

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕАМЕНТОВ И РАЗЛОМОВ ДНА РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Л.А. Маслов¹, В.М. Анохин²

¹*Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск*

²*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов
Мирового океана (ФГУП “ВНИИОкеангеология”), г. Санкт-Петербург*

Поступила в редакцию 16 июня 2008 г.

Изучена конфигурация линеаментно-дизъюнктивной сети российской части Японского моря в пределах листов К-52, К-53 с использованием геофизических и геоморфологических данных. Проведено структурное районирование дна этой акватории. Построены розы-диаграммы и выявлены закономерности направленности линеаментов и разломов для отдельных площадей дна и для всего региона. Проведено сопоставление направленности линейных структур российской части Японского моря с общей направленностью главных систем глобальной дизъюнктивной сети. Сделаны следующие выводы: о существовании в регионе единой линеаментно-дизъюнктивной сети с четырьмя главными системами направлений: субмеридиональной (0–5°), субширотной (86–90°), диагональной СВ (36–65°) и диагональной ЮВ (136–140°); о соответствии направлений этих четырех главных систем направлениям четырех главных систем глобальной дизъюнктивной сети (планетарной трещиноватости); о существенно ротационном генезисе выявленной сети; о том, что закономерности распределения и ориентации разломов и линеаментов определяются двумя взаимодействующими факторами – концентрацией напряжений и деформаций в областях градиента мощности слоя и вариациями скорости вращения Земли (первый фактор определяет место заложения разлома, второй – его ориентацию).

Ключевые слова: разломы, линеаменты, Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

Систематическое геолого-геофизическое изучение дна Японского моря продолжается в течение последних десятилетий силами ряда организаций. Тихоокеанская морская геологоразведочная экспедиция провела опытно-методическую геологическую съемку шельфа масштаба 1:200 000, включавшую эхолотирование, гидролокацию бокового обзора, сейсмоакустическое профилирование, гидромагнитную съемку, донный пробоотбор, бурение. Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН отработал комплексную геофизическую съемку, включавшую батиметрию, сейсмопрофилирование (НСП), сейсмическое зондирование, гравиметрию и магнитометрию, донный пробоотбор. ОАО “Дальморгеология”, “Дальморнефтегеофизика” произвели комплексные геолого-геофизические исследования на акватории. В настоящее время акватория Японского моря, входящая в пределы изучаемой площади, покрыта комплексной геофизической съемкой масш-

таба 1:1 000 000 (в том числе сейсмопрофилирование, гравиметрия и магнитометрия). Сделано несколько обобщающих работ, направленных на создание листов Государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 на листы К-52, 53 [3]. По результатам ГСЗ на исследуемой территории было установлено три типа земной коры, соответствующих основным морфоструктурным элементам. Континентальный тип коры характерен для складчатого обрамления моря и шельфовой его части, кора Центральной глубоководной котловины относится к субокеаническому типу. В пределах материкового склона, подводных возвышенностей, таких как Первенца, Тарасова, Богорова, Ямато, земная кора относится к субконтинентальному типу [10, 12, 16].

Несмотря на большой объем проведенных исследований, в строении дна северной части Японского моря имеется множество неясностей. В частности, остается открытым вопрос о возможном соответствии общей направленности сети линеамен-

тов и разломов дна Японского моря характеристикам общепланетной структурной сети, существование которой доказывается рядом исследований. Эта общепланетная сеть образована линеаменами и разломами четырех преимущественных направлений: С-Ю, З-В, СЗ-ЮВ и СВ – ЮЗ. Сеть имеет несколько названий – система планетарной трещиноватости, регматическая решетка, глобальная дизъюнктивная сеть.

Возражения оппонентов сводятся к тому, что на самом деле сети такой не существует [27], а есть лишь “разнопорядковая система делимости с хаотической или слабо выраженной анизотропной организацией” [13]. Окончательное решение этого вопроса – в будущем. На наш взгляд, такая сеть существует для разломов определенного генезиса, связанного с изменениями скорости вращения Земли и ее приливными деформациями. Несомненно, существуют разломы и линеаменты иного генезиса, связанного, прежде всего, с разрядкой эндогенной энергии. Необходимо лишь научиться различать те и другие.

Целью настоящей работы является исследование возможного проявления планетарной структурной сети (глобальной дизъюнктивной сети) на региональном уровне, в исследуемом районе Японского моря, и сопоставление общепланетных и региональных черт в структурном плане этого района. Целью работы является также выявление возможного механизма, или механизмов, способствующих образованию систем разломов и существующих в них закономерностей.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

В настоящее время акватория Японского моря, входящая в пределы изучаемой площади, покрыта комплексной геофизической съемкой масштаба 1:1 000 000 (в том числе сейсмопрофилирование, гравиметрия и магнитометрия), выполненной в основном Тихоокеанским океанологическим институтом Дальневосточного отделения РАН (ТОИ ДВО РАН).

Площадная геофизическая съемка выполнялась на специализированном научно-исследовательском судне типа “Профессор Гагаринский”. Измерения выполнялись по системе параллельных профилей, ориентировка которых менялась в зависимости от простирания основных морфоструктур и на разных участках была северо-западной, меридиональной и широтной. Расстояние между профилями составляет 5–10 миль. В результате выполненных исследований построены карты рельефа дна, аномалий силы тяжести, полного вектора напряженности геомагнитного поля, теплового потока, мощности осадочного чехла, рельефа акустического фундамента. На базе комп-

лекса полученных данных построены также скоростные и плотностные модели земной коры, карта рельефа поверхности Мохоровичича, определена площадь развития коры океанического типа в Центральной (Японской) котловине [16–18, 24, 26].

На дне Японского моря в пределах российской части листов К-52, 53 выделяются следующие тектонические зоны: шельф с континентальным склоном, глубоководная котловина с рядом подводных поднятий и северная часть поднятия Северное Ямато, наиболее крупного и древнего из всех поднятий района, что заставляет выделить его в отдельную тектоническую зону.

Геологический разрез акватории имеет двухэтажное строение, представленное осадочным чехлом и фундаментом. На шельфе мощность осадочного чехла неоген-четвертичного возраста достигает в среднем нескольких сотен метров, в составе преобладают диатомовые глины, туфопесчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки. Фундамент шельфа сложен палеозойско-мезозойскими известняками, сланцами, песчаниками, алевролитами, базальтами, дацитами, андезитами, прорванными K_2 гранитными интрузиями.

Глубоководная часть моря характеризуется практически горизонтальным залеганием пород осадочного чехла мощностью 1–2 км (четвертичные отложения, толща неогеновых обломочных, органогенно- и вулканогенно-обломочных отложений) на фундаменте палеоген-неогенового возраста базальтового, андезитового состава. Дно глубоководной части моря осложнено рядом подводных поднятий на поднятых блоках фундамента палеозойско-мезозойского возраста, в составе – базальты, реже – метаэффузивы, сланцы. Иногда с поднятиями связаны гранитные интрузии пермского (поднятие Ямато) и мелового (поднятия Первенца и Витязя) возраста. В пределах этих поднятий мощность осадочного чехла резко снижена, часто в вершинах поднятий породы фундамента выходят на поверхность дна [5–8, 10, 16–18].

Шельф и подводные поднятия отделены от ложа зонами разрывных нарушений. Кроме того, и шельф, и ложе, и поднятия сами подразделяются на блоки многочисленными разрывами.

