

УДК 551.432→551.24

А.А. ГАВРИЛОВ

## О мультидисциплинарном подходе к выявлению и идентификации разрывных нарушений (континентальное побережье и острова залива Петра Великого)

*Многообразие и сложность связанных с разрывными нарушениями геолого-геоморфологических ситуаций обуславливают необходимость использования комплекса различных методов и признаков для их выделения. Наиболее полный анализ и синтез разноплановой геолого-геоморфологической информации и материалов дистанционного зондирования из космоса для выявления и идентификации этого типа дислокаций реализуются при морфоструктурном и морфотектоническом изучении региона лишь с учетом данных изучения прибрежных полигонов. Выявление возможно полного ансамбля дизъюнктивных дислокаций территорий – необходимое условие эффективности инженерно-геоморфологических, инженерно-геологических работ, оценки геодинамической опасности и др.*

*Ключевые слова:* разрывное нарушение, линеамент, острова, зал. Петра Великого.

**About multidisciplinary approach to the finding and identification of faults (continental coast and islands of Peter the Great Bay).** A.A. GAVRILOV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*The multiplicity and complexity of geological and geomorphological situations associated with faults cause necessity of the use of different methods and features for their evolving. The most complete analysis and synthesis of diverse geological and geomorphological information and remote sensing materials from space for the finding and identification of dislocations of this type are realized by the morphostructural and morphotectonic study of the region only taking into account investigation data of coastal polygons. The identification of disjunctive dislocations of possible complete pattern of territories is a necessary condition for the effectiveness of engineering-geomorphologic, engineering-geological work, assessment of geodynamic hazards, etc.*

*Key words:* fault, lineament, islands, the Peter the Great Bay.

### Введение

Среди различных типов дислокаций, определяющих геологическое строение, морфологию и динамику развития рельефа территорий, особое значение принадлежит разрывным нарушениям, или разломам разного порядка. С ними связаны нарушения сплошности горных пород и общее блоковое строение геологической среды, резкие структурные, структурно-вещественные и гипсометрические границы. В геодинамическом аспекте с этими дислокациями сопряжены зоны разрядки тектонических напряжений,

---

ГАВРИЛОВ Александр Анатольевич – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток).  
E-mail: gavrilov@poi.dvo.ru

Исследования выполнены в рамках программы «Дальний Восток» (экспедиционный грант 16 – I – 1-006 Э).

тектонические подвижки, явления кливажирования, рассланцевания, брекчирования горных пород и другие процессы динамометаморфизма. Помимо этого с разломами соотносятся участки разуплотнения литосферы, сквозные каналы проникновения магмы, глубинных газов, флюидов, вод на земную поверхность и соответственно вод, газов и вещества сферы гипергенеза в недра. Подобный режим существования разломов как гидрогеологических структур приводит к образованию линейных кор выветривания, миграции и разгрузке трещинных вод, обводнению плоскостей сместителей (эффект Ребиндера), способствуя формированию гравитационных дислокаций (оползни, обвалы и др.), значительной активизации флювиальных, абразионных и других рельефообразующих явлений. Все это обуславливает огромное многообразие присущих разломам характеристик, признаков и сложность их индикации, идентификации и типизации.

Цель предлагаемой работы – оценить эффективность комплексной индикации разломов на основе наземных геологических, геоморфологических исследований и результатов дешифрирования космических снимков (КС) в пределах островов и континентальных побережий зал. Петра Великого. Ряд аспектов этой проблематики рассматривался ранее в публикациях автора [3, 4].

### **Методика исследований**

Актуальность и необходимость рассмотрения данного класса объектов в пределах территории южного Приморья обусловлены тем фактом, что материалы геологических [5, 8, 9 и др.] и геофизических работ [7] не всегда комплексированы с данными морфоструктурного анализа, дистанционного зондирования и не в полной мере отражают сеть разрывных дислокаций региона. Многие из дешифрируемых на КС линейных аномалий фототона, соотносимых с разломными зонами, показаны на геологических и тектонических картах соответствующего масштаба либо фрагментарно, либо вообще не представлены. Чаще всего это бывает в тех случаях, когда с выделяемыми на КС аномалиями совпадают долины крупных рек или системы впадин и депрессий с мощным чехлом рыхлых отложений. Кроме того, определение принадлежности какой-либо локальной группы разрывных нарушений к региональному разлому требует соответствующего уровня генерализации, что достигается лишь на основе использования материалов исследований разного масштаба. При геологическом картографировании, базирующемся преимущественно на данных маршрутной съемки, фиксируются лишь отдельные части, сегменты таких систем дислокаций. Отрицательную роль в сложившейся ситуации играют горно-таежные условия и высокая степень задернованности, закрытости территории Приморья. Благоприятные условия для заверки выделяемых на КС линейных аномалий – линейных аномалий – возникают лишь в пределах обрывистых речных долин и на морском побережье, где развиты коренные обрывистые берега.

