

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРОЕНИИ ПОДВОДНЫХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ БОГОРОВА, ТОЯМА И ПРИЛЕГАЮЩИХ УЧАСТКОВ ДНА ЯПОНСКОГО МОРЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

© 2022 г. А. А. Гаврилов*

Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

**E-mail: gavrilo@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 09.08.2021 г.

При использовании 3D моделей цифрового рельефа, создаваемых на основе глобальной базы батиметрических данных и методик GEBCO 2014 в рамках программы Google Earth, впервые получены данные о качественных и количественных характеристиках структурных элементов подводных возвышенностей Богорова, Тояма и прилегающих участках дна Центральной котловины Японского моря. Установлено, что исследуемые возвышенности представляют собой комплексы палеовулканических построек центрального типа, образующих с разрывными нарушениями и узлами их пересечений единые тектономагматические системы. Определены параметры, морфологические характеристики, особенности внутреннего строения (типы инфраструктур) палеовулканических структур, выявлены пространственные и иерархические (два ранга) системы разрывных нарушений и очаговых образований. Крупные концентрические группировки палеовулканов идентифицируются с проекциями мантийных диапиров. Полученная информация позволяет с новых позиций оценить адекватность существующих моделей формирования и развития окраинно-континентальной впадины Японского моря.

Ключевые слова: Японское море, подводная возвышенность, вулканоструктура, линеамент, разлом, очаговая система, рельеф, цифровая модель, морфоструктура

DOI: 10.31857/S0205961422030058

ВВЕДЕНИЕ

Визуализация цифрового рельефа, создаваемая на основе глобальной базы батиметрических данных GEBCO 2014 при 3D моделировании (<http://Ocean3dprojects...>) и материалов дистанционного зондирования Земли из космоса в рамках программы Google Earth открывает принципиально новые возможности для изучения геоморфологии и геологии дна морей и океанов. Особенно целесообразно применение данных дешифрирования получаемых изображений при изучении подводных возвышенностей и выступов акустического фундамента, которые отличаются относительно небольшим чехлом рыхлых отложений. Основные задачи предлагаемой работы – индикация и идентификация структурных элементов подводных возвышенностей Богорова (ПВБ), Тояма (ПВТ) и прилегающих участков дна Японского моря на основе имеющейся в открытом доступе батиметрической GEBCO 2014 и космической информации (Google Earth), а также опыта применения методик геоморфологических, космогеологических и морфотектонических

исследований вулканогенных областей суши и дна прилегающих акваторий ряда территорий Дальнего Востока России (Гаврилов, 2017, 2020, 2021). В соответствии со спецификой геологического строения и развития региона главные объекты исследований – разрывные нарушения и очаговые структуры.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для увеличения контрастности и лучшего восприятия деталей изображения подводного рельефа копировались на прозрачную основу и анализировались при подсветке снизу. В качестве основных признаков линейных аномалий (линеаментов), соотносимых с зонами разрывных нарушений на изображениях (Google Earth), рассматривались: 1) протяженные (непрерывные или дискретные) узкие линейные или более широкие полосовые аномалии фототона, отличающиеся набором характерных черт, связанных с цветом, рисунком и структурой, или системой мелких деталей, элементов; 2) линейные границы разделов двух или более участков территории с

различным окрасом, плотностью фототона; 3) дуговые, прямолинейные контуры береговых линий континентальной и островной суши, впадин, поднятий, уступы континентального и островных склонов; 4) цепи, ряды кольцевых аномалий, блоков и других форм или морфоструктурных элементов рельефа, указывающих на линейную упорядоченность объектов в геологической и геоморфологической средах. Контроль выделяемыми линеаменами цепей кольцевых аномалий, соотносимых с палеовулканическими постройками, а также границ впадин и поднятий, связь с ними ориентировки грабен и горных хребтов подтверждают правомерность подобной интерпретации (Гаврилов, 2009, 2020, 2021). Ранее проведенные геоморфологические и геолого-геофизические исследования (Геология, 1987; *Geology...*, 1996) показали наличие на дне Японского моря многочисленных разрывных дислокаций следующих основных направлений: 270–275°, 310°, 350–0°, 10°, 20°, 45–55°, 65°, 80°. Были выделены и описаны Центрально-Японский, Тоямский, Садовский и другие региональные глубинные разломы, отчетливо выраженные в рельефе и геофизических полях (Геология..., 1987; Сигова, 1990).

Индикация очаговых систем на суше предполагает использование комплекса ландшафтных, геоморфологических, геологических, геофизических данных и материалов дистанционного зондирования из космоса. В зависимости от размеров, ранга, возраста выделяемых объектов и степени изученности территории набор используемых признаков и показателей меняется (Космическая геология, 1983; Кольцевые..., 1987 и др.). Постоянными признаками остаются: круговой, кольцевой рисунок и концентрическое строение выделяемых аномалий фотона, поля высот, геофизических полей; кольцевая геометрия геологических тел, структур; радиально-концентрическая зональность геоморфологических, геологических и геофизических характеристик объектов; наличие упорядоченного расположения элементов внутреннего строения — моно-полиядерного, ядерно-сателлитного и орбитально-сателлитного унифицированных типов инфраструктур (Гаврилов, 1990, 2017).