В качестве исходного материала для исследования линейных тектонических структур использовался комплект геофизических карт северной части Японского моря масштаба 1:1 000 000 (листы К-52, 53), разработанный в 2002–2003 гг. специалистами ТОИ ДВО РАН Р.Г. Кулиничем, С.М. Николаевым, Т.Н. Колпацкиковой, М.Г. Валитовым. Комплект был переработан как геофизическая основа для создания комплекта ГГК-1000/3 в 2005–2006 годах специа-

листами ЗАО Всесоюзного института разведочной геофизики “Рудгеофизика” А.А. Лихачевым, ГИН РАН – А.В. Зайончеком и др. Комплект включает следующие карты:

- Карта аномального магнитного поля;
- Карта вертикального градиента магнитного поля;
- Карта полного горизонтального градиента магнитного поля;
- Карта псевдотеневого рельефа магнитного поля;
- Карта аномалий поля силы тяжести (редукция в свободном воздухе).

Кроме того, использовалась карта изогипс подошвы осадочного чехла, построенная на основании сейсмических и сейсмоакустических данных ТОИ ДВО РАН и ОАО “Дальморнефтегеофизика” специалистами Всесоюзного научно-исследовательского института океанология ФГУП “ВНИИОкеангеология”. Комплект карт К-52,53 находится в издании. Для исследования расположения линеаментов использовалась Батиметрическая карта масштаба 1:1 000 000 на листы К-52,53, построенная в 2005 г. силами Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института (ГНИН-ГИ) Министерства обороны России как морская топооснова для создания комплекта ГГК-1000/3.

В качестве дополнительных источников информации использовались Геологическая карта дна Японского моря м-ба 1:2 500 000 [10], комплект геологических карт ОАО “Дальморгеология” м-ба 1:1 000 000; комплект геологических карт ВНИИОкеангеология м-ба 1:1 000 000 [3] и другие материалы.

ТЕРМИНОЛОГИЯ И МЕТОДИКА

Прежде чем приступить к изложению методики исследования, поясним некоторые термины, используемые в настоящей работе.

Тектоническое нарушение (синоним деформация) – изменение формы пород на отдельных участках коры обычно под воздействием направленных сил. Могут быть пликвативными (без нарушения сплошности пород – складчатость) и дизъюнктивными (с нарушением сплошности пород – разрывы).

Разрывное нарушение (синонимы: **дизъюнктив**, **дизъюнктивная структура**) – тектоническое нарушение с разрывом сплошности пород; включает понятия **разлома** (разрыв со смещением разорванных частей) и **трещины** (разрыв без смещения разорванных частей).

Дизъюнктивная сеть – совокупность разрывных нарушений на данной площади.

Линеамент – линейная структура земной коры, выраженная в линейных формах рельефа поверхности, линейных геологических формах, линейных аномалиях физических полей Земли, имеющих прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями.

Линейная структура (линейный объект) объединяет понятия линеамента и разрывного (тектонического) нарушения.

Линеаментно-дизъюнктивная сеть – совокупность линеаментов и разрывных нарушений на данной площади, по-видимому, имеющих общий генезис.

Методика исследования включала линеаментный анализ геофизических карт, карты изопахит подошвы осадочного чехла и батиметрической карты с последующим сопоставлением получившегося рисунка линейных структур с существующими тектоническими построениями по данному региону.

Линеаментный анализ предусматривал следующие операции:

- выделение линейных объектов по рисунку магнитных и гравитационных аномалий (линейные зоны с наиболее высоким градиентом), по рисунку изопахит и изобат;

- сопоставление выделенных линеаментов с ранее построенными тектоническими и геологическими картами; на карте магнитного поля линеаменты выделены не только по магнитным аномалиям, но и с учетом гравитационных данных, а также с учетом линейных структур, выделенных ранее на тектонических и геологических картах. Все эти карты не приводятся в тексте, т.к. при всей своей многочисленности их вклад в общую картину линеаментов невелик. Причина – многообразие различий и приблизительности в рисовках структурного плана региона на тектонических/геологических картах у разных авторов. Мы сочли рациональным взять за основу схемы линеаментов линеаменты именно исходной карты магнитного поля, как наиболее информативной (сравним карту аномального магнитного поля с гравитационной, с картой теплового потока и др.). Покрывать изучаемую площадь линейными структурами более или менее равномерно позволяет только магнитометрическая основа (разумеется, с учетом всех иных данных, приводить которые в данной статье в виде отдельных карт/схем авторы сочли нецелесообразным);

- построение структурной схемы, куда сводились выделенные линейные объекты;

- разделение площади дна на зоны с относительно однородным рисунком линейных объектов;

- измерение азимутов простирания и длин линейных объектов в пределах выделенных зон;

- построение диаграмм направленности линейных объектов для каждой зоны, а также суммарных диаграмм с помощью пакета EXEL;

- сопоставление и анализ диаграмм направленности.

РАЙОНИРОВАНИЕ

Совокупность линейных объектов геофизических полей, по-видимому, отражает структурную раздробленность акустического фундамента, а сами линейные объекты – тектонические нарушения. Линейные объекты рельефа дна (линеаменты) также частично связаны с разломами фундамента и осадочно-чехла. В совокупности линейные объекты геофизических полей и линеаменты образуют т.н. линеаментно-дизъюнктивную сеть, характеристики направленности которой мы и хотели бы получить.

Элементы этой сети – линейные тектонические структуры – отражены на схеме линеаментов (рис. 1).

В дальнейшем принимается соответствие этих структур тектоническим нарушениям, что обосновывается также результатами предыдущих исследований [1–3, 19, 20]. Некоторые линейные структуры, выделенные по геофизическим признакам (линеаменты аномального магнитного поля), просматриваются также на батиметрической карте в зонах континентального склона и поднятий глубоководного ложа (рис. 2).

Структурный план изучаемой площади можно условно разделить на несколько зон, обладающих своим, более или менее характерным рисунком линеаментов – со своей плотностью и господствующей направленностью:

- западная часть шельфа (западнее мыса Поворотный);

- восточная часть шельфа;

- западная часть глубоководного ложа (западнее меридиана 135°);

- восточная часть глубоководного ложа российской части Японского моря;

- поднятие Ямато.

На батиметрической карте выделяются зоны:

- западная часть шельфа (западнее мыса Поворотный);

- восточная часть шельфа;

- глубоководное ложе;

- поднятие Ямато.

В пределах этих зон и проводились измерения направленности линейных структур.

НАПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ И РАЗЛОМОВ

Азимуты простирания разломов и линеаментов измерялись в пределах выделенных зон, результаты

заносились в электронную таблицу EXEL, затем в этом же пакете строились розы-диаграммы направленности. Ниже дается краткая характеристика особенностей направленности сети разломов и линеаментов, выраженных в розах- диаграммах, представленных на рисунках 3 и 4, соответственно.

Розы-диаграммы разрывных нарушений (структурная схема)

Шельф

Роза-диграмма западной части шельфа показывает явное преобладание субширотной системы разломов 86–90°, уверенное выделение диагональных систем 36–40°, 61–65° и 121–125°. На розе-диаграмме восточной части шельфа выделяются системы: 46–50°, 106–110°, 116–125°, 131–135°, 356–10°.

Суммарная роза-диаграмма по шельфу дает наличие следующих основных направлений структурной сети: широтное 86–90°, два диагональных 36–40° и 121–125° и заметное меридиональное направление 0–5°.

Глубоководное ложе

Структурный план глубоководного ложа западнее меридиана 135° обнаруживает следующие основные направления систем разломов: 0–5°, 86–90°, ряд диагональных систем между 46° и 80° с осью 66–70°, диагонали в ЮВ квадранте 121–150°. Имеются также слабо выраженные диагонали 26–30° и 171–175°. В восточной части ложа преобладают системы 0–5°, 41–45°, 86–90° и 136–140°.

Общий структурный план глубоководного ложа обнаруживает явное преобладание направлений 0–5°, 66–70°, 86–90°, 136–140°.