В качестве основных признаков индикации разломных структур на КС обычно рассматривают: 1) линейные границы раздела двух или более участков территории с различным окрасом, плотностью фототона и структурой изображения; 2) прямолинейные формы рельефа (долины рек, уступы и др.) и ландшафта; 3) протяженные (непрерывные или дискретные) линейные выделы, полосы на снимках со своим набором характерных признаков, связанных, прежде всего, с рисунком, цветом и структурой фотоизображения. Обычно выделяется три градации линейных аномалий: локальные, региональные и планетарные, или трансрегиональные. В качестве наиболее мелких форм (4-й порядок) при наземных исследованиях рассматривают тектонические трещины, имеющие максимальную протяженность в десятки – первые сотни метров.

Важными достоинствами космогеологических исследований являются: экспрессность получения данных и анализа, возможность комплексирования КС разного масштаба и диапазонов спектра, совмещения различных геоморфологических, ландшафтных и других

признаков. Такие свойства КС, как обзорность и возможность определения скрытых под слоями рыхлых отложений и толщами воды систем дислокаций, чрезвычайно важны для определения блокового строения и выявления полной сети разрывных нарушений территорий и дна акваторий с относительно небольшими (до 70–100 м) глубинами [1, 3].

При геоморфологической и геологической индикации зон разрывных нарушений и заверке обнаруженных при дешифрировании КС линейных аномалий также акцентируется внимание на ряде признаков линейной упорядоченности ландшафтной и геологической сред. Это прямолинейные и дуговые очертания элементов рельефа и структурного плана, резкие линейные границы геологических тел, нарушения их целостности, первичной структуры залегания, наличие зон повышенных градиентов поля высот, гипсометрических уступов и др. Учитывается также цепочечное размещение даек, интрузивных массивов и других геологических объектов [1, 6 и др.].

Идентификация выделенных на КС линеаментов проводилась в пределах коренных берегов, обрывов на морском побережье, где существуют условия для оценки элементов залегания, строения и определения других свойств дислокаций. Полигонами для детальных исследований служили острова Попова, Русский, западный берег Амурского залива и другие участки побережья зал. Петра Великого [2–4]. Маршрутное изучение разрывных нарушений включало фотографирование береговых обрывов, описание выделяемых дислокаций, отбор необходимых образцов. Особенно информативно проведение таких работ в условиях наличия в разрезах геологических тел реперов. Примером может служить система позднемеловых силлов риолитов на мысе Родионова о-ва Путятина (рис. 1). Относительные смещения пластовых тел позволяют оценить здесь геодинамические типы разломов и масштабы тектонических подвижек. В ряде случаев в качестве реперов выступают сами зоны разломов, позволяя определить хронологическую последовательность формирования разрывов.

Важный показатель тектонической активности территории – плотность разрывных нарушений. Ее оценка (по результатам дешифрирования КС) проводилась на основе изучения общей протяженности зон разломов в пределах единичной площади. При таком подходе учитывается как их длина, так и количество в пределах элементарной ячейки. Зоны крупных (региональных и трансрегиональных) разломных структур выделяются на