Более сложны индикация и идентификация линейных и кольцевых аномалий изображений дна акваторий на больших глубинах, где рельеф отображается на основе комплексирования данных, полученных различными системами спутниковой альтиметрии (цифровые модели высот геоида, уклонения отвесных линий, аномалий силы тяжести в свободном воздухе), результатов эхолотных съемок и измерений. Точность определений значений гравитационного поля может достигать 5 мгал, а разрешение изображений — 20 км. Считается, что в условиях расчлененного рельефа

с перепадом высот от нескольких сотен метров и более гравитационные аномалии в свободном воздухе в значительной степени отражают топографию, в то время как гравитационный эффект плотностных неоднородностей верхних этажей геологического разреза Земли играет второстепенную роль (Лебедев, 2013; Smith, Sandwell, 1994). В зоне сочленения суши и прилегающих акваторий программа Google Earth использует комплекты адаптированных друг к другу сканерных космических снимков местности (суша) и цифровых моделей рельефа дна прилегающих акваторий. Использование таких данных, как размеры островов, подводных возвышенностей, мысов и других реперных объектов, позволяет уточнить параметры выделяемых на изображениях линейных, кольцевых аномалий и соотносимых с ними природных объектов. Известно, что GEBCO 2014 объединяет данные международных, национальных, региональных научных и научно-производственных организаций, институтов и комплекса доступных экспедиционных батиметрических измерений, приведенных к узлам 30 секундной градусной сетки, начиная с глубин 200 м. Высокая разрешающая способность изображений СЗ сектора Японского моря определяется синтезом материалов спутниковой альтиметрии и данных батиметрических карт, полученных в ходе детальных эхолотных съемок, проведенных в этом районе Тихоокеанским океанологическим институтом им В.И. Ильичева (ТОИ) Дальневосточного отделения РАН и другими научными, научно-производственными организациями России и Японии. Пространственное разрешение цифровой модели рельефа дна океана GEBCO 2014 составляет 0.5 дуговой минуты или 0.93 км (<http://Ocean3dprojects...>).

Достоверность выделения кольцевых аномалий фототона, соотносимых с проекциями очаговых структур в пределах ПВБ, ПВТ и прилегающих участков абиссальной равнины Центральной котловины, континентального, островного склонов и шельфа подтверждается рядом данных. Это — выдержанность диапазона параметрических характеристик кольцевых аномалий на различных участках дна, расположенных друг от друга на десятки и более км; отчетливая связь аномалий с куполообразными или воронкообразными формами рельефа, имеющих радиально-концентрическую батиметрическую зональность; их упорядоченное, с элементами трансляционной симметрии, размещение в пределах полос выделяемых линеаментов, соотносимых с зонами магмоконтролирующих разломов; наличие принципиально похожих особенностей внутреннего строения кольцевых аномалий, имеющих дуговые, кольцевые и радиальные элементы, концентры и моно- и полядерный, ядерно-сателлитный и орбитально-сателлитный унифици-

цированные типы инфраструктуры, установленные для очаговых систем.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ БОГОРОВА, ТОЯМА И ДНА ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

В соответствии с имеющейся батиметрической картой дна северо-западной части Японской (Центральной) котловины (Карнаух, Цой, 2010), ПВБ состоит из двух небольших линейных поднятий, разделенных седловиной шириной около 5 км (рис. 1). Эти картографические построения основаны на результатах эхолотных промеров, полученных в 14 рейсах научно-исследовательских судов ТОИ ДВО РАН 1990–2005 гг. При оценке параметров возвышенностей в качестве граничной выбрана изобата 3600 м, которая характеризует максимальные глубины этого района Японского моря. Длина северного хребта, вытянутого в субмеридиональном (отклонение к СВ) направлении, превышает 35 км, ширина варьирует от 17 до 22 км (южный сегмент). Протяженность южного хребта, имеющего меридиональную ориентировку, равна 48 км при средней ширине 22 км. Минимальные глубины на северном хребте составляют 2070 м, на южном — 1300 м. Относительно дна прилегающей абиссальной равнины их высоты укладываются в диапазон 1500–2300 м. По данным глубинного сейсмического зондирования (Карп и др., 2007; Прокудин и др., 2018), земная кора в Центральной котловине и в пределах подводного поднятия относится к океаническому типу. Мощность ее приближается к 8.5 км, с учетом осадочного слоя, составляющего 2 км. По материалам проведенного драгирования выходов акустического фундамента в геологическом строении ПВБ принимают участие базальты, трахиандезиты и трахиты с абсолютными датировками от 18 до 6.5 млн лет. Несмотря на некоторое несоответствие стратиграфической шкале, исследователи (Геология..., 1987; Леликов и др., 2001) относят эти образования к среднемиоцен-плиоценовому комплексу.

Приведенная схема акустического фундамента показывает наличие вокруг ПВБ серии различных по размерам выступов, которые, видимо, соответствуют погребенным подводным возвышенностям и палеовулканическим структурам (рис. 2). Наиболее крупные поднятия расположены между ПВБ и континентальным склоном, ограничивая с юга Крайнюю депрессию. Более мелкие фиксируются на ее восточных и северных бортах. Высокая (до 40%) пористость базальтов, и наличие пирокластического материала в осадках (Карнаух,

Цой, 2010) указывают на высокую насыщенность магмы летучими компонентами (газы, флюиды) и сочетание эффузивного и взрывного механизмов извержений.

В соответствии с данными сейсмического профилирования, в Центральной котловине Японского моря развиты два структурно-вещественных комплекса осадочного чехла (Карп и др., 2007). Судя по немногочисленным материалам глубоководного бурения (скважины ODP 795, DSDP 301), верхний — сложен диатомовыми илами, пелитовыми и алевритовыми отложениями, содержащими прослойки песчано-алевритовых фракций осадков и вулканических пеллов. Нижний образован аргиллитами среднемиоценового возраста. Роль акустического фундамента играют брекчированные, массивные базальты, андезитобазальты, представляющие собой части покровов и палеовулканических построек. Именно эти породы были вскрыты скважиной ODP 795, которая пробурена на западном склоне подводного хребта Окусири, расположенного на восточном борту Центральной котловины.