Поднятие Ямато

В рисунке разрывных нарушений поднятия Ямато преобладающую роль играют направления 61–65° и 76–80° при несколько подавленных 51–55° и 86–90°. Нельзя не заметить, что направленность систем Ямато резко отличается от таковой в других районах – отсутствует меридиональная система, широтная “подавлена” системой 76–80°. Таким образом, поднятие Ямато выпадает из общего структурного плана северной части Японского моря.

Общая характеристика направленности разрывных нарушений

Суммарная роза-диаграмма направленности разрывных нарушений изучаемой площади обнаруживает преобладание систем: 0–5°, 86–90°, ряд систем между 46° и 70° с осью 61–65°, 121–125° и 136–140°.

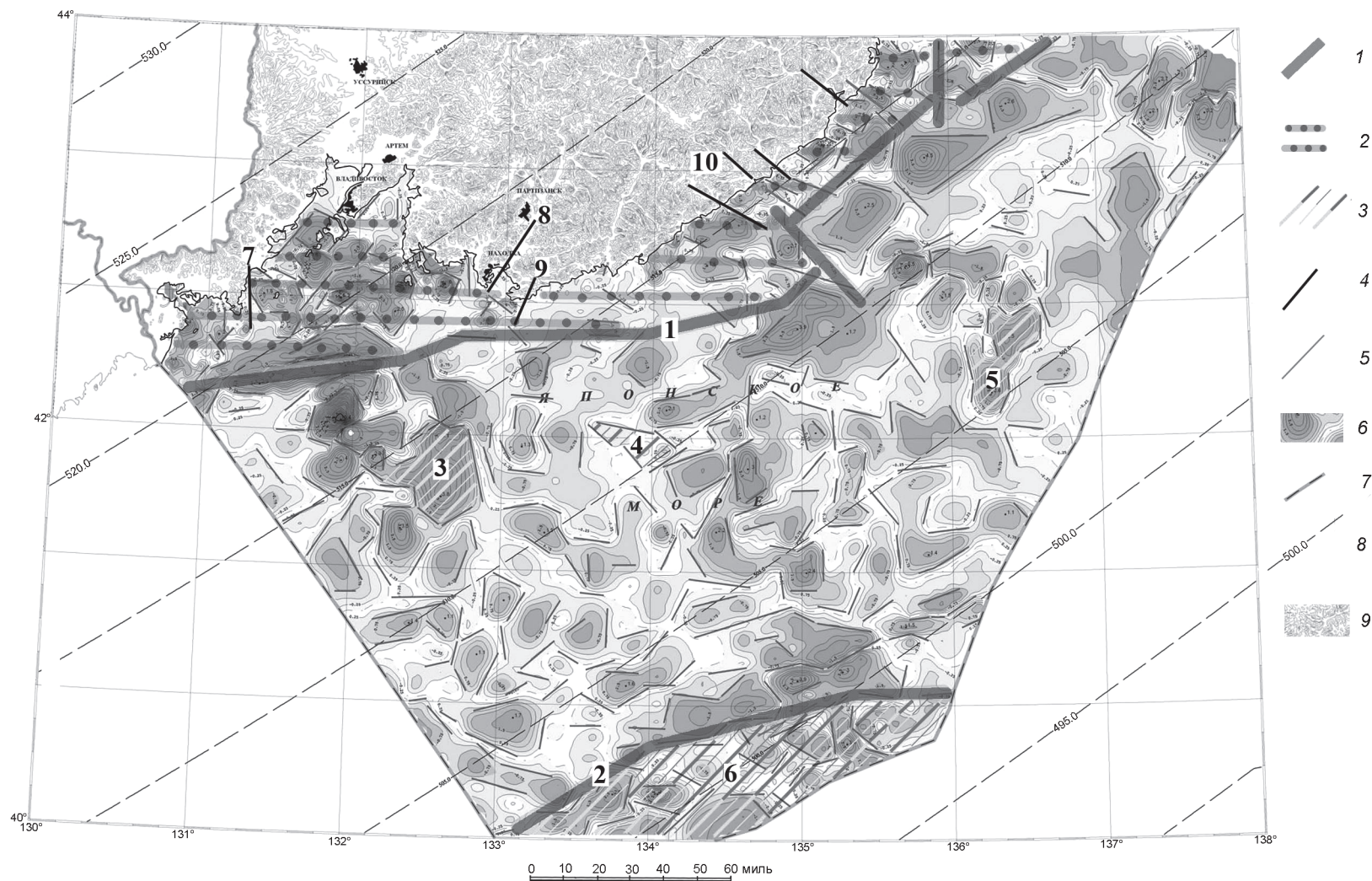


Рис. 1. Структурная схема акватории российской части Японского моря в пределах листов К-52,53.

1 – зоны глубинных разломов акватории (1 – Южно-Приморский разлом, 2 – разлом Ямато); 2 – зона шельфа; 3 – подводные поднятия глубоководного ложа (3 – Первенца, 4 – Тарасова, 5 – Богорова, 6 – Ямато); 4 – продолжения разломов суши на шельфе (7 – Западно-Приморского, 8 – Партизанского, 9 – Кривинского, 10 – Южно-Приморской группы разломов); 5 – линии разломов на территории акватории, выделенные по геофизическим данным; 6 – изолинии аномального магнитного поля; 7 – граница экономической зоны Российской Федерации; 8 – изолинии нормального магнитного поля Земли, 10^2 нТл; 9 – суша.

