокациями на территории острова Кунашир. К данной группе отнесен Центрально-Кунаширский разлом в пределах островной суши (рис. 6) и Западный (и опережающий его Екатерининский) и Восточный сбросы в акватории (рис. 2).

Разломы первого порядка перекрыты плиоцен-четвертичными отложениями, поэтому слабо фиксируются на КС по линейному распределению линеаментов второго и третьего рангов (рис. 6-А), но с большей надежностью отмечаются на карте горизонтальной составляющей градиента аномального магнитного поля (рис. 6-Б). В ходе полевых работ отмечены разрывные нарушения, опережающие Центрально-Кунаширский



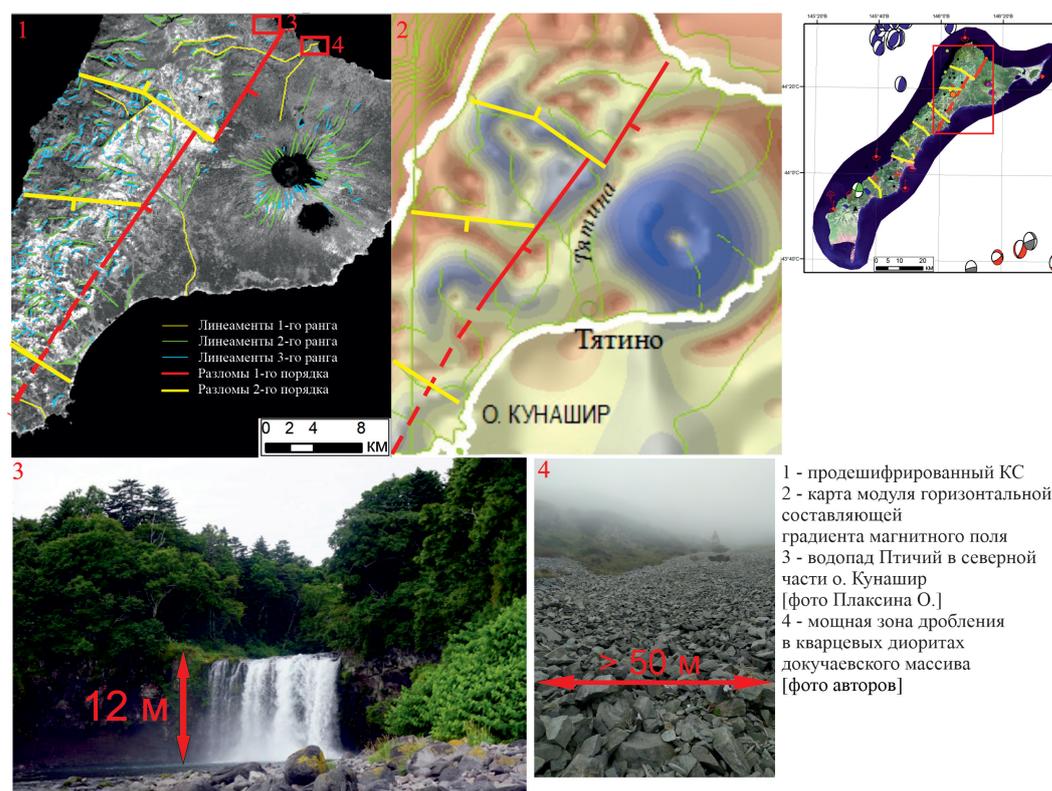
**Рис. 5.** Схема дизъюнктивных структур острова Кунашир с объектами размещения металлических полезных ископаемых. Разломы первого и второго порядков и их номера: 1 – Центрально-Кунаширский; 2 – Назаровский; 3 – Северянковский; 4 – Мостовской; 5 – Илюшинский; 6 – Отрадный; 7 – Южно-Курильский; 8 – Серноводский.

сброс, одно из которых маркируется по наличию крупных уступов в рельефе (водопад Птичий) и формирует русло одноименной реки (рис. 6-В). Зона главного разлома сопровождается мощными (шириной до 50 м) зонами брекчирования в клифе, высота которого достигает 40 м (рис. 6-Г). Вероятнее всего, Центрально-Кунаширский разлом имеет продолжение в акваторию, однако для более детального анализа необходима заверка данных геофизическими и буровыми работами на шельфе [Mingaleva et al., 2022; Serbin and Dmitriev, 2022].

Северо-восточное (продольное) простирание и наиболее раннее, в сравнении с остальными группами, заложение, позволяют связать формирование разломов первого порядка с заложением общего структурного плана КОД и началом вулканизма/магматизма в пределах Большой Курильской гряды в конце олигоцена (?) – начале миоцена. 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 (рис. 2). Одновременно с этим в раннем миоцене (?) [Мартынов и др., 2015] в ходе рифтогенеза происходило заложение тыловодужного бассейна (Курильской котловины), что вызвало заложение серии продольных сбросов, в акватории Охотского моря в районе пролива Фриза (рис. 3), которые также можно отнести к **первому порядку**. Однако на текущий момент в задуговом бассейне предполагается сжатие [Baranov et al., 2002], что подтверждается анализом фокальных механизмов очагов мелкофокусных землетрясений (рис. 5). Это может говорить о смене тектонического режима после формирования продольных разломов.