Показательно, что в центральных частях глубоководных котловин слои пород осадочного чехла залегают горизонтально. Угловые, стратиграфические несогласия и признаки дислоцированности пород появляются лишь на бортах котловины (Геология..., 1987; Geology..., 1996 и др.). Приведенные далее материалы дешифрирования изображений показывают наличие в центральной части Центральной (Япономорской) котловины лишь небольшого числа кольцевых аномалий, соответствующих с очаговыми структурами, и соответственно почти полное отсутствие признаков позднекайнозойской (плиоцен-плейстоцен) вулканической активности.

Помимо подводных возвышенностей, в ходе предшествующих исследований (Геология..., 1987; Сигова, 1990) в Центральной котловине, были выявлены отдельные крупные вулканы (Галагана, Кольцо и др.) диаметром 20–30 км, но число их невелико. Крупные скопления кольцевых форм рельефа и связанных с ними очаговых систем фиксируется лишь к северо-востоку от ПВБ в районе ПВТ и подводного хребта Окусири. Характеризуясь океаническим типом земной коры (Карп и др., 2007; Прокудин и др. 2018), ПВТ расположена на расстоянии около 150 км от северо-западного побережья о. Хоккайдо и представляет собой группу палеовулканов, образующих систему купольных поднятий и прилегающих плато. Грabenами широтной и северо-восточной ориентировки поднятие разделено на два относительно крупных блока (западный и восточный), границы которых определяются сериями пересекающихся широтных, меридиональных и северо-восточных разломов. В отличие от ПВБ геологических и гео-

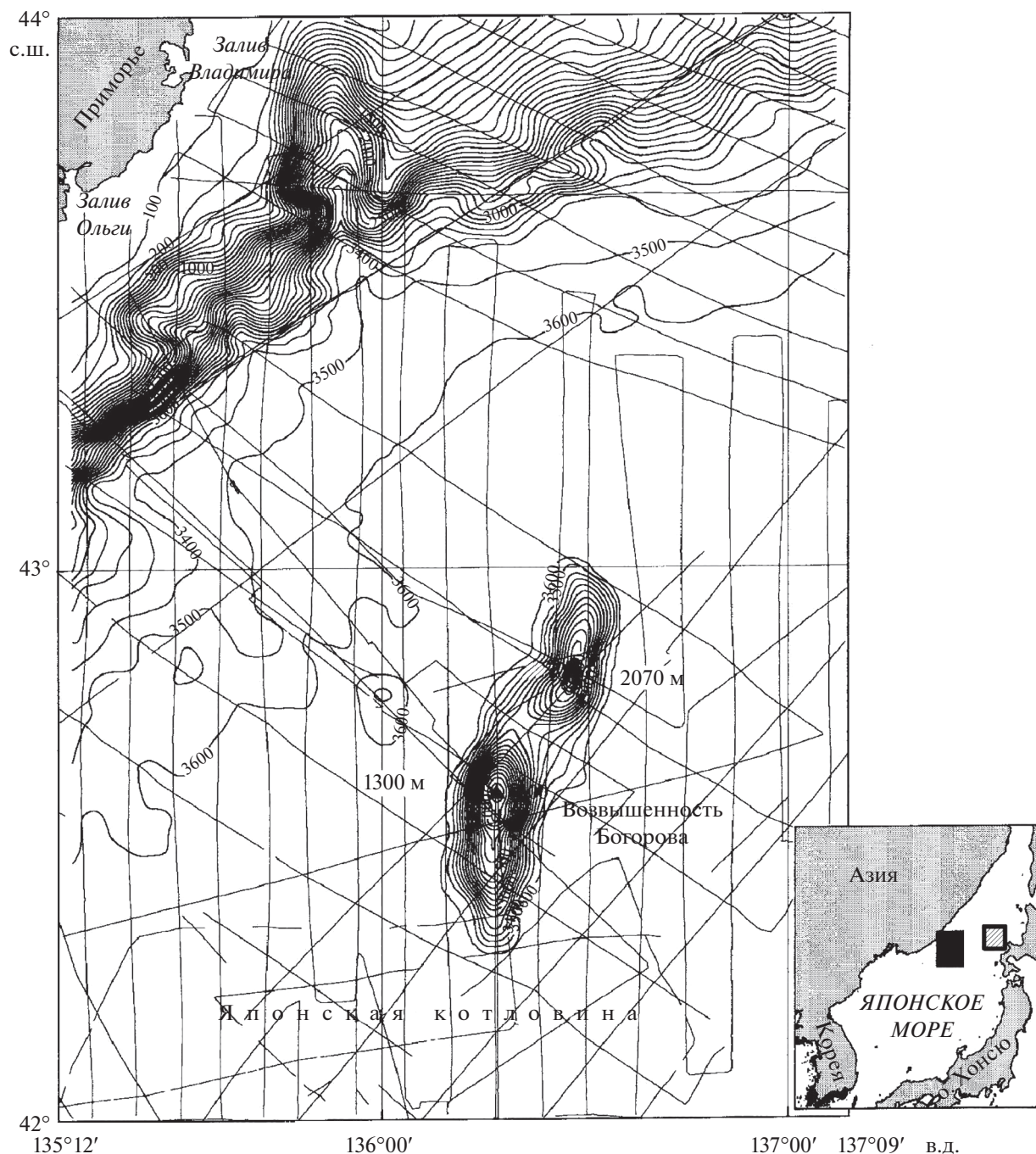


Рис. 1. Батиметрическая карта района расположения подводной возвышенности Богорова и прилегающих участков дна Центральной (Японской) котловины. Тонкие линии – профили эхолотных промеров. Черные треугольники – вершины возвышенностей, цифры рядом – значения глубин над вершинами (Карнаух, Цой, 2010). На врезке прямоугольниками показана позиция районов более детальных исследований на мелкомасштабной схеме: черным цветом – подводной возвышенностью Богорова, серым – с подводной возвышенностью Тояма.