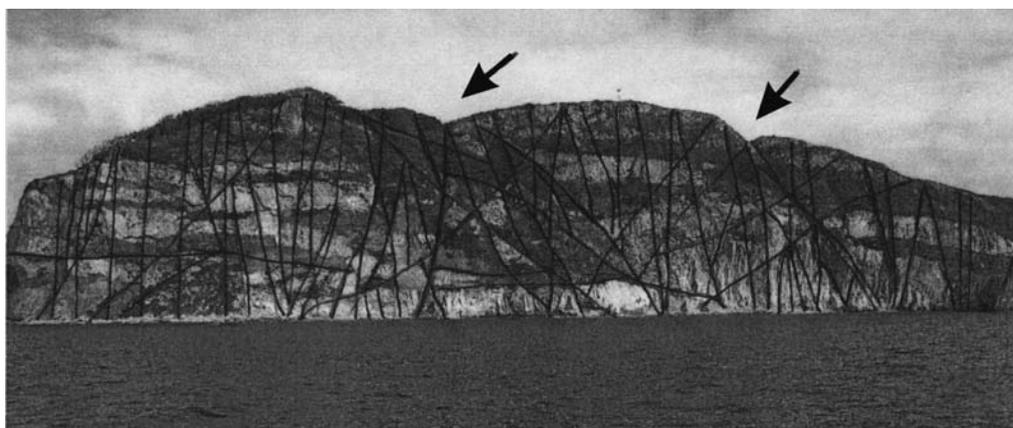


Рис. 1. Системы разломов юго-западной части о-ва Путятина (мыс Родионова). 1 – разрывные нарушения различного генезиса; 2 – осыпи, связанные с зонами разломов и сложенные рыхлым материалом, – индикаторы новейшей активности; 3 – понижения в рельефе, которые сопряжены с зонами разломов, активных на неотектоническом этапе тектогенеза. В качестве маркеров амплитуд тектонических смещений используются силлы (светло-серые тела) риолитовой экструзии позднемелового возраста, прорывающей толщу пермских алевролитов и песчаников раннего–среднего триаса



Рис. 2. Различная геоморфологическая выраженность зон разрывных нарушений в пределах берегового обрыва (южная часть о-ва Русский). 1–7 – геолого-геоморфологические объекты, сопряженные с зонами разломов: 1 – оползень, 2 – прибойная ниша, 3 – скальный откос, 4 – долина, 5 – курум, 6 – расщелина, 7 – сбросообвал

снимках как полосы с субпараллельным расположением двух и более линеаментов, зоны аномально высокой плотности тектонической трещиноватости. Как уже отмечалось ранее [3, 4], геоморфологическая выраженность разрывных нарушений на побережье зависит от их генетического типа, состава и свойств конформных пород, ориентировки относительно береговой линии и других факторов. Комплексирование геоморфологических и геологических данных позволяет выделять здесь такие объекты, как разлом-расщелина, разлом – прибойная ниша, разлом-сбросообвал, разлом-оползень, разлом-обрыв, разлом-осыпь, разлом-курум, разлом-долина, разлом-тальвег, разлом – скальный откос, совместимый с плоскостью сместителя или зеркалом скольжения (рис. 2). В качестве признаков новейшей активизации разрывных нарушений рассматриваются: подвижные осыпи, отсутствие почвенного слоя, гипсометрические уступы в верхней части обрывов и др. С обвалами, оползнями ассоциируются сбросовые дислокации.

Зоны дробления, кливажирования, брекчирования, как правило, трассируют разрывные нарушения со сдвиговой компонентой. С ними обычно связаны тальвеги долин водотоков, участки разгрузки трещинных вод в береговых обрывах. Опыт исследований показывает, что наиболее полный анализ и синтез разноплановой геолого-геоморфологической информации и материалов дистанционного зондирования из космоса для выявления и идентификации разрывных дислокаций «закрытых» территорий реализуются при морфоструктурном и морфотектоническом изучении территорий лишь с учетом данных изучения прибрежных полигонов [2, 3].

### **Материалы и результаты исследований**

На многих существующих в настоящее время геологических картах континентального побережья зал. Петра Великого показана относительно разреженная сеть