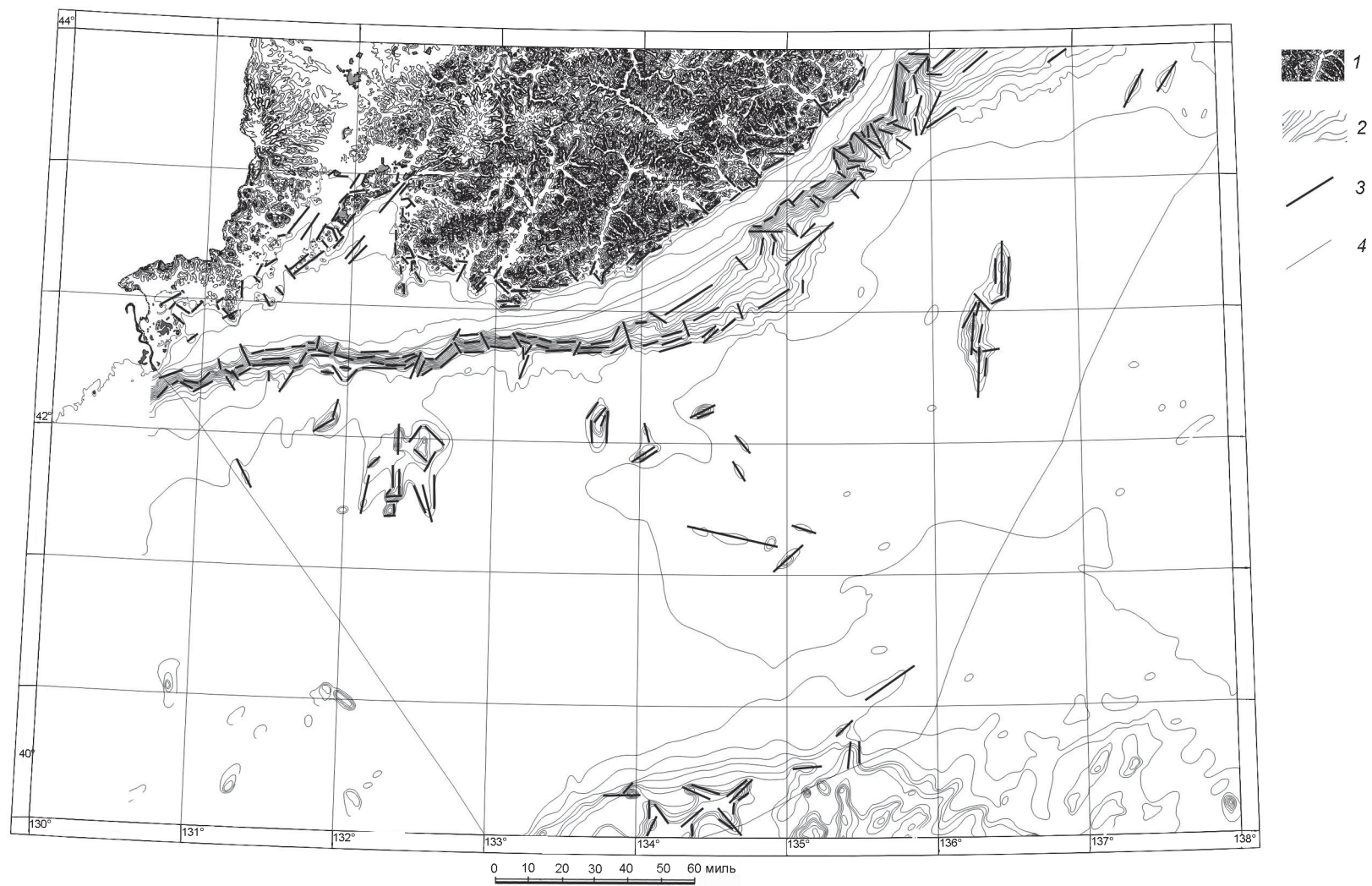


Рис. 2. Батиметрическая схема.

1 – площадь суши, 2 – изобаты, 3 – выделенные линеаменты, 4 – граница экономической зоны Российской Федерации.

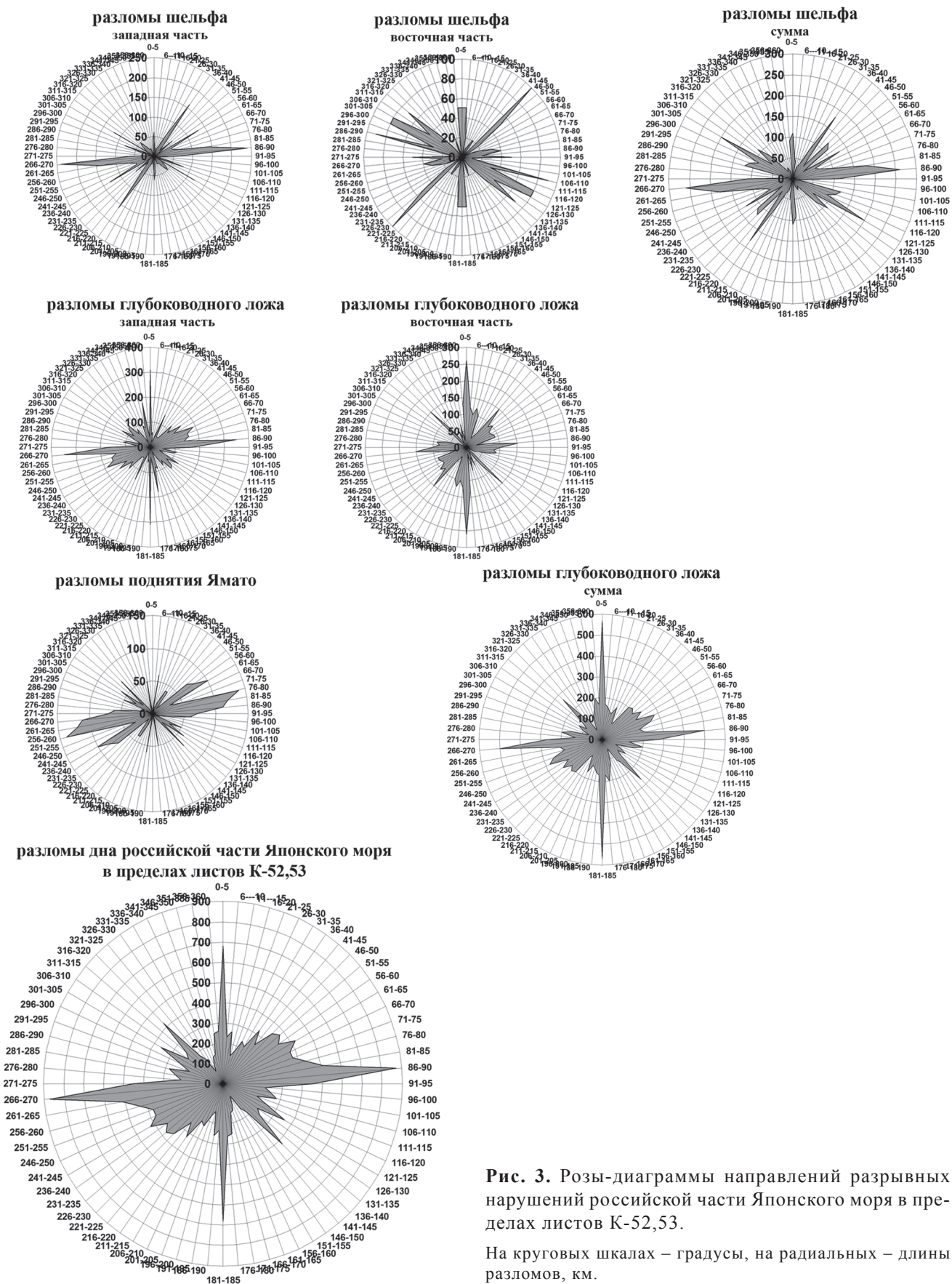


Рис. 3. Розы-диаграммы направлений разрывных нарушений российской части Японского моря в пределах листов К-52,53.

На круговых шкалах – градусы, на радиальных – длины разломов, км.