физических данных о строении ПВТ немного. По результатам драгирования (Геология..., 1987; Geology..., 1996), основу этого поднятия образуют породы среднемиоцен-плиоценового трахибазальтового комплекса, состоящего из трахибазальтов, базальтов, трахиандезитов, трахитов.

Восточнее находится подводный хребт Окусири, удаленный от берегов о. Хоккайдо на расстояние 90–100 км (см. рис. 4) и имеющий меридиональную ориентировку. Вместе с подводными поднятиями Ребуно-Монеронским и Каман-Мусаси, он определяет главные особенности морфо-

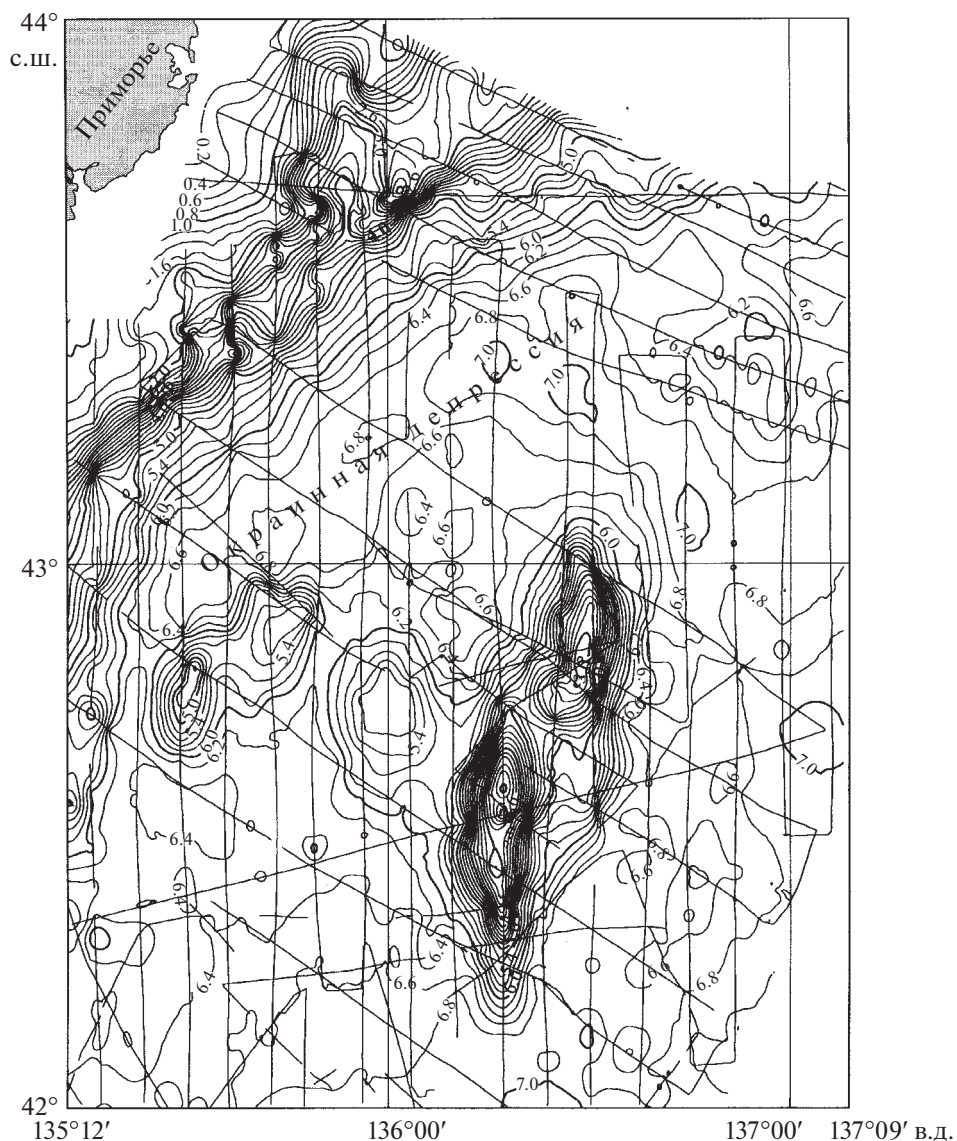


Рис. 2 Карта поверхности акустического фундамента района расположения подводной возвышенности Богорова. Изогипсы проведены через 0.2 с. Тонкие линии – сейсмические профили (Карнаух, Цой, 2010).

логии рельефа и строения островного склона Хоккайдо. Отдельную группу положительных морфоструктур в хребте Окусири образуют подводные поднятия Сякотан и Ширибеши (Сигова, 1990). Драгированные в его пределах прибрежно-морские олигоценовые терригенные отложения указывают на наличие в этот исторический период небольших островов, связанных с вершинами вулканического хребта. Его образование – следствие масштабного накопления значительных объемов эффузивного материала в зоне глубинного разлома на борту Центральной котловины. При ее дальнейшем опускании в среднем-позднем миоцене хребет оказался ниже уровня моря. Главная роль в строении этого линейного поднятия отводится неогеновой осадочно-вулканоген-

ной толще и щелочным оливиновым базальтам, трахибазальтам, реже трахиандезитам. В основании разреза здесь выделяют туфогенно-терригенные образования (аргиллиты, туфы, конгломераты). Выше залегают алевролиты, туфодиациты, туфоаргиллиты, диатомовые глины, песчаники, туфогенные (пепловые) глины. В позднем миоцене появляются диатомовые глины, диатомиты, глины. Породы плиоценового возраста не установлены (Геология..., 1987). По другим данным (Geology..., 1996), в основании разреза залегают также позднеолигоценовые базальтоиды. Результаты геофизических работ показывают, что это подводное вулканическое сооружение отличается континентальным типом земной коры мощностью 15–20 км (Прокудин и др., 2018).