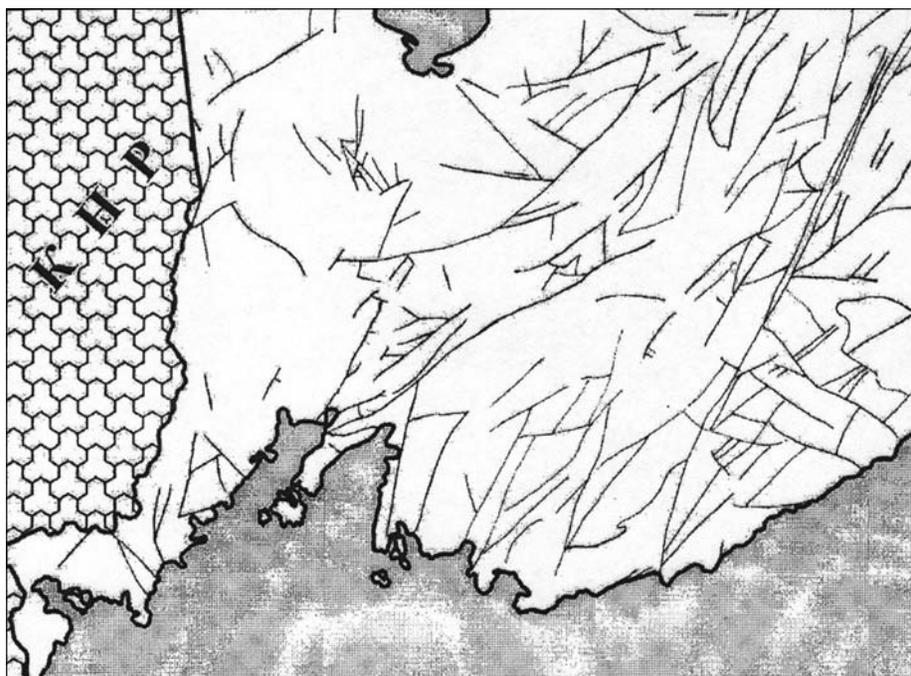


Рис. 3. Схема разломов южного Приморья по геологическим данным [5]

разломов при явном господстве разрывных нарушений северо-восточного направления. Примером может служить одна из новых карт региона [5] (рис. 3). Разломам других простираний на ней отводится второстепенная роль, в ряде случаев они не показаны вообще. В то же время по данным морфографической обработки цифрового рельефа и дешифрирования КС различных масштабов (рис. 4, 5) здесь отчетливо выделяются серии сквозных линейных фотоаномалий различного простирания и ширины, среди которых помимо северо-восточных установлены ортогональные (широтные, меридиональные) и северо-западные линеаменты, соотносимые с зонами разрывных нарушений соответствующего порядка.

Высокая плотность разрывных нарушений в пределах континентальной и островной суши обусловлена широким развитием комплексов пород позднего палеозоя, которые прошли несколько этапов тектономагматической активизации: только за мезозой–кайнозой их было более 10 [5]. Аномальные значения плотности разломов и тектонической трещиноватости характерны, в частности, для выступов кристаллического фундамента (Сергеевский массив) и участков масштабной дислоцированности (в зонах крупных разломов) позднепермских кислых вулканитов. Интересно, что максимальная плотность разрывов (до 140 на 1 м<sup>2</sup>) отмечается в андезитах миоценового возраста славянского комплекса островов Сибирякова, Антипенко, в пределах которых происходит совмещение тектонической трещиноватости и прототрещиноватости, связанной с разрядкой внутренних напряжений, возникших при остывании магматических тел.

Полученные новые данные о локальных и региональной сетях разломов меняют представления о блоковой структуре, геодинамике и истории геологического развития рассматриваемых территорий, что следует учитывать при решении широкого спектра практических задач (инженерная, рудная геология, гидрогеология, сейсмическое районирование и др.). О необходимости мультидисциплинарного подхода к выделению зон разломов свидетельствуют также результаты геолого-геоморфологического изучения островов зал. Петра Великого, общее число которых превышает несколько десятков. Большинство

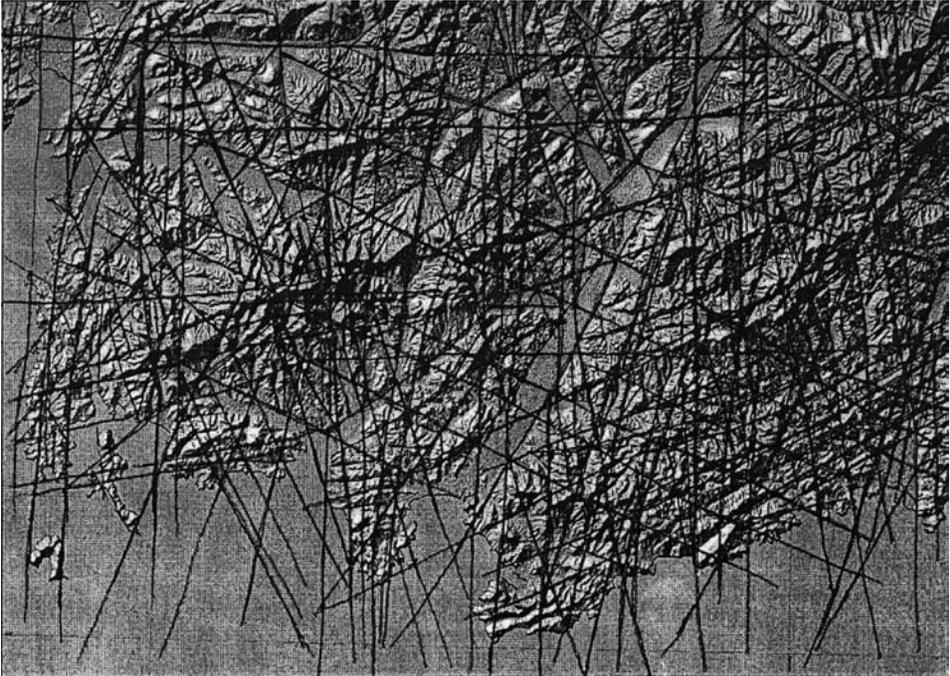


Рис. 4. Схема разломов юго-восточного Приморья по данным интерпретации цифровой модели «отмытого» рельефа. М-б 1 : 1 000 000. Выделены линеаменты, соотносимые с зонами разрывных нарушений разного порядка