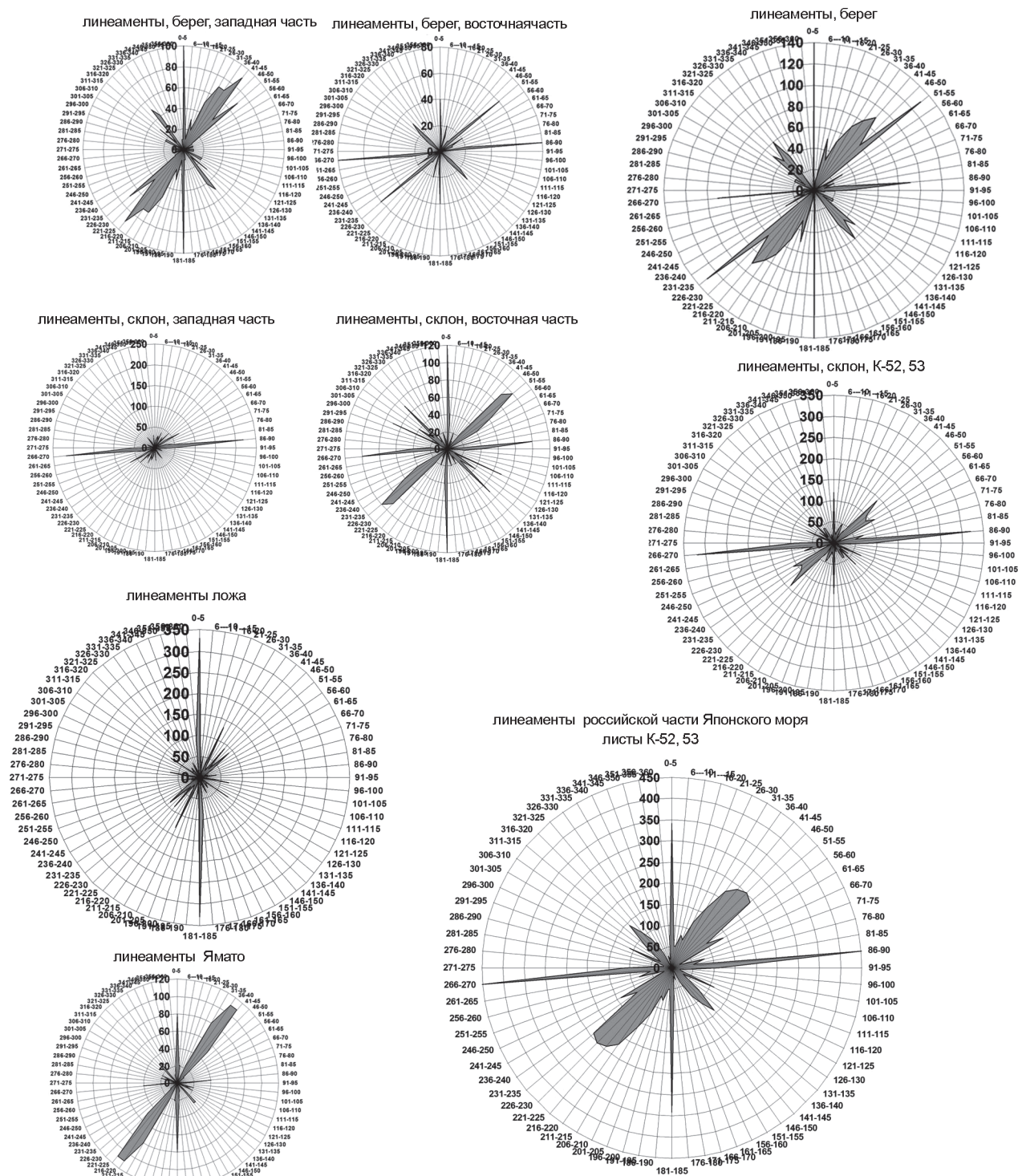


Рис. 4. Розы-диаграммы направлений линеаментов российской части Японского моря в пределах листов К-52, 53.

На круговых шкалах – градусы, на радиальных – длины линеаментов, км.

При рассмотрении всех роз-диаграмм становится очевидным резкое преобладание субширотно-субмеридиональной (ортогональной) системы разломов ($0-5^\circ$ и $86-90^\circ$). Везде присутствуют и диагональные системы, но они имеют довольно

широкий разброс. В северо-восточном квадранте этот разброс составляет около 40° – от 31° до 75° и далее вплоть до возможного “слияния” с субширотно-субмеридиональной системой. В юго-восточном квадранте диагональная система распадается на два луча – $136-$

140° (система глубоководного ложа) и 121–125°, принадлежащая шельфу. Большой разброс диагональных систем в северо-восточном квадранте предопределен, вероятно, некоторой сменой направленности разломов в западной части глубоководного ложа и особым, характерным структурным планом поднятия Ямато.

Все описанные особенности направленности сети разломов – наличие ортогональной и двух диагональных систем, резкая выраженность ортогональной системы и “расплывчатость” диагональных – довольно точно соответствует особенностям направленности сети планетарной трещиноватости, или глобальной дизъюнктивной сети [1, 3, 25, 29].

Розы-диаграммы линеаментов (батиметрическая карта)

Шельф

Спрявленные участки береговой линии в пределах изучаемой площади обнаруживают в розах-диаграммах следующие главные системы направлений: в западной части – 0–5°, 31–55, 141–145° (обращает на себя внимание отсутствие субширотной системы); в восточной части – 0–5°, 51–55°, 86–90° и 136–140° (здесь субширотная система преобладает над субмеридиональной). В суммарной розе-диаграмме хорошо видны ортогональная система, диагональные 41–45°, 51–55° и 131–145°.

Континентальный склон

В западной части континентального склона субширотная система (86–90°) практически является единственной. Это связано, в первую очередь, с субширотным простираем склона в этой его части. В западной части в структурном плане склона проявляются и субмеридиональная (0–5°), и субширотная (86–90°), и ряд диагональных систем (46–55°, 116–120°, 136–140°). Суммарная роза-диаграмма по континентальному склону показывает резкое преобладание субширотной системы при подавленных субмеридиональной и диагональных системах.

Глубоководное ложе

Линеаменты глубоководного ложа подчинены в основном субмеридиональной системе направленности (ввиду небольшой представительности данного направления оно выделяется условно). По-видимому, здесь сыграли свою роль многочисленные линейные элементы склонов подводных поднятий.

Поднятие Ямато

Линеаменты поднятия Ямато имеют совершенно иную направленность, чем линейные структуры геофизических полей того же поднятия. Здесь при

довольно заметной ортогональной системе наибольшее развитие получила диагональная система 36–45°, что, вероятно, связано с направленностью гряд на вершинной поверхности и склонах поднятия Ямато.

Общая характеристика направленности линеаментов

На суммарной розе-диаграмме направленности линеаментов отчетливо выделяются главные системы: ортогональная (0–5° и 86–90°), диагональная СВ (36–55°), диагональная ЮВ (136–140°). Как видим, линеаменты группируются по тем же направлениям, что и разломы, но еще более четко привязаны к четырем главным системам.

Сопоставление направленностей линейных структур

Сопоставление двух суммарных роз-диаграмм направленности линейных структур (рис. 5 А) выявляет полное совпадение ортогональной системы и довольно хорошее – обеих диагональных систем как для геофизических структур, так и для линеаментов.

Суммарная роза-диаграмма направленности линеаментно-дизъюнктивной сети акватории российской части Японского моря в пределах листов К-52,53 показывает четкую ортогональную систему, четкую диагональную ЮВ систему и довольно расплывчатую, но вполне выраженную с максимумом в пределах 46–55° диагональную СВ систему направлений.

ОБСУЖДЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Разломы играют важную роль в формировании структур Японского моря. Они отражаются в геофизических полях и выделяются на сейсмопрофилях. Среди них выделяются глубинные разломы, разграничивающие блоки с различным типом коры и прослеживающиеся на границах крупных морфоструктур – материкового шельфа и крупных подводных возвышенностей с Центральной глубоководной котловиной [6, 14].

На рассматриваемой акватории известны несколько главных разрывных нарушений, существование которых, по-видимому, можно считать бесспорным.

Южно-Приморский разлом (описан Р.Г. Кулиничем в 1976 г.) Прослеживается вдоль подножья материкового склона и отделяет шельф с континентальной корой от котловины с растянутой континентальной и океанической корой. Его простираем повторяет направление береговой линии и материкового склона и изменяется от субширотного на западе до северо-восточного на севере. По 135° меридиану он смещен примерно на 18–20 км в северо-западном на-

правлении поперечным разломом. В гравитационном поле он выражен непрерывной зоной минимумов силы тяжести от -20 до -40 мгал, протягивающихся от южной оконечности Корейского полуострова до Татарского пролива. В магнитном поле он выражается в виде положительных аномалий интенсивностью $100-300$ нТл, протягивающихся прерывистой широкой полосой вдоль материкового склона от западной границы площади до возвышенности Первенца и от траверза бухты Преображения в сторону Татарского пролива [15].

Разлом Ямато. Проходит вдоль подножья северного склона возвышенности Ямато, отделяя ее от Центральной котловины. Он отчетливо выражается в магнитном поле в виде узкой зоны положительных аномалий ($100-300$ нТл). Зона разлома дугообразной формы проявляется, по данным НСП, в акустическом фундаменте и в осадочном слое [7, 16].

Большая часть разломов, выраженных в континентальных структурах, прослеживается на шельфе и материковом склоне в виде линейных аномалий геофизических полей, а также в виде линейных форм рельефа – каньонов и уступов.

Ряд известных разрывных нарушений суши имеют продолжения на шельфе: Западно-Приморский разлом, Партизанский разлом, Кривинский разлом, Южно-Приморская группа разломов. Спрявленные участки береговой линии по геолого-геофизическим данным также являются дизъюнктивами. Многочисленные разрывы ограничивают поднятия глубоководного ложа – Первенца, Тарасова, Богорова.