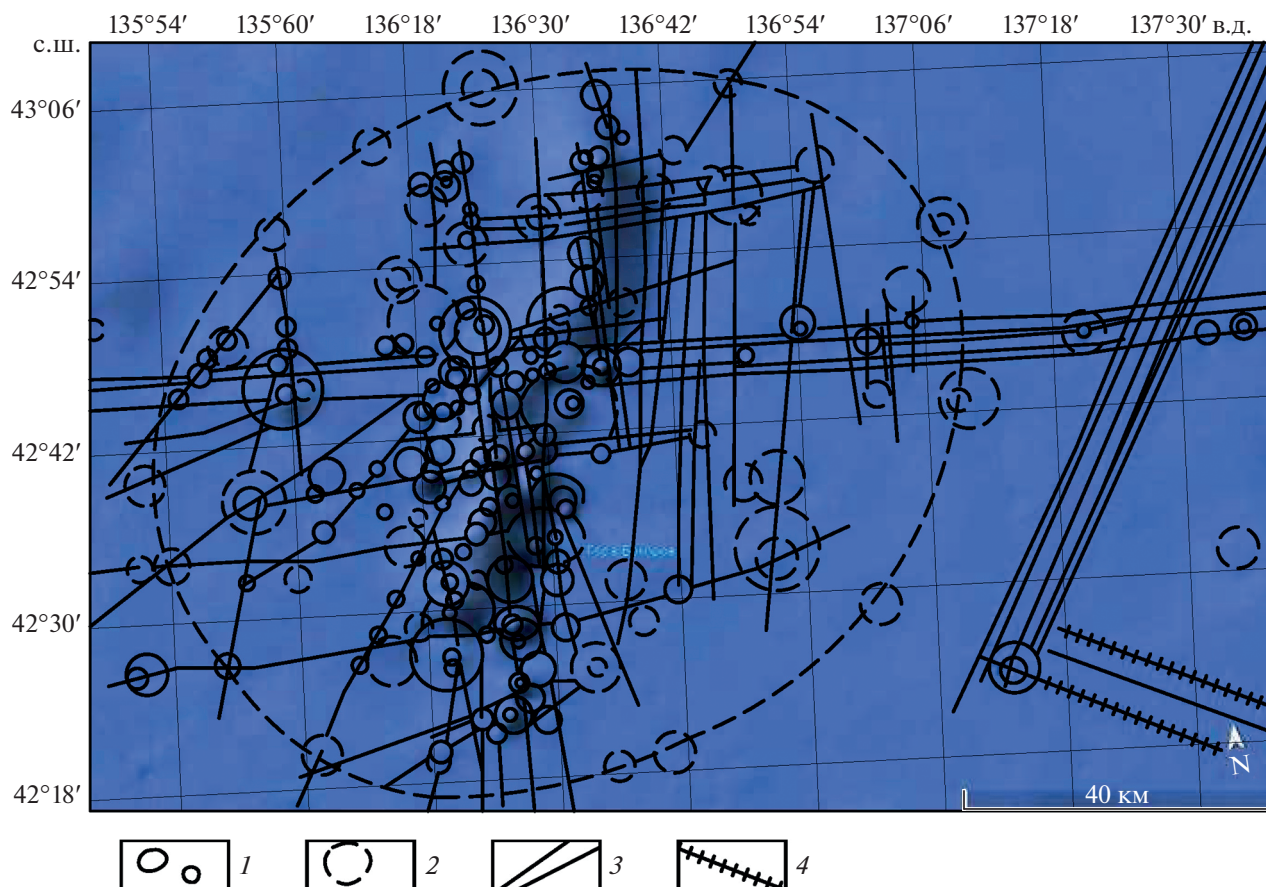


Рис. 3. Схема размещения кольцевых аномалий, соотносимых с палеовулканоструктурами соответствующего ранга, и систем линеаментов, связанных с разрывными нарушениями, в пределах ПВБ и прилегающих участков дна Центральной котловины. Составлена по данным космогеологического дешифрирования объемного изображения цифрового рельефа (GEBCO 2014) в рамках программы Google Earth. 1–2 – Кольцевые аномалии, соотносимые с проекциями очаговых систем разного ранга: 1 – выраженные отчетливо, 2 – проявленные менее контрастно; 3–4 – линеаменты, соотносимые с зонами разломов: 3 – характеризующиеся относительно простым строением, 4 – отличающиеся наличием поперечных структурных элементов.

На современном уровне геоморфологических и геолого-геофизических исследований в некоторых работах (Карнух, Цой, 2010; Прокудин и др., 2018 и др.) подводные возвышенности дна Центральной котловины напрямую отождествляются с вулканическими структурами. К ним относят короткие хребты, одиночные и сложно построенные горы вулканического происхождения. Очевидно, что такой подход не всегда оправдан. Существуют не только прямые, но и более сложные связи, отношения форм рельефа и геологических структур, когда тектоническую основу неровностей поверхности литосферы образуют системы структурных элементов разного возраста и генезиса. Особенно это характерно для горных сооружений суши, представляющих, как правило, полигенные и гетерохронные образования (Гаврилов, 2017). Но даже для генетических однородных вулканогенных хребтов суши (Камчатка), островных дуг (Курилы) и дна морей, океанов (Гавайи)

и возраст и строение слагающих их построек могут быть различны, что существенно влияет на интерпретацию геоморфологических и геологических данных, решение вопросов о происхождении и развитии объектов исследования. Сходные закономерности отмечаются и для подводных возвышенностей и хребтов дна Центральной котловины Японского моря, которые, как будет показано далее, представляют собой системы различных дислокаций (ряды палеовулканических структур, разломы, блоки).