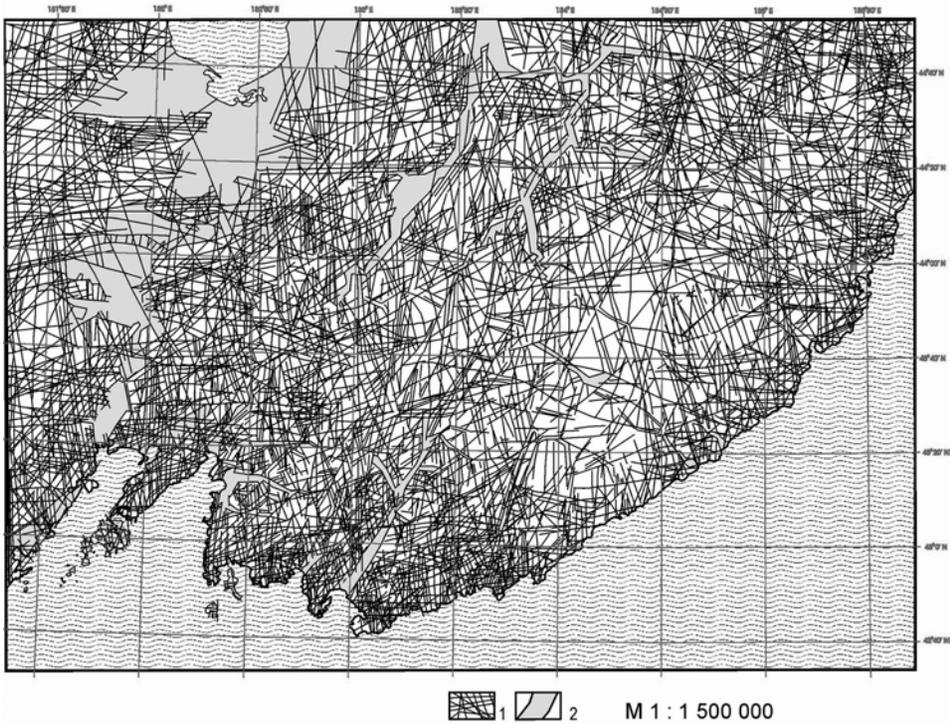


Рис. 5. Схема разрывных нарушений юго-восточного Приморья по данным дешифрирования КС. М-б 1 : 1 500 000 (Google Earth. 2016. Landsat). 1 – линейные аномалии фототона, идентифицируемые с зонами разрывных нарушений, 2 – территории с чехлом рыхлых отложений (грабен-долины и межгорные впадины). Крупным разломам соответствуют протяженные линеаменты, состоящие из нескольких суб-параллельных элементов

из них представляют собой возвышающиеся над водой скальные массивы, в различной степени расчлененные тектоническими процессами, абразией и эрозией. Высоты рельефа островной суши варьируют от первых десятков до 360 м, достигая максимальных значений на островах Аскольд (358 м), Путятина (340–360 м) и Русский (270–290 м).

Несмотря на целый ряд специфических деталей, для большинства островных территорий характерны многие общие черты строения и развития. В процессе детального геологического картирования на островах Попова, Рейнеке и Рикорда были выявлены принципиально сходные комплексы пород, имеющие преимущественно позднепалеозойский возраст. Среди интрузивных образований установлены такие породы, как габбро, габбро-диориты, диориты, гранодиориты, серые, розовые среднекристаллические и мелкокристаллические (гранофировые) красные граниты. Описаны субвулканические образования, являющиеся переходными от эффузивных к более глубинным фациям. Они представлены эктрузивными и дайковыми телами габбро-долеритов, андезитов, андезитовых порфиритов, фельзитов. Среди вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород отмечены лавы риолитов и риолито-дацитов, андезитов, агломератовые туфы и туфоконгломераты, туфогравелиты, туфоалевролиты андезитового состава и другие разновидности. Важные особенности строения некоторых островов (Русский, Путятина, Аскольд и др.) связаны с наличием фрагментов мезозойского структурного яруса субгоризонтально залегающих пород (нижне-, среднетриасовые отложения), соотносимого с чехлом эпигерцинской платформы [2].

Проведенное дешифрирование КС показало наличие на всех островах сложной системы разрывных дислокаций, большинство из которых не нашло отражения на геологических картах. В отличие от островов – реликтов континентальной окраины, сложенных преимущественно позднепалеозойскими породами, острова Антипенко и Серебрякова представляют собой молодые геологические формы, образование которых связано с внедрением эктрузий и перекомпенсированным накоплением миоценовых лав (славянский комплекс) на фоне общего опускания территории при заложении морфоструктуры Амурского залива. Поэтому общий рисунок выявленных на них разрывных дислокаций значительно отличается от систем дислокаций, установленных на других островах. Постро-

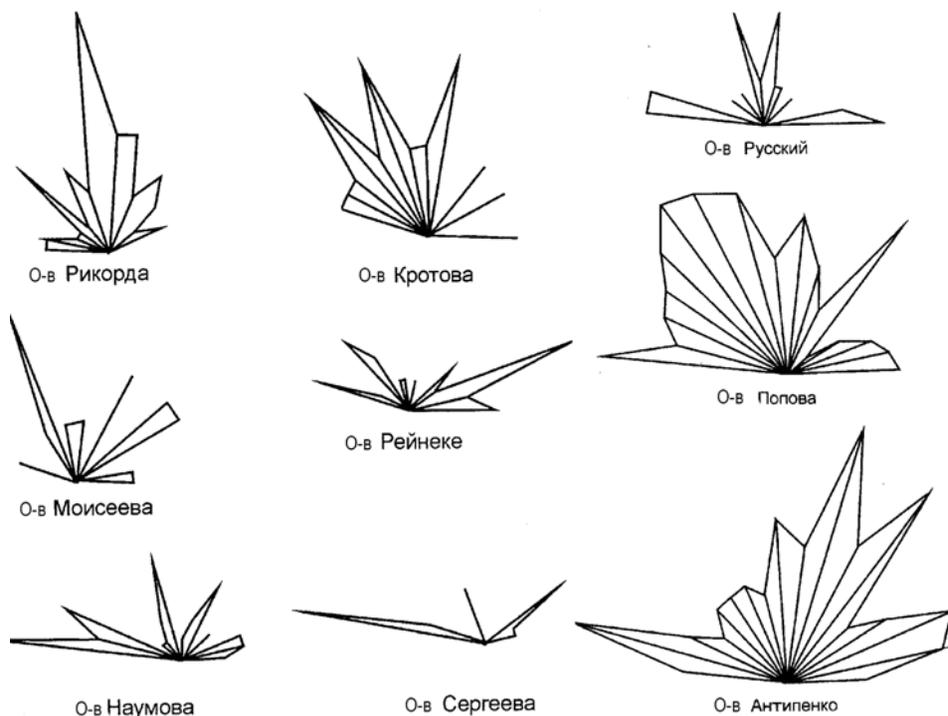


Рис. 6. Розы-диаграммы тектонической трещиноватости островов зал. Петра Великого

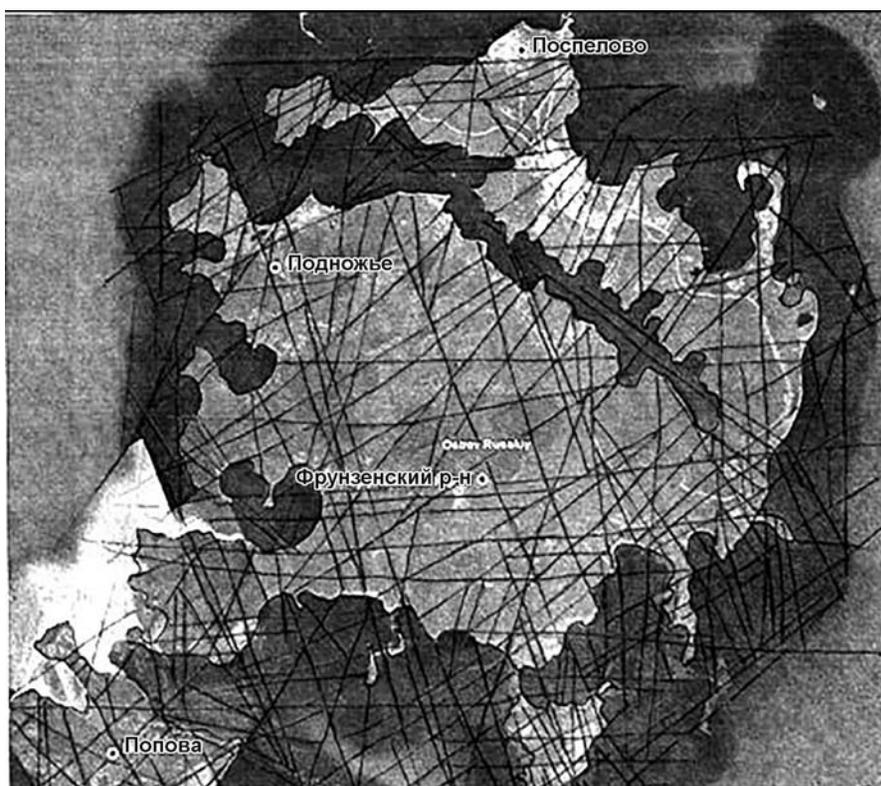


Рис. 7. Схема линеаментов (темные линии) о-ва Русский, сопоставляемых с зонами разрывных нарушений. Данные дешифрирования КС (Google Earth). М-б 1 : 100 000

енные розы-диаграммы (рис. 6) позволяют провести сравнительный анализ разрывных дислокаций, установить черты сходства и различия структурных планов, геодинамических условий разрядки напряжений на мелких и крупных островах. Коэффициент парной корреляции ориентировки разрывных нарушений (при средней выборке 40–50 замеров) для островов Антипенко и Сибирякова составляет 0,105, для Рикорда и Рейнеке – 0,023, Русский и Рейнеке – 0,37, Пахтусова и Рейнеке – 0,360, Наумова и Рикорда – 0,400, Наумова и Русский – 0,275, Антипенко и Попова – 0,019, Попова и Рейнеке – 0,778.

На геологической карте о-ва Русский (Сясько и др., 2002 г.) показана разреженная сеть разломов, которая иллюстрирует полное доминирование разрывных нарушений северо-восточного направления. Однако результаты дешифрирования КС (рис. 7) и морфографические построения на основе цифровой модели рельефа свидетельствуют о том, что на острове существует