Все эти разломы выделяются в линейных структурах геофизических полей, отображенных на структурной схеме, где разрывные нарушения, сохраняя общее направление, выглядят как серии отрезков, образующих сильно изломанные линии. При этом общая направленность и расположение отрезков совпадают с генеральными направлениями общеизвестных разломов.

Южно-Приморский разлом имеет в своей западной части субширотную генеральную направленность, что отражено в субширотных лучах соответствующих роз-диаграмм, и является частью субширотной системы региона. Восточная ветвь этого разлома имеет СВ направление, в общем укладываемое в диапазон $46-55^\circ$, что также видно в лучах роз-диаграмм восточной части шельфа и склона, а также на суммарной розе-диаграмме.

Структуры разлома Ямато меняют свое направление с запада на восток с $51-65^\circ$ до $76-90^\circ$, что усиливает субширотную систему в суммарной розе-ди-

аграмме, но в целом мало соответствует стандартному структурному плану с четырьмя главными направлениями. Это объясняется тем, что поднятие Ямато, по-видимому, имеет происхождение, резко отличное от происхождения прочих тектонических объектов региона.

Южные морские окончания известных разломов суши хорошо выражены в структуре геофизических полей изучаемой акватории и имеют следующие направления: Западно-Приморский разлом (шельфовое продолжение – Гамовский каньон) – субмеридиональное направление; Партизанский разлом (левый сдвиг с амплитудой до 20 км, пермско-мелового возраста) – СВ направление, 29° ; Кривинский разлом (раннемеловой надвиг) – СВ направление, 20° ; Южно-Приморская группа разломов (кайнозойские ЮВ сбросы) – ЮВ направление, $115-125^\circ$. Эти направления соответствуют субмеридиональной, СВ и ЮВ системам, соответственно, общей структурной сети. Короткие разломы, ограничивающие подводные поднятия Первенца, Богорова, частично – Тарасова, имеют в основном меридиональную, широтную, СВ и ЮВ диагональные направления, что также хорошо отражено в соответствующих розах-диаграммах.

Рядом исследователей [3, 9, 13, 19] была выделена т.н. планетарная трещиноватость, или регматическая решетка, покрывающая весь земной шар и имеющая четыре главные системы направлений: субширотную-субмеридиональную (ортогональную), диагональную СВ и диагональную ЮВ. В предыдущих публикациях авторы настоящей работы [1-3, 25, 30] пришли к выводу о существовании в земной коре регулярной глобальной дизъюнктивной сети с характеристиками направленности: $0-10^\circ$, 45° , $80-90^\circ$, 135° (рис. 5В), не зависящими от региона, типа коры, типа и возраста структуры.

Нетрудно заметить, что системы разломов и линейных элементов дна Японского моря (рис. 5Б) в пределах листов К-52,53 обнаруживают закономерности простираний, характерные для других регионов и, следовательно, являются фрагментом глобальной линейно-дизъюнктивной сети планеты. В целом можно сказать, что дно северной части Японского моря разбито на блоки множеством разрывных нарушений, которые при всей кажущейся хаотичности расположены в соответствии с общими для всего региона закономерностями направленности. Сопоставление характеристик направленности приводит к выводу о принадлежности системы разломов региона глобальной дизъюнктивной сети.

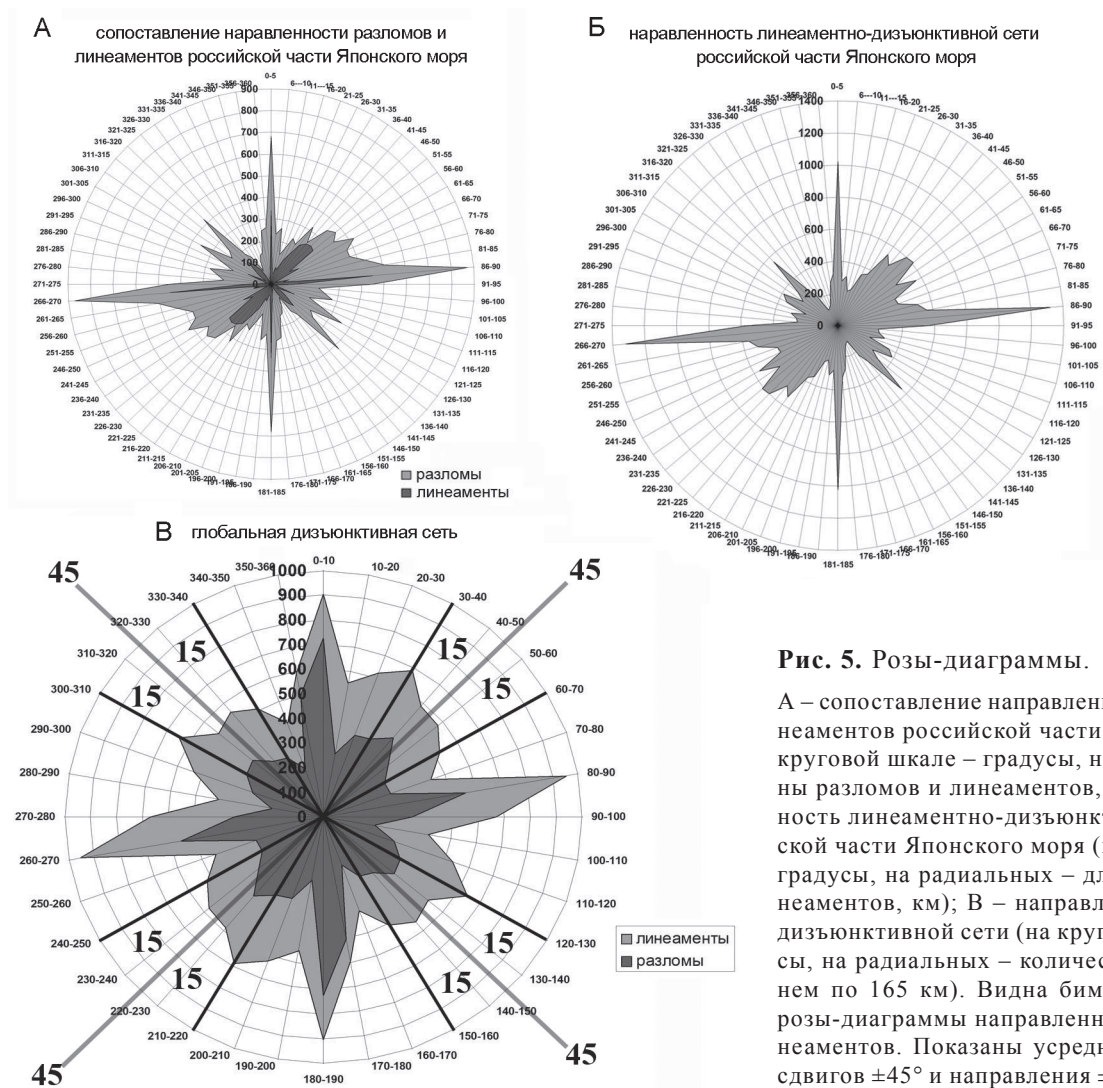


Рис. 5. Розы-диаграммы.