В целом, как показывает анализ имеющихся материалов, несмотря на большой объем батиметрических, геологических и геофизических работ, проведенных в 14 рейсах ТОИ ДВО РАН и в экспедициях других научно-исследовательских организаций, конкретные типы структурных элементов, детали геоморфологического и геологического строения ПВБ, ПВД и подводного хребта

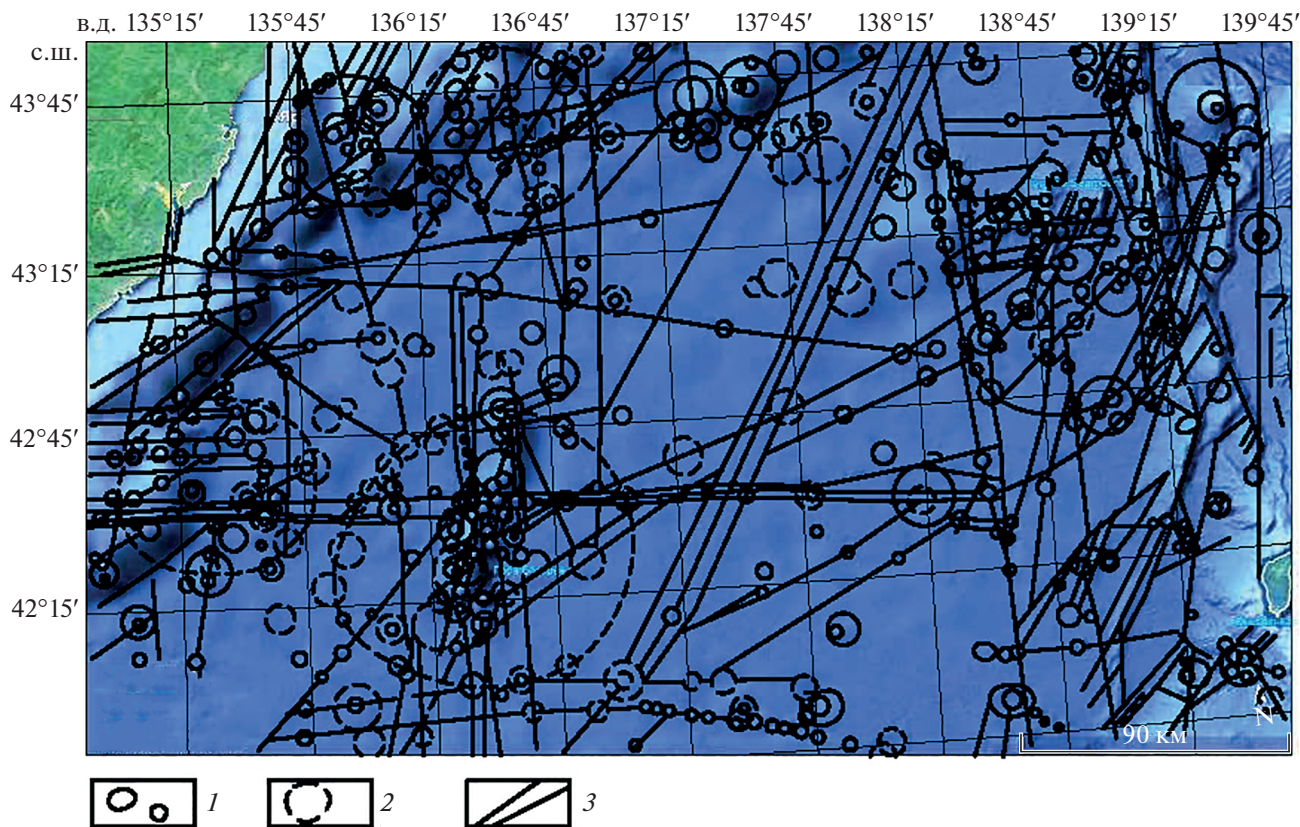


Рис. 4. Схема размещения кольцевых аномалий, соотносимых с проекциями палеовулканических центров, мантийных диапиров, и линеаментов, сопоставляемых с зонами разломов, северной части Центральной котловины Японского моря. Составлена по данным дешифрирования объемного изображения цифрового рельефа (GEBCO 2014) в рамках программы Google Earth. Условные обозначения см. рис. 3.

Окусири были установлены лишь частично. Оставались неизвестными количество, строение и характер размещения палеовулканических структур, их морфология, параметры, связь с разрывными нарушениями. Не были получены данные о пространственной и иерархической организации разломов, очаговых систем, блоковых дислокаций. Решение этих задач связано с новыми техническими возможностями и методами получения информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При космогеологическом дешифрировании визуализированной (3D) цифровой модели подводного рельефа ПВБ, ПВТ и прилегающих площадей, которые представлены в программе Google Earth, получен ряд принципиально новых данных.

1. Впервые выявлен крупный широтной разлом, который разделяет линейное поднятие ПВБ на северный и южный блоки. Он состоит из серии субпараллельных разрывных нарушений и представляет собой единую зону дислокаций шириной более 5 км, которая проходит через всю Цен-

тральную котловину и протягивается далее на запад до бровки шельфа, но не прослеживается в пределах континента (рис. 3).