Компонента правого сдвига рассматриваемых структур предполагается исходя из того, что продольная ось о. Итуруп смещена вправо относительно аналогичной оси о. Кунашир Екатеринбургским разломом в акватории Екатеринбургского пролива (рис. 2), который оперяет Западный сброс и относится к первому порядку.

Разломы первого порядка контролируют распределение интрузивных образований прасоловского комплекса на северо-востоке о. Кунашир, имеющих, по разным оценкам, олигоцен [De Grave et al., 2016] - миоценовый [Ковтунович и др., 2002] возраст, что также указывает на время их формирования и глубокое нижнекоровое заложение.



**Рис. 6.** Разрывные нарушения **первого порядка** на примере Центрально-Кунаширского сброса. Справа сверху – схема разломов первого и второго порядков, размещенная на цветной ЦМР, условные обозначения на рис. 5, рамкой отмечен участок, изображенный на врезках 1 [по данным КС Sentinel-1: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>] и 2 [Отчет о результатах работ по теме «Создание комплектов государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (авторский вариант) листов L-55 – Южно-Курильск (с клапаном K-55), L-56 – о. Симушир», 2021]. На врезке 1 рамкой выделены участки на врезках 3 и 4.

**Разрывные нарушения второго порядка:** к данной группе относятся дислокации, преимущественно северо-западного простирания, длина которых составляет 5 км и более. Это структуры, ярко выраженные на КС, соответствующие линеаментам 1 ранга (рис. 7-2А) или линейно распределенным линеаментам более низких рангов (рис. 7-1А). На карте горизонтальной составляющей градиента аномального магнитного поля они соответствуют повышенным значениям (рис. 7-1Б, 2Б). В ходе полевых работ разломы второго порядка надежно маркируются в рельефе по глубоким U-образным долинам рек и ручьев, особенно по материалам аэрогеологической съемки (рис. 7-1В, 2В). В бортах долин фиксируются зоны трещиноватости и брекчирования, катаклаза, гидротермальной измененности пород. Отмечаются выходы термальных источников, что подтверждает современную активность дизъюнктивных структур второго порядка.

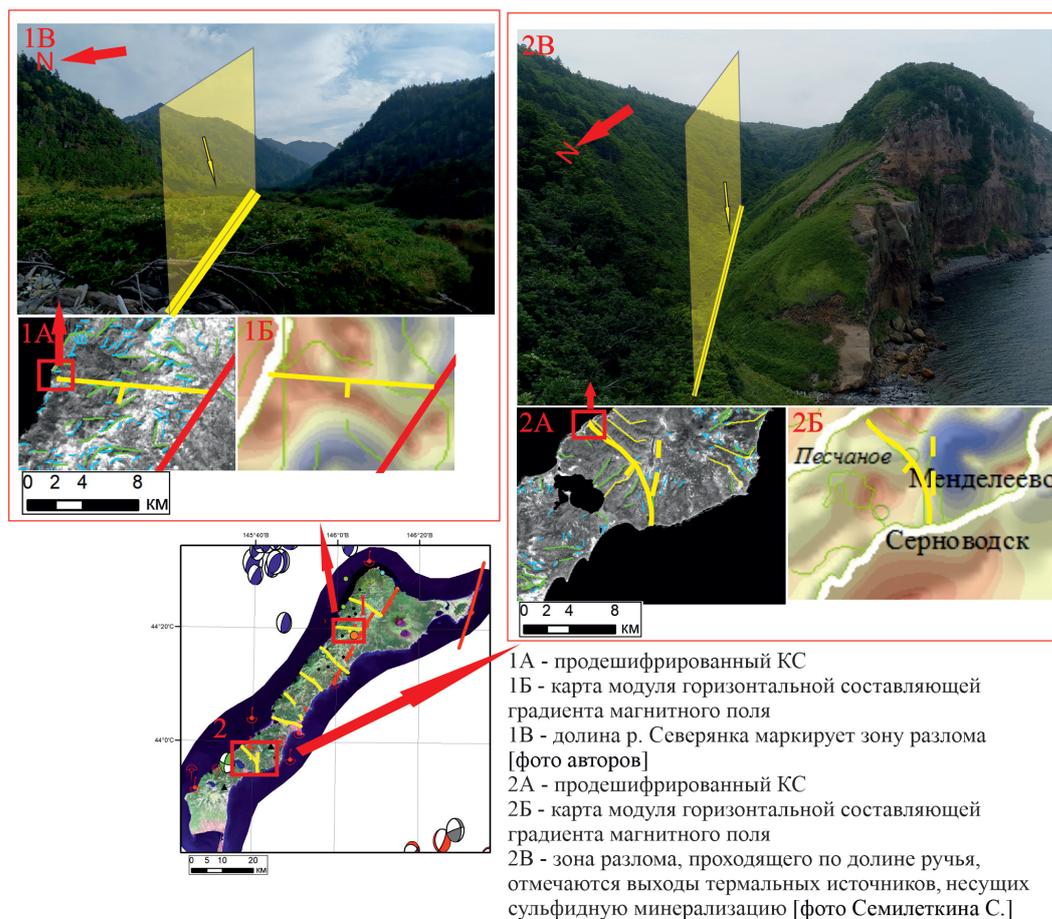
В рамках исследования на построенной схеме уточнено географическое положение и морфология Назаровского, Северянковского и Южно-Курильского сбросов, выделен

ряд новых структур в центральной части о. Кунашир (рис. 2, рис. 5), в частности Ильюшинский и предполагаемый Отрадный разломы. Вследствие того, что для ранее выявленных структур на вулcano-тектонической схеме (рис. 2) наименования для разных разломов повторяются (2 Назаровских, 2 Южно-Курильских сброса и т.д.) уточнены их названия.

Разломы второго порядка сопровождаются субвулканическими телами плиоценового возраста и контролируют их размещение [Государственная геологическая карта РФ, 2002], что позволяет предположить их глубокое заложение и неогеновое время формирования. Важно отметить, что разрывные нарушения данной группы моложе разломов первого порядка, так как смещают вправо последние в северной части о. Кунашир (рис. 6) и в акватории Срединно-Курильского прогиба (рис. 2), что также говорит о наличии правой, а не левой, как считалось ранее, сдвиговой компоненты в кинематике данных структур. При этом по поперечным разломам также отмечается вертикальное сбросовое смещение [Сергеев, 1976]. В центральной части о. Итуруп амплитуда поперечных сбросов северо-западного простирания, также являющихся разломами второго порядка, приблизительно оценена по схемам корреляции разрезов по скважинам [Krikun et al., 2024] и составляет первые сотни метров. Схожие значения можно предположить и для разрывных нарушений о. Кунашир. Разломы второго порядка определяют клавишную структуру острова и всей островной дуги в целом. Большинство из них активны и сейчас, что подтверждается наличием зон разгрузки термальных источников и яркой выраженностью в рельефе.

Причина формирования разломов второго порядка может быть связана с деформированием всячего блока субдукционной зоны в результате косоугольного погружения слэба. Направление, скорость и угол погружения Тихоокеанской плиты отличается для разных сегментов КОД [Avdeiko et al., 2006; Bergal-Kuvikas et al., 2023]. В пределах Южных Курил преобладает сжатие в север-северо-западном направлении [Krikun et al., 2024]. На о. Парамушир, расположенном на севере БКГ, отмечается компрессия в северо-западном направлении [Хубаева и др., 2020]. В качестве другого объяснения причины заложения разломов второго порядка можно рассмотреть формирование зоны деструкции фронтального склона в районе Центральных Курил. Природа, время образования и механизм этих процессов остаются пока не выясненными [Бергаль-Кувикас, 2015; Прошкина и др., 2017]. Тем не менее, заложение региональной зоны растяжения в юго-западном направлении в результате апвеллинга мантийных масс в сочетании с неоднородностью параметров субдукции, следовательно, направления сжатия, вдоль простирания Курильской островной дуги могли спровоцировать заложение разломов сбросовой, сбросо-сдвиговой, реже взбросовой кинематики. Более детальная реконструкция последовательности тектонических событий возможна при изучении структуры и вещественного состава геологических подразделений, слагающих остров [Гульбин и др., 2023].

**Разрывные нарушения третьего порядка:** среди выделенных групп являются наименее глубинными и протяженными (рис. 8). Это структуры, связанные прежде всего с центрами современного и палеовулканизма. На продешифрированных КС соответствуют линеаментам второго, реже первого рангов или линейно распределенным линеаментам третьего ранга (рис. 8-1А, 2А). Однако идентификация данных структур по ДДЗ должна сопровождаться подтверждением другими информационными слоями, в частности, результатами полевых наблюдений собственных и предшественников. Так, например, на Охотоморском побережье в центральной части острова гора Фрегат (рис. 3-2В), сложенная субвулканическими образованиями плиоцен-плейстоценового возраста, соответствует линеamentу второго ранга на КС, то есть не является разрывным нарушением. Так же, как и дайки на северо-западном склоне горы на КС отмечены в качестве линеamentов второго и третьего рангов (зеленые и синие линии на рис. 8-2А, В). Однако в окрестностях горы по результатам полевых наблюдений и анализа цифровой модели рельефа выделено два разлома, отнесенных к третьему порядку (на северо- и юго-



**Рис. 7.** Разрывные нарушения **второго порядка** острова Кунашир. Слева внизу – схема разломов первого и второго порядков, размещенная на цветной ЦМР, условные обозначения на [рис. 5](#). 1А, Б, В – Северянковский сброс; 2А, Б, В – Серноводский сброс.

востоке). Данные структуры вследствие малого масштаба не фиксируются на картах потенциальных полей ([рис. 8-2Б](#)). Однако современные вулканические постройки могут соответствовать максимумам на карте аномального магнитного поля ([рис. 8-1Б](#)). В ходе полевых работ дизъюнктивные структуры данной группы отличаются от других меньшей мощностью зон дробления и изменения пород. Разрывные нарушения третьего порядка имеют радиально-концентрическую морфологию и сопровождают вулкано-тектонические структуры у построек одиночных вулканов (Головнина, Тятя), в центральной части которых отмечаются кальдеры ([рис. 8-1В](#)). Радиальные структуры данной группы имеют сложную кинематику и разнообразное, порой невыдержанное простираение.

Основные проявления полезных ископаемых на острове Кунашир приурочены к зонам пересечения разломов **второго** и **третьего** порядков. Это связано с тем, что дислокации второго порядка контролируют размещение неогеновых образований, которые являются рудоматеринскими для целого ряда полезных ископаемых и выступают в качестве рудовмещающей среды при наложенных рудоносных процессах [[Крикун, 2024](#)]. Циркуляция металлоносных растворов также происходит по трещиноватым зонам, сопряженным с разрывными нарушениями второго порядка и оперяющими их структурами. С разломами третьего порядка, в свою очередь, ассоциируют флюиды, разгрузка которых происходит в виде термальных источников и парогидротерм, характеризующихся повышенными концентрациями рудных компонентов.



рующую роль дизъюнктивных структур и предоставляет ценную информацию для дальнейших геологоразведочных работ.

**Благодарности.** Авторы признательны Ю. Б. Доброй за помощь при оформлении графического материала.

### Список литературы

- Авдейко Г. П., Попруженко С. В., Палуева А. А. Современная тектоническая структура Курило-Камчатского региона и условия магмообразования // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. — Петропавловск-Камчатский : ИВГиГ ДВО РАН, 2001. — С. 9—33.
- Агеев А. С., Егоров А. С. Особенности глубинного строения Байкало-Становой региональной сдвиговой зоны по геологическим, геофизическим и дистанционным данным в створе профиля З-ДВ (южный участок) // Региональная геология и металлогения. — 2017. — № 70. — С. 36—40.
- Бергаль-Кувикас О. В. Объемы четвертичных вулканитов Курильской островной дуги: анализ пространственного расположения и связь с зоной субдукции // Тихоокеанская геология. — 2015. — Т. 34, № 2. — С. 103—116.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000; Издание второе. Серия Курильская. Листы L-55-XXII, XXVIII, XXXIV (Курильск), L-55-XXIII, XXIX (Рейдово), L-55-XXXIII (влк. Тятя), K-55-II, 55-XXXII (Южно-Курильск) / под ред. В. К. Ротмана. — СПб : Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2002. — 298 с.
- Гульбин Ю. Л., Акбарпуран Хайяти С. А., Сироткин А. Н. Минеральный состав и термобарометрия метаморфических пород Западного Нью-Фрисланда, Шпицберген // Записки Горного института. — 2023. — Т. 263. — С. 657—673.
- Калинин Д. Ф., Егоров А. С., Большакова Н. В. Потенциальная нефтегазоносность Западно-Камчатского побережья и ее связь со структурно-тектоническим строением Охотоморского региона по геофизическим данным // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2022. — Т. 1, № 53. — С. 59—75. — DOI: [10.31431/1816-5524-2022-1-53-59-75](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-1-53-59-75).
- Калинин Д. Ф., Егоров А. С., Большакова Н. В. и др. Информационно-статистический прогноз нефтегазоносности в краевой части Корякско-Камчатской складчатой области // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2023. — Т. 57, № 1. — С. 63—88. — DOI: [10.31431/1816-5524-2023-1-57-63-88](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-1-57-63-88).
- Ковтунович П. Ю., Сафронов А. Д., Удодов В. В. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые островов Итуруп, Кунашир и прилегающего к ним дна акватории. Отчет Камуйской ГСП о результатах геологического доизучения масштаба 1:200000 и подготовки к изданию листов (L-55-XXII, XXIII, XXVIII, XXIX, XXXII, XXXIII, XXXIV; K-55-II) Госгеолкарты – 200 Курильской серии с проведением ГГС-50 на площади листов L-54-104-Г, 116-Б, проведенных в 1987–2000 гг. на Камуйской площади в 4-х книгах. — Южно-Сахалинск : Сахалинское ТГУ, Южно-Сахалинская геологоразведочная экспедиция, 2002. — 921 с.
- Королева Т. П., Смирнов И. Г. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Курильская, лист K-55-II. Объяснительная записка. — Москва : Недра, 1971. — 48 с.
- Крикун Н. С. Применение дистанционных методов исследования для уточнения структурно-геологических особенностей строения Курильского региона (на примере островов Кунашир и Итуруп) // Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле». Том 1. — Москва : Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. — С. 21—24.
- Крикун Н. С. Изучение закономерностей распределения металлических полезных ископаемых о. Кунашир с использованием разнотипных геолого-геофизических данных и МДЗ // Сборник тезисов докладов XIII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» 10–12 апреля 2024. — Москва : ЦНИГРИ, 2024. — С. 195—197.
- Крикун Н. С., Федорова Э. Р., Таловина И. В. База данных линеаментов о. Итуруп // Свидетельство о регистрации базы данных № 2021621173, заявлено: 27.05.2021, опубликовано: 01.06.2021; заявитель СПГУ. - 179 кб. — 2021.
- Мартынов А. Ю., Мартынов Ю. А., Рыбин А. В. и др. Роль задуговых процессов в происхождении субдукционных магм: новые данные по изотопии Sr, Nd и Pb в вулканитах ранних этапов формирования о. Кунашир (Курильская островная дуга) // Геология и геофизика. — 2015. — Т. 56, № 3. — С. 469—487. — DOI: [10.15372/GiG20150301](https://doi.org/10.15372/GiG20150301).
- Отчет о результатах работ по теме «Создание комплектов государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 (авторский вариант) листов L-55 – Южно-Курильск (с клапаном K-55), L-56 – о. Симушир». — г. Санкт-Петербург : ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2021.
- Павленкова Н. И., Кашубин С. Н., Гонтовая Л. И. и др. Глубинное строение и геодинамика Охотоморского региона // Региональная геология и металлогения. — 2018. — № 76. — С. 70—82.

- Прошкина З. Н., Кулинич Р. Г., Валитов М. Г. Структура, вещественный состав и глубинное строение океанского склона Центральных Курил: новые детали // Тихоокеанская геология. — 2017. — Т. 36, № 6. — С. 58–69.
- Сергеев К. Ф. Тектоника Курильской островной системы. — Москва : Наука, 1976. — 239 с.
- Стрельцов М. И. Дислокации южной части Курильской островной дуги. — Москва : Наука, 1976. — 132 с.
- Таловина И. В., Крикун Н. С., Юрченко Ю. Ю. *и др.* Дистанционные методы исследования в изучении структурно-геологических особенностей строения о. Итуруп (Курильские острова) // Записки Горного института. — 2022. — Т. 254. — С. 158–172. — DOI: [10.31897/PMI.2022.45](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.45).
- Хубаева О. Р., Бергаль-Кувикас О. В., Сидоров М. Д. Идентификация разрывных нарушений северной части о. Парамушир (Курильские острова, Россия) и их взаимосвязь с гидротермально-магматическими системами: 3D моделирование тектонической раздробленности // Геотектоника. — 2020. — № 6. — С. 77–90. — DOI: [10.31857/S0016853X20060077](https://doi.org/10.31857/S0016853X20060077).
- Avdeiko G. P., Palueva A. A., Khleborodova O. A. Geodynamic conditions of volcanism and magma formation in the Kurile-Kamchatka island-arc system // Petrology. — 2006. — Vol. 14, no. 3. — P. 230–246. — DOI: [10.1134/S0869591106030027](https://doi.org/10.1134/S0869591106030027).
- Baranov B. V., Werner R., Hoernle K. A., *et al.* Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // Tectonophysics. — 2002. — Vol. 350, no. 1. — P. 63–97. — DOI: [10.1016/S0040-1951\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00081-1).
- Bergal-Kuvikas O. V., Buslov M. M., Bushenkova N. A., *et al.* Transition from the Continental Margin of Kamchatka to the Island Arc of the Kurile Islands: Features of Volcanism, Crustal Deformation and Geophysical Parameters of the Slab // Russian Geology and Geophysics. — 2023. — Vol. 64, no. 10. — P. 1227–1240. — DOI: [10.2113/RGG20234558](https://doi.org/10.2113/RGG20234558).
- Beygi S., Tadayon M., Palova R. K., *et al.* Petrochemical and Structural Characteristics of Porphyry Copper Mineralization in the Astaneh Ore Deposit, Middle Part of the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (Iran) // Geodynamics & Tectonophysics. — 2023. — Vol. 14, no. 2. — DOI: [10.5800/GT-2023-14-2-0691](https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0691).
- Bolshakova N. V., Fedorova K. S. The Possibilities of Using a Qualitative Interpretation of The Potential for Creating a Zonal-Block Model of The Northern Flank of The Okhotsk Sea Region // Engineering and Mining Geophysics 2021. — European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. — DOI: [10.3997/2214-4609.202152157](https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152157).
- De Grave J., Zhimulev F. I., Glorie S., *et al.* Late Palaeogene emplacement and late Neogene-Quaternary exhumation of the Kuril island-arc root (Kunashir island) constrained by multi-method thermochronometry // Geoscience Frontiers. — 2016. — Vol. 7, no. 2. — P. 211–220. — DOI: [10.1016/j.gsf.2015.05.002](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.05.002).
- Krikun N., Babenko I., Talovina I., *et al.* Geological Structure and Perspectives of Oil and Gas Bearing in Neogene Sediments of the Southern Part of the Kuril Island Arc System // Russian Journal of Earth Sciences. — 2024. — P. 1–16. — DOI: [10.2205/2024ES000905](https://doi.org/10.2205/2024ES000905).
- Mingaleva T., Gorelik G., Egorov A., *et al.* Correction of Depth-Velocity Models by Gravity Prospecting for Hard-to-Reach Areas of the Shelf Zone // Mining informational and analytical bulletin. — 2022. — No. 10/1. — P. 77–86. — DOI: [10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_101\\_0\\_77](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_101_0_77).
- Piip V. B., Rodnikov A. G. The Sea of Okhotsk crust from deep seismic sounding data // Russian Journal of Earth Sciences. — 2004. — Vol. 6, no. 1. — P. 35–48. — DOI: [10.2205/2003ES000140](https://doi.org/10.2205/2003ES000140).
- Schellart W. P., Jessell M. W., Lister G. S. Asymmetric deformation in the backarc region of the Kuril arc, northwest Pacific: New insights from analogue modeling // Tectonics. — 2003. — Vol. 22, no. 5. — DOI: [10.1029/2002TC001473](https://doi.org/10.1029/2002TC001473).
- Senchina N., Asoskov A., Gorelik G. Evaluation of Displacements Caused by Strike-Slip Deformations Using Correlation Characteristics Based on Potential Field Data // Russian Journal of Earth Sciences. — 2023. — P. 1–10. — DOI: [10.2205/2023ES000847](https://doi.org/10.2205/2023ES000847).
- Serbin D., Dmitriev A. Experimental research on the thermal method of drilling by melting the well in ice mass with simultaneous controlled expansion of its diameter // Journal of Mining Institute. — 2022. — Vol. 257. — P. 833–842. — DOI: [10.31897/PMI.2022.82](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.82).