А – сопоставление направленности разломов и линеаментов российской части Японского моря (на круговой шкале – градусы, на радиальных – длины разломов и линеаментов, км); Б – направленность линеаментно-дизъюнктивной сети российской части Японского моря (на круговой шкале – градусы, на радиальных – длины разломов и линеаментов, км); В – направленность глобальной дизъюнктивной сети (на круговой шкале – градусы, на радиальных – количество замеров в среднем по 165 км). Видна бимодальная структура розы-диаграммы направленности разломов и линеаментов. Показаны усредненные направления сдвигов $\pm 45^\circ$ и направления $\pm 15^\circ$ локальных максимумов диаграммы.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДИЗЪЮНКТИВНОЙ СЕТИ

Как уже отмечалось, на обобщенной (сводной) диаграмме направленности (рис. 5В) выделяются четыре системы разломов и линеаментов планеты: меридиональная, широтная и две диагональные, ориентированные под углом 45° к предыдущим двум. Расчеты механических напряжений, вызванных изменениями сжатия земного эллипсоида (вариациями и вековым замедлением скорости вращения планеты) сделаны М. Стовасом [23]. Согласно этим расчетам, главные нормальные напряжения ориентированы в широтном и долготном направлениях, а главные касательные напряжения ориентированы под углом 45° к направлениям нормальных напряжений. Этот результат находится в замечательном соответствии со схемой ориентации разломов и линеаментов, приведенной выше.

Обращает на себя внимание, что диагональные диаграммы направленности имеют бимодальный характер с двумя относительными максимумами, отстоящими примерно на 15° по обе стороны от направлений 45° .

Эту закономерность можно объяснить, принимая во внимание закон Кулона. Изменения скорости вращения Земли вызывают соответствующие изменения сжатия земного эллипсоида (увеличение или уменьшение) и соответствующие изменения главных широтных и долготных напряжений. При этом, согласно закону Кулона, главные касательные напряжения и сдвиги ориентируются к оси растяжения-сжатия под углом $A=45^\circ \pm \beta/2$ (рис. 6). Этот результат указывает на то, что структуры, выделяемые нами как линеаменты, по крайней мере статистически, являются разломами.

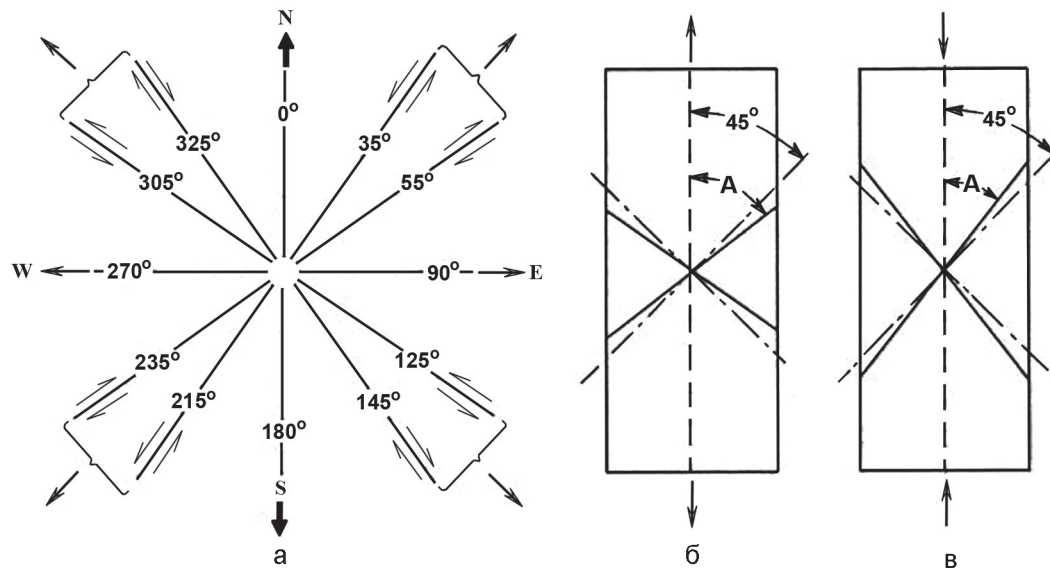


Рис. 6. Направления сдвигов с учетом закона Кулона (с использованием [9]).

а – схематизация розы-диаграммы направленности, рис. 5В, б – направления сдвигов с учетом закона Кулона при растяжении, в – направления сдвигов с учетом закона Кулона при сжатии.

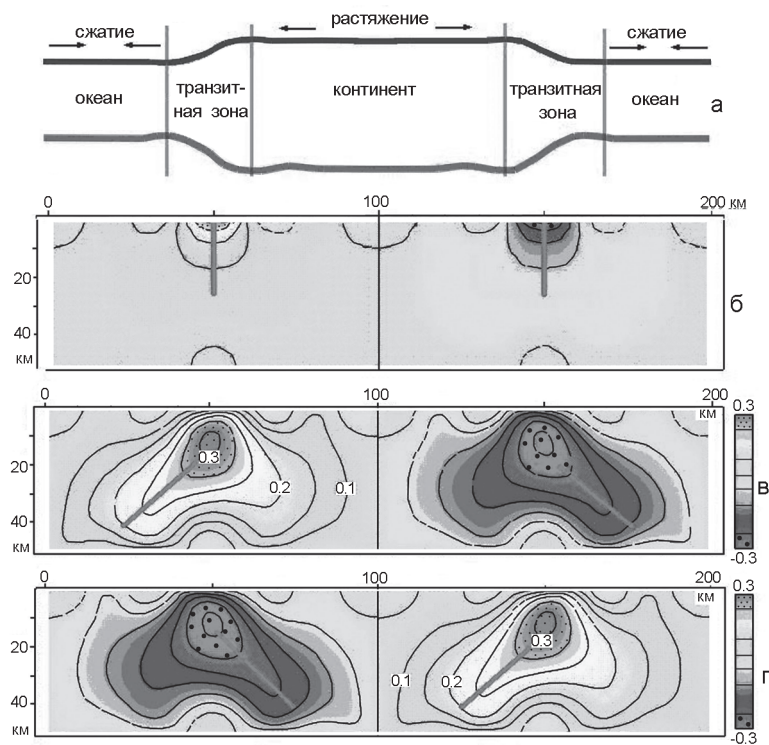


Рис. 7. Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния тяжелого слоя в окрестности области резкого изменения топографии и мощности слоя [31].

а – схема модели, б – направление области критического состояния материала при отсутствии дополнительного растяжения или сжатия, в – направление области критического состояния материала при дополнительном растяжении, г – направление области критического состояния материала при дополнительном сжатии.

Для многих материалов угол β составляет 30–35°, что хорошо согласуется с диаграммой рис. 5В.

Другая особенность распределения разломов и линеаментов – это их приуроченность к областям резкого изменения топографии и/или мощности слоя. Таковы, прежде всего, разломы Северо-Японский и Ямато. Математическое моделирование распределения напряжений и деформаций в тяжелом слое [21, 22, 28, 31] показало, что максимальные касательные напряжения, интенсивность напряжений и деформаций, а также энергия деформаций концентрируются в областях резкого изменения топографии и/или мощности слоя (рис. 7), вызывая образование разломов как в самом слое, так и в подстилающей субстанции. В зависимости от знака и магнитуды дополнительных напряжений, приложенных к слою (напряжения растяжения или сжатия), область критического состояния зоны градиента мощности слоя может быть вертикальной либо направленной в сторону блоков большей или меньшей мощности. В нашем случае, глубинный Южно-Приморский разлом слабо наклонен в сторону Японского моря [28], что свидетельствует о преобладающем растяжении структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разрывные нарушения и линеаменты северной части Японского моря образуют единую линеаментно-дизъюнктивную сеть с четырьмя главными системами направлений: субмеридиональной (0–5°), субширотной (86–90°), диагональной СВ (36–65°) и диагональной ЮВ (136–140°).

2. Направления четырех главных систем линеаментно-дизъюнктивной сети дна северной части Японского моря соответствуют направлениям четырех главных систем глобальной дизъюнктивной сети (планетарной трещиноватости). Следовательно, сеть линейных структур северной части Японского моря (подобно многим иным регионам) является фрагментом глобальной дизъюнктивной сети.

3. Закономерности распределения и ориентации разломов и линеаментов определяются двумя взаимодействующими факторами: концентрацией напряжений и деформаций в областях градиента мощности слоя и вариациями скорости вращения Земли. Первый фактор определяет место заложения разлома, второй – его ориентацию.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам Ю.Я. Ващилову и Р.Г. Кулиничу за конструктивные и ценные замечания, способствовавшие улучшению работы. Похоже, что рецензия на настоящую работу была последней в жизни Ю.Я. Ващилова. В памяти одного из авторов, Л.А. Маслова, Юрий

Яковлевич навсегда останется как замечательный ученый и хороший человек. Вечная ему память.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин В.М. Связь локальных нефтегазоносных структур шельфа Баренцева моря с сетью разрывных нарушений // Докл. РАН. 1999. Т. 368, № 6. С. 790–793.
2. Анохин В.М., Одесский И.А. Характеристики глобальной сети планетарной трещиноватости // Геотектоника. 2001. № 5. С. 3–9.
3. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб.: Недра, 2006. 161 с.
4. Берсенов И.И. Схема тектонического районирования Приморского края // Геология СССР. Т. XXXII. 1969.
5. Берсенов И.И., Горюва М.Г., Леликов Е.П. Геология окраинных морей Тихого океана. Владивосток: ТОИ ДВНЦ СССР, 1975. 185 с.
6. Берсенов И.И., Леликов Е. П., Безверхний В. Л. и др. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 140 с.
7. Васильев Б.И., Карп Б.Я., Строев П.А., Шевалдин Ю.В. Строение подводной возвышенности Ямато по геофизическим данным. М.: МГУ, 1975. 98 с.
8. Васильковский Н.П., Безверхний В.Л., Деркачев Л.Н. и др. Основные черты геологического строения дна Японского моря. М.: Наука, 1978. 264 с.
9. Воронов П.С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. Л.: Наука, 1968. 122 с.
10. Геологическая карта дна Японского моря. 1:2 500 000 / Ред. И.И. Берсенов, Л.И. Красный. СПб.: ТОИ, ВСЕГЕИ, 1984.
11. Геология и полезные ископаемые России. Т. 5. Кн. 2 Дальневосточные моря, их континентальное и островное обрамление / Ред. В.К. Ротман. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 301 с.
12. Геологическое строение западной части Японского моря и прилегающей суши / Отв. ред. Е. Н. Леликов. Владивосток: Дальнаука, 1993. 207, 210 с.
13. Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю. Энергетическая перколяция – ресурс новых идей в геотектонике // Вестн. Воронеж. Ун-та. Геология. 2001. Вып. 11. С. 7–22.
14. Изосов Л.А., Кулинич Р.Г., Мельниченко Ю.И., Емельянова Т.А. Разломная сеть Южно-Приморского сектора зоны сочленения континент-океан // Проблемы морфотектоники Западно-Тихоокеанской переходной зоны. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 103–113.
15. Карта аномального магнитного поля СССР. 1:200 000. Серия Приморская / Ред. Е.И. Демина Авторы объясн. зап.: В.В. Кучук, Г.К. Шило, Л.С. Толмачева, В.В. Ханин. М., 1986.
16. Карнаух В.Н. Карп Б.Я. Тектоника Японской котловины по результатам сейсмических исследований (Японское море) // Тихоокеан. геология. 1997. Т. 16, № 5. С. 10–24.
17. Карнаух В. Н., Карп Б. Я., Цой И. Б. Сейсмостратиграфия осадочного чехла и процессы осадконакопления на возвышенности Первенца и ее окрестностях (Японское море) // Океанология. 2005. Т. 45, № 1. С. 126–139.
18. Карнаух В. Н., Карп Б. Я., Цой И. Б. Сейсмостратигра-

- фия осадочного чехла и условия осадконакопления на шельфе и материковом склоне в районе залива Петра Великого (Японское море) // *Океанология*. 2007. Т. 47, № 2. С. 282–293.
19. Каттерфельд Г.Н. Планетарная трещиноватость и линейменты Земли, Венеры, Марса, Меркурия и Луны. СПб.: Изд-во Междунар. фонда истории науки, 2000. 203 с.
 20. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линейментной тектоники М.: Недра, 1986. 144 с.
 21. Кулинич Р.Г., Маслов Л.А., Гильманова Г.З., Комова О.С. Плотностная модель и напряжения в земной коре северной части Японского моря // *Тихоокеан. геология*. 1998. Т. 17, № 2. С. 108–114.
 22. Маслов Л.А. Геодинамика литосферы Тихоокеанского подвижного пояса. Хабаровск-Владивосток: Дальнаука, 1996. 200 с.
 23. Стюарт М.В. Некоторые вопросы тектогенеза. Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 222–274.
 24. Шевалдин Ю.В., Балабашин В.И., Сафронов О.Б., Зимин П.С. Новые данные о геотермике дна Японского моря // *Геофизика дна Японского моря*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 76–83.
 25. Anokhin V.A., Maslov L.A. Systems of Faults and Lineaments in the Earth's Crust, Mars, Moon and other Planets. Regularities in Orientation, Fractal Statistics, Metallogeny and Origin. 2006 AGU Fall Meeting. San Francisco, USA, December 10–14.
 26. Hirata N., Karp B.Ya., Yamaguchi T. et al. Oceanic crust in the Japan Basin of the Japan Sea by the 1990 Japan-USSR expedition // *Geophys. Res. Letters*. 1992. V. 19, N 20. P. 2027–2030.
 27. Hyden R.S., Blair R.W., Garvin J., Short N.M. Geomorphology from Space: Ch. 12. Future Outlook. http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/GEO_12/index.shtml
 28. Maslov L., A., Komova O., Stresses in the Upper Mantle of Asia-Pacific Transition Zone Using its Density Model // *Geology and Geophysics of the Japan Sea* / Ed. N. Isezaki a.o. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company. Japan. 1996.
 29. Maslov L.A., Anokhin V.A. The Earth's decelerated rotation and regularities in orientation of its surface lineaments and faults. *Earth and Space Sciences*. Elsevier. 2006, February, 54/2. P. 216–218.
 30. Maslov L.A., Anokhin V.A. Solid planetary tides and differential motion of deep layers // *NCGT Newsletters*. 2007. N 43, June, www.ncgt.org. P. 39–45.
 31. Maslov L., Mathematical Modeling of Stress and Deformation Fields in Continental Margins // *Applied Mathematical Modeling*. Elsevier. 2008. Submitted.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

L.A. Maslov, V.M. Anokhin

Principles of directivity of lineaments and faults at the bottom of the Sea of Japan Russian part

The configuration of the lineament-disjunctive network of the Sea of Japan Russian part was studied on the sheets K-52 and K-53 using geophysical and geomorphological data. Structural zoning of this water area bottom was performed. Azimuths of the lineament and fault strike were measured. Roses of lineament and fault directivity for certain areas of the sea bottom and for the whole region were constructed. Principles of directivity of lineaments and faults were shown. A comparison was made between the linear structures directivity of the Sea of Japan Russian part and the general directivity of the main systems of the global disjunctive network. The following conclusions were made. 1. A single lineament-disjunctive network with four principal systems of directions exists in the region: submeridional (0–5°), sublateral (86–90°), NE-diagonal (36–65°), and SE-diagonal (136–140°); 2. Conformity of the directions of these four principal systems with the directions of four main systems of the global disjunctive network (planetary fracturing); 3. The essentially rotational genesis of the identified network; 4. The patterns of distribution and orientation of faults and lineaments are determined by two interacting factors: stress and deformation concentration in the areas of the gradient of bed thickness, and variations of the rate of rotation of the Earth (the first factor determines the place of the fault origin; the second, its orientation).

Key words: fault, lineaments, the Sea of Japan.