2. В пределах ПВБ и прилегающих площадей выделена сложная пространственная система кольцевых морфоструктур разного строения и размера, которые соотносимы с проекциями вулканических построек. Диаметр самых крупных оценивается в 11–12 км, мелких – 2.5–3 км. Наиболее широко распространены палеовулканические постройки, составляющие в поперечнике 5–6 км. Согласно полученным данным, тектоническая основа хребтов ПВБ образована рядами мелких и средних по размеру моногенных и полигенных (имеющих сателлиты) палеовулканов с центральными куполами (лавовые, экструзивные?), которые концентрируются в зонах двух субпараллельных меридиональных магмоконтролирующих разломов.

3. Вокруг ПВБ группируются как мелкие, так и относительно крупные (диаметр до 12 км) вулкано-структуры, положение которых контролируется разрывными нарушениями меридионального, широтного, северо-восточного простираения, а

также узлами их пересечений. Аномально высокая концентрация вулканических центров разных размеров и их круговая пространственная организация позволяют наметить контуры более крупной очаговой системы диаметром около 100 км, которая может быть сопряжена с проекцией мантийного диапира. Структурная позиция этого глубинного центра эндогенной активности определяется приуроченностью к узлу пересечения широтной региональной зоны разрывных нарушений серий меридиональных и северо-восточных разломов, что обуславливает повышенную проницаемость данного участка земной коры. При этом хребты ПВБ образуют диаметральные структурные элементы выделяемой мантийной очаговой системы. Зона крупного широтного разлома разделяет ее на северный и южный диаметральные блоки, развивающиеся дифференцированно. Это объясняет различия максимальных высот соответствующих сегментов хребта Богорова и плотности палеовулканических построек в их пределах.

4. Связь ПВБ с глубинным энерго- и магмогенерирующим центром позволяет предполагать длительный характер ее развития и участие в ее строении разных возрастных группировок вулканических структур Япономорской впадины: поздний олигоцен-ранний миоцен (23–17 млн лет), средний-поздний миоцен- (14–10 млн лет) и плиоцен-плейстоцен (5.3–1.0 млн лет), – не исключая и более древние, эоценовые образования. Возможно, что именно этими факторами обусловлено нахождение на ПВБ щелочных трахиандезитов, трахитов, трахидацитов и трахириолитов (трахиандезитовый комплекс) (Геология, 1987). Установленные особенности строения и предполагаемая длительность развития ПВБ повышают, по мнению автора, перспективы обнаружения в ее пределах проявлений рудной минерализации.

5. Похожие по размерам (диаметр до 65 км) концентрические группировки кольцевых аномалий и связанных с ними палеовулканов выделяются к западу и к северу от ПВБ (рис. 4). Расположены они на стыке материкового склона и абиссальной равнины, в узлах пресечений глубинных разломов широтного и северо-восточного простираний, выполняющих роль структурных границ окраины континента и борта Япономорской впадины (Гаврилов, 2009). По особенностям внутреннего строения их инфраструктуры относятся к полядерно-сателлитному и орбитально-сателлитному типам.

6. Такая же как в ПВБ аномально высокая концентрация кольцевых аномалий, соотносимых с проекциями палеовулканических центров, отмечается не только в пределах континентального, но и на островном склоне в районе подводного хребта Окусири и ПВТ. Ее структурная позиция

определяется приуроченностью к узлу пересечений серий широтных, меридиональных и северо-восточных разломов. Структурный контроль положения и простирания подводного хребта Окусири осуществляется меридиональным трансрегиональным глубинным разломом. Как видно на приведенной схеме (см. рис. 4), один из сегментов этого хребта, пересекаемый группой разрывных нарушений северо-восточного простирания отличается аномально высокой плотностью кольцевых морфоструктур. Совокупность полученных данных о высокой плотности палеовулканических структур и протяженных линейных индикаторов крупных разломов – свидетельствует о повышенной степени раздробленности и соответственно проницаемости этого участка земной коры. Как показывают проведенные исследования в районе ПВБ, подобные структурные ситуации благоприятны для образования инъективных дислокаций литосферной мантии. Кольцевое расположение многих палеовулканических построек и рисунок разломов позволяют предположить наличие здесь глубинной очаговой структуры с диаметром проекции около 80 км.

7. Несмотря на то, что подводный хребет Окусири, характеризуется континентальным типом земной коры, можно предполагать влияние мантийного диапира на формировании как вулканических систем ПВТ, так и прилегающего сегмента хребта, который резко отличается от других участков этого подводного горного сооружения. Специфика их строения заключается в том, что в пределах ПВТ доминируют широтные, северо-восточные и меридиональные зоны разломов, а для хребта Окусири основные магмоконтролирующие разрывные нарушения имеют меридиональное и северо-восточное простирание. Об этом, в частности, свидетельствуют две крупные цепи вулканических структур, проходящих через кольцевую аномалию, соотносимую с проекцией мантийного диапира (см. рис. 4). В соответствии с полученными данными, подводный хребет Окусири представляет собой цепь вулканических построек на островном склоне, сформированных в зоне граничного магмоконтролирующего разлома. Его раскрытие и высокая активность обусловлены дифференцированным и контрастным развитием Центральной котловины и островной дуги, что создает предпосылки для формирования сбросовых и сбросо-сдвиговых дислокаций. При таких особенностях строения хребта и отсутствии следов спрединга в котловине оценивать это подводное горное сооружение как продукт коллизионных процессов тектогенеза и элемент зоны конвергенции восточного участка дна Японского моря (Tamaiki, 1988) вряд ли целесообразно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные параметрические характеристики очаговых морфоструктур и анализ их пространственных соотношений позволяют выделить по меньшей мере два ранга объектов, имеющих различные глубины заложения. Аномальная концентрация и размещение групп относительно небольших палеовулканов в пределах узлов пересечений крупных разрывных нарушений дают основание идентифицировать крупные кольцевые аномалии с проекциями мантийных диапиров и предположить относительно длительный характер их развития с возможностью реализации процессов рудообразования. Наблюдаемое подобие геометрии и строения крупных и мелких кольцевых аномалий согласуется с ранее полученными данными о конвергентном развитии и гомологии очаговых структур (Гаврилов, 1990). Устойчивость концентрического рисунка группировок палеовулканических построек и соответственно магмоподводящих каналов над мантийными диапирами — свидетельство отсутствия в пределах рассматриваемых участков дна значительных по амплитуде горизонтальных тектонических движений.