гораздо более сложная система разрывных нарушений различных простираний. Наряду с северо-восточными разломами здесь широко представлены разрывные нарушения ортогональной и северо-западных систем. В ходе геолого-геоморфологической заделки выявленных на о-ве Русский линеаментов сфотографированы береговые обрывы, проведен анализ геолого-геоморфологических характеристик разрывных нарушений. Детальное изучение в горном карьере крупной зоны субширотных разломов, определяющей контуры грабена бухты Труда, в частности, показало, что она представляет собой эшелонированную систему дизъюнктивных дислокаций мощностью не менее 500 м с многочисленными зеркалами скольжения, зонами рассланцевания и брекчирования горных пород.

Простирания структурных элементов рассматриваемой субширотной системы разломов укладывается в диапазон 100–130°. Как показывают результаты наблюдений, она имеет сложную инфраструктуру, включающую серии сколовых и оперяющих разрывов

разной ориентировки. Среди них выделяются взбрососдвиги, сдвиги, сбрососдвиги, формирование которых обусловлено изменениями тектонического режима, направлений сжатия и растяжения, а также трансформацией прототрещиноватости центрального массива гранитоидов. В пределах этой потенциально опасной в геодинамическом отношении субширотной зоны дизъюнктивных дислокаций находится такой крупный социально-хозяйственный объект, как мини-ТЭЦ университетского городка (рис. 8). По данным дешифрирования КС крупные зоны разломов выявлены и на п-ове Житкова, где расположены океанариум и аквапарк (рис. 9). Предварительный анализ показал наличие здесь взаимоперпендикулярной и диагональной систем блоковых и сдвиговых, сбрососдвиговых дислокаций. Сложные пространственные сочетания разломов разных направлений, явления их виргации, пересечения отражают как древний возраст сети дислокаций, так и изменения направлений векторов полей тектонических напряжений на протяжении истории геологического развития о-ва Русский.

Детальное геологическое изучение дизъюнктивных дислокаций юго-западного Приморья [9] показало существование как минимум двух планов тектонических деформаций и соответствующих изменений геодинамических условий их формирования. Для позднепалеозойского плана характерны векторы близширотного сжатия. Второй, мезозойский, этап тектогенеза отличает превалирование режима субмеридионального сжатия. На данном этапе исследований пока нет оснований распространить эти выводы на территорию островов. При этом несомненно, что часть дизъюнктивных дислокаций о-ва Русский отражает стадию формирования интрузивно-купольной структуры. Об этом говорит, в частности, концентрическое размещение блоковых структур, содержащих фрагменты толщи базальных конгломератов.

Общая высокая плотность систем разрывных нарушений на побережье зал. Петра Великого предопределена также контрастным, дифференцированным тектоническим



Рис. 8. Плоскости сместителей и зеркала скольжения крупной субширотной зоны разрывных нарушений в бухте Труда о-ва Русский. На заднем плане – трубы мини-ТЭЦ, которая находится в пределах этой системы дислокаций



Рис. 9. Разрывные нарушения по данным дешифрирования КС на п-ове Житкова о-ва Русский (территория океанариума и аквапарка)

развитием дислокаций континентальной окраины и грабенообразных структур дна прилегающих акваторий. В относительно узкой полосе их сочленения концентрируются поля напряжений и зоны их разрядки, формируются крупные гипсометрические ступени и реализуются связанные с ними деструктивно-абразионные и сбросово-оползневые процессы. Продолжающееся опускание Япономорской котловины обуславливает перманентную тектоническую активность прилегающей суши, что подтверждается проявлением в южно-приморской зоне перехода как мелко-, так и глубокофокусных землетрясений [8].

## Выводы

1. Разрывные нарушения являются важнейшими элементами геологического строения внутриконтинентальных, прибрежных районов и островов южного Приморья. Многообразие и сложность связанных с разломами ландшафтных и геолого-геоморфологических ситуаций обуславливают необходимость применения мультидисциплинарного подхода, комплекса различных методов и признаков для их выделения и идентификации.

2. При использовании материалов аэрофото- и космических съемок в ходе геолого-съёмочных работ «закрытых», горно-таежных территорий Приморья необходимо привлекать соответствующие космогеологические данные по прилегающим прибрежным полигонам.

3. Построенные розы-диаграммы линеаментов, соотносимых с разрывными нарушениями, позволяют провести сравнительный анализ преобладающих структурных направлений островных территорий, установить черты сходства и различия рисунка дизъюнктивных дислокаций мелких, крупных островов и прилегающего континентального побережья.

4. Отмечается, что ряд крупных социально-хозяйственных объектов о-ва Русский (мини-ТЭЦ, аквапарк и др.) расположен в зонах крупных разломов, которые представляют собой потенциально опасные в геодинамическом отношении структуры. На стадии инженерно-геологического исследования территорий, предназначенных для застройки,

только мультидисциплинарный подход гарантирует выявление полной сети разрывных нарушений, несущих потенциальную угрозу строениям.

5. Сведения о системах разломов – важных гидрогеологических структурах – одно их необходимых условий эффективного решения задачи водоснабжения островных территорий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ космических снимков при тектономагматических и металлогенических исследованиях / отв. ред. И.Н. Томсон. М.: Наука, 1979. 162 с.
2. Гаврилов А.А. Острова залива Петра Великого – важные структурные элементы Южно-Приморского участка зоны сочленения Евразийского континента и впадины Японского моря // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. С. 312–339.
3. Гаврилов А.А. Разрывные нарушения Южного Приморья как зоны геодинамического риска (по данным геолого-геоморфологического изучения побережий залива Петра Великого) // Вестн. ДВО РАН. 2014. № 4. С. 75–86.
4. Гаврилов А.А. Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей. Ст. 2. Локальные аспекты исследований (зал. Петра Великого) // Геоморфология. 2009. № 4. С. 64–73.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Третье поколение. Дальневосточная серия. М-б 1 : 1 000 000 / гл. ред. С.В. Коваленко. Владивосток: ОАО «Приморгеология», 2006. 2 л.
6. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев Э.Д. Основы линейной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.
7. Никифоров В.М., Дмитриев И.В., Старжинский С.С. Геоэлектрическая структура тектоносферы в зоне сочленения Япономорской впадины и Сихотэ-Алинской складчатой системы // Дальневосточные моря России. М.: Наука, 2007. Кн. 3. С. 61–85.
8. Олейников А.В., Олейников Н.А. Геологические признаки сейсмичности и палеосейсмология Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2001. 183 с.
9. Уткин В.П., Неволин П.Л., Митрохин А.Н. Позднепалеозойский и мезозойский планы деформаций юго-западного Приморья // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 4. С. 3–21.