# STUDY OF THE FAULTS NETWORK OF KUNASHIR ISLAND (KURIL ISLANDS) IN ORDER TO RECONSTRUCT THE FEATURES OF ITS TECTONIC EVOLUTION

N. S. Krikun<sup>\*\*</sup>,<sup>1</sup> , I. A. Abdrahmanov<sup>2</sup> , and I. V. Talovina<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>FSBU VNIIOkeangeologiya, Saint-Petersburg, Russia

**\*\*Correspondence to:** Nikita Krikun, nskrikun@gmail.com

The paper is devoted to the study of the faults on Kunashir Island, focusing on their classification, morphology, kinematics, timing, and causes of formation, which are key to understanding the tectonic evolution of the area. The magma-supporting role of these faults is noted, contributing to the understanding of the distribution of volcanic and plutonic formations in the Great Kuril Ridge. The ore-controlling role of the faults was evaluated, which may contribute to the discovery of new mineral deposits. Additionally, studying these faults is important for improving the prediction of earthquakes and tsunamis. The research methodology includes an integrated approach that combines traditional geological observations with modern remote sensing methods, allowing us to detail the map of the Kunashir Island rupture faults. The results of the work confirm the presence of three systems of tectonic structures that differ in depth of emplacement, length, timing, kinematics, and causes of formation. The study contributes to our understanding of the complex geological structure of Kunashir Island and the entire island arc and provides a basis for further research in this area.

**Keywords:** Kuril Island Arc, Kunashir, lineament analysis, remote sensing data, strike-slip faults, shear, back-arc basin, Kuril Basin.

Received: 23 April 2024

Accepted: 17 June 2024

Published: 25 June 2024



© 2024. The Authors.

**Citation:** Krikun, N. S., I. A. Abdrahmanov, and I. V. Talovina (2024), Study of the Faults Network of Kunashir Island (Kuril Islands) in Order to Reconstruct the Features of its Tectonic Evolution, *Russian Journal of Earth Sciences*, 24, ES2012, <https://doi.org/10.2205/2024ES000915> EDN: QLROTE

## References

- Ageev A. S., Egorov A. S. Features of the deep structure of the Baikal-Stanovoy regional shear zones on geological, geophysical and distantional data in the profile 3-DV (southern section) // *Regional Geology and Metallogeny*. — 2017. — No. 70. — P. 36–40.
- Avdeiko G. P., Palueva A. A., Khleborodova O. A. Geodynamic conditions of volcanism and magma formation in the Kurile-Kamchatka island-arc system // *Petrology*. — 2006. — Vol. 14, no. 3. — P. 230–246. — DOI: [10.1134/S0869591106030027](https://doi.org/10.1134/S0869591106030027).
- Avdeiko G. P., Popruzhenko S. V., Palueva A. A. Modern structure of the Kurile-Kamchatka region and magma-forming conditions // *Geodynamics and volcanism of the Kurile-Kamchatka Island-Arc system*. — Petropavlovsk-Kamchatsky : IVGiG FEB RAS, 2001. — P. 9–33.
- Baranov B. V., Werner R., Hoernle K. A., *et al.* Evidence for compressionally induced high subsidence rates in the Kurile Basin (Okhotsk Sea) // *Tectonophysics*. — 2002. — Vol. 350, no. 1. — P. 63–97. — DOI: [10.1016/S0040-1951\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00081-1).

- Bergal-Kuvikas O. V. Volumes of quaternary volcanic material of the Kuril Island Arc: analysis of spatial variations in correlation with subduction zone // *Tikhookeanskaya Geologiya*. — 2015. — Vol. 34, no. 2. — P. 103–116.
- Bergal-Kuvikas O. V., Buslov M. M., Bushenkova N. A., *et al.* Transition from the Continental Margin of Kamchatka to the Island Arc of the Kurile Islands: Features of Volcanism, Crustal Deformation and Geophysical Parameters of the Slab // *Russian Geology and Geophysics*. — 2023. — Vol. 64, no. 10. — P. 1227–1240. — DOI: [10.2113/RGG20234558](https://doi.org/10.2113/RGG20234558).
- Beygi S., Tadayon M., Ilalova R. K., *et al.* Petrochemical and Structural Characteristics of Porphyry Copper Mineralization in the Astaneh Ore Deposit, Middle Part of the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (Iran) // *Geodynamics & Tectonophysics*. — 2023. — Vol. 14, no. 2. — DOI: [10.5800/GT-2023-14-2-0691](https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0691).
- Bolshakova N. V., Fedorova K. S. The Possibilities of Using a Qualitative Interpretation of The Potential for Creating a Zonal-Block Model of The Northern Flank of The Okhotsk Sea Region // *Engineering and Mining Geophysics 2021*. — European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. — DOI: [10.3997/2214-4609.202152157](https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152157).
- De Grave J., Zhimulev F. I., Glorie S., *et al.* Late Palaeogene emplacement and late Neogene-Quaternary exhumation of the Kuril island-arc root (Kunashir island) constrained by multi-method thermochronometry // *Geoscience Frontiers*. — 2016. — Vol. 7, no. 2. — P. 211–220. — DOI: [10.1016/j.gsf.2015.05.002](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.05.002).
- Gulbin, Yu. L., Akbarpuran Khaiyati S. A., Sirotkin A. N. Mineral composition and thermobarometry of metamorphic rocks of western Ny Friesland, Svalbard // *Journal of Mining Institute*. — 2023. — Vol. 263. — P. 657–673.
- Kalinin D. F., Egorov A. S., Bolshakova N. V. Oil and Gas Potential of the West Kamchatka Coast and its Relation to the Structural and Tectonic Structure of the Sea of Okhotsk Region Based on Geophysical Data // *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center». Earth Sciences*. — 2022. — Vol. 1, no. 53. — P. 59–75. — DOI: [10.31431/1816-5524-2022-1-53-59-75](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-1-53-59-75).
- Kalinin D. F., Egorov A. S., Bolshakova N. V., *et al.* Information and Statistical Forecast of Oil and Gas Potential in the Marginal Part of the Koryak-Kamchatka Folded Region // *Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center». Earth Sciences*. — 2023. — Vol. 57, no. 1. — P. 63–88. — DOI: [10.31431/1816-5524-2023-1-57-63-88](https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-1-57-63-88).
- Khubaeva O. R., Bergal-Kuvikas O. V., Sidorov M. D. Identification of Ruptures and Their Interaction with Hydrothermal-Magmatic Systems at the Northern Part of Paramushir Isl. (Kuril Islands, Russia): 3D Modeling of Crustal Fragmentation // *Geotectonics*. — 2020. — No. 6. — P. 77–90. — DOI: [10.31857/S0016853X20060077](https://doi.org/10.31857/S0016853X20060077).
- Koroleva T. P., Smirnov I. G. Geological map of the USSR, scale 1:200,000. Kuril series, sheet K-55-II. Explanatory note. — Moscow : Nedra, 1971. — P. 48.
- Kovtunovich P. Y., Safronov A. D., Udodov V. V., *et al.* Geological structure and useful minerals of the islands of Iturup, Kunashir and the adjacent water area bottom. Report of the Kamui GSP on the results of geological study at a scale of 1:200,000 and preparation for publication of sheets (L-55-XXII, XXIII, XXVIII, XXIX, XXXII, XXXIII, XXXIV; K-55-II) of the State Geological Map - 200 of the Kuril Series with the implementation of GGS-50 on the area of sheets L-54-104-G, 116-B, carried out in 1987-2000. on Kamuskaya Square in 4 books. — Yuzhno-Sakhalinsk : Sakhalin TSU, Yuzhno-Sakhalinsk Geological Prospecting Expedition, 2002. — P. 921.
- Krikun N., Babenko I., Talovina I., *et al.* Geological Structure and Perspectives of Oil and Gas Bearing in Neogene Sediments of the Southern Part of the Kuril Island Arc System // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2024. — P. 1–16. — DOI: [10.2205/2024ES000905](https://doi.org/10.2205/2024ES000905).
- Krikun N. S. Application of remote sensing methods to clarify the structural and geological features of the Kuril region (using the example of the islands of Kunashir and Iturup) // *International scientific conference of young researchers «The Young - for the Earth Sciences»*. — Moscow : Russian State Geological Prospecting University named after S. Ordzhonikidze, 2022. — P. 21–24.
- Krikun N. S. Study of distribution patterns of metallic minerals of Kunashir Island using different types of geological and geophysical data and remote sensing data // *Collection of abstracts of reports of the XIII international scientific and practical conference "Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and assessing deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals" April 10-12, 2024*. — Moscow : TsNIGRI, 2024. — P. 195–197.
- Krikun N. S., Fedorova E. R., Talovina I. V. Database of lineaments of Iturup Island // *Certificate of registration of the database No. 2021621173, declared: 05/27/2021, published: 06/01/2021; applicant St. Petersburg State University*. - 179 kb. — 2021.
- Martynov, A. Yu., Martynov Y. A., Rybin A. V., *et al.* Role of back-arc tectonics in the origin of subduction magmas: new Sr, Nd, and Pb isotope data from Middle Miocene lavas of Kunashir Island (Kurile Island Arc) // *Geology and Geophysics*. — 2015. — Vol. 56, no. 3. — P. 469–487. — DOI: [10.15372/GiG20150301](https://doi.org/10.15372/GiG20150301).

- Mingaleva T., Gorelik G., Egorov A., *et al.* Correction of Depth-Velocity Models by Gravity Prospecting for Hard-to-Reach Areas of the Shelf Zone // Mining informational and analytical bulletin. — 2022. — No. 10/1. — P. 77–86. — DOI: [10.25018/0236\\_1493\\_2022\\_101\\_0\\_77](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_101_0_77).
- Pavlenkova N. I., Kashubin S. N., Gontovaya L. I., *et al.* Deep structure and geodynamics of the Sea of Okhotsk region // Regional Geology and Metallogeny. — 2018. — No. 76. — P. 70–82.
- Piip V. B., Rodnikov A. G. The Sea of Okhotsk crust from deep seismic sounding data // Russian Journal of Earth Sciences. — 2004. — Vol. 6, no. 1. — P. 35–48. — DOI: [10.2205/2003ES000140](https://doi.org/10.2205/2003ES000140).
- Proshkina Z. N., Kulinich R. G., Valitov M. G. Structure, Matter Composition, and Deep Structure of the Oceanic Slope of the Central Kuril Islands: New Evidence // Russian Journal of Pacific Geology. — 2017. — Vol. 36, no. 6. — P. 436–446. — DOI: [10.1134/s1819714017060045](https://doi.org/10.1134/s1819714017060045).
- Report on the results of work on the topic «Creation of sets of state geological maps at a scale of 1:1,000,000 (author's version) sheets L-55 - Yuzhno-Kurilsk (with valve K-55), L-56 – Simushir island». — St. Petersburg : FSBI «VSEGEI», 2021.
- Schellart W. P., Jessell M. W., Lister G. S. Asymmetric deformation in the backarc region of the Kuril arc, northwest Pacific: New insights from analogue modeling // Tectonics. — 2003. — Vol. 22, no. 5. — DOI: [10.1029/2002TC001473](https://doi.org/10.1029/2002TC001473).
- Senchina N., Asoskov A., Gorelik G. Evaluation of Displacements Caused by Strike-Slip Deformations Using Correlation Characteristics Based on Potential Field Data // Russian Journal of Earth Sciences. — 2023. — P. 1–10. — DOI: [10.2205/2023ES000847](https://doi.org/10.2205/2023ES000847).
- Serbin D., Dmitriev A. Experimental research on the thermal method of drilling by melting the well in ice mass with simultaneous controlled expansion of its diameter // Journal of Mining Institute. — 2022. — Vol. 257. — P. 833–842. — DOI: [10.31897/PMI.2022.82](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.82).
- Sergeev K. F. Tectonics of the Kuril Island System. — Moscow : Nauka, 1976. — P. 239.
- State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:200,000; Second edition. Kuril Series. Sheets L-55-XXII, XXVIII, XXXIV (Kurilsk), L-55-XXIII, XXIX (Reydovo), L-55-XXXIII (Tyatya volcano), K-55-II, 55-XXXII (Yuzhno-Kurilsk) / ed. by V. K. Rotman. — St. Petersburg : Saint Petersburg Cartographic Factory VSEGEI, 2002. — P. 298.
- Streltsov M. I. Dislocations of the southern part of the Kuril island arc. — Moscow : Nauka, 1976. — P. 132.
- Talovina I., Krikun N., Yurchenko Y., *et al.* Remote sensing techniques in the study of structural and geotectonic features of Iturup Island (the Kuril Islands) // Journal of Mining Institute. — 2022. — DOI: [10.31897/PMI.2022.45](https://doi.org/10.31897/PMI.2022.45).