В зависимости от степени проницаемости земной коры роль глубинных очаговых систем в развитии рельефа морского дна меняется. В закрытых системах мантийный материал не достигает поверхности, осуществляя работу по магматической базификации, термическому, структурно-вещественному уплотнению земной коры. О таком механизме погружения окраины континента свидетельствуют как характер выявленных гравитационных аномалий, так и относительно высокий тепловой поток в глубоководных котловинах Япономорской впадины (Geology..., 1996; Карп и др., 2007). При относительно высокой проницаемости земной коры в зонах разломов, испытывающих растяжения, и в узлах их пересечения за счет эффекта декомпрессии масштабно реализуются флюидные и магматические процессы, приводящие к возникновению многочисленных вулканических структур и их концентрических или линейных группировок. Отмечаемая многими исследователями (Съедин, 1989; Карнаух, Цой, 2010 и др.) высокая пористость (до 40% объема породы) базальтов палеовулканических построек — признак значительной газо-флюидонасыщенности исходной магмы и декомпрессионных явлений при извержениях.

На представленных изображениях подводного рельефа дешифрируются различные пространственные и иерархические системы разломов. Среди них доминируют структуры широтной, меридиональной и северо-восточной ориентировки. Наиболее крупные из линеаментов и соответ-

ственно зон разломов протягиваются на первые сотни км. Представлены они системами более мелких линеаментов-разрывов, образующих полосы шириной 5–10 км. Многие разломы контролируют цепи палеовулканоструктур центрального типа с отчетливо выраженной трансляционной симметрией. Отмечается общая устойчивость протираний крупных зон разломов и цепей вулканических структур без видимых признаков их смещений. В узлах пересечения разрывных нарушений разных направлений для отдельных структур выражен эффект “утыкания”, резкого ограничения, следы изменения их протираний немногочисленны.

Установленные общие особенности размещения и концентрации вулканических построек дна северо-западной части Японского моря отражают совмещение черт трещинного и центрального типов извержений базальтовой лавы. Это типично для районов многовыходного типа базальтового вулканизма, проявляющегося при неглубоком расположении выступов астеносферы, или мантийных диапиров, когда над ними возникают области своеобразного “вскипания” базальтоидной магмы. Формирование подводных возвышенностей, рассматриваемых автором в качестве индикаторов тектономагматических процессов, обусловлено прорывом магматического материала к поверхности и его концентрацией в пределах участков земной коры, отличающихся повышенной проницаемостью. С учетом высокой подвижности базальтовых лав важная роль в строении подводных возвышенностей, вероятно, принадлежит экструзивным и интрузивным (на более глубоких уровнях) образованиям. При больших масштабах извержений и меньших амплитудах опускания Центральной котловины на их месте были бы сформированы вулканические острова. Количество, параметры, дискретное размещение и строение возникших вулканических положительных морфоструктур свидетельствуют о том, что раздвиги и зоны синсдвигового растяжения (механизм pull-apart) имели при развитии котловины ограниченное распространение, отражая относительно пассивное протекание процессов рифтогенеза и доминирование процессов очаговой геодинамики. Как свидетельствуют ранее полученные данные (Геология..., 1987; Гаврилов, 2020, 2021) и приведенные материалы, определяющая роль в формировании и развитии Центральной котловины и Япономорской впадины в целом принадлежит явлениям мантийного диапиризма и базальтоидного ареального вулканизма.

Хорошо известно, что существуют два основных типа вулканических построек или структур. В морфологическом аспекте это — образования линейного и центрального типа. В генетическом — постройки, связанные с протяженными магмоконтролирующими разломами, трещинами,

возникающими при расколах земной коры, и сооружения, образующиеся при наличии магматических очагов, центров и исходящих из них подводных каналов. При трещинных излияниях образуются лавовые поля, лавовые, экструзивные валы, линейные (трещинные) магматические тела, взрывные рвы. Морфология вулканов центрального типа в многом зависит от состава, вязкости и газонасыщенности магмы. Однако, при всем многообразии их разновидностей (моногенные, полигенные, щитовые, стратовулканы, шлаковые конусы и др.) и различиях типов извержений (гавайский, пелейский, фреатический, подводный и др.) в условиях относительной изотропности геологической среды формируются гравитационно устойчивые формы (купола, конусы, усеченные конусы и др.) с симметрией центрального типа, отличающиеся радиально-концентрической организацией дислокаций, геологических тел и соответствующей гипсометрической и геологической зональностью.

Относительная ограниченность структурно-геометрических типов магматических систем обусловлена реализацией двух принципиально возможных способов передачи энергии в пространстве – объемного и канального. В изотропной и слабо анизотропной геологической среде существует равная вероятность всех направлений перемещений потоков тепломассопереноса от “горячих точек”, энергогенерирующих центров недр (плюмы, мантийные диапиры, магматические очаги и др.), обладающих необходимым потенциалом. Форма их теплового поля и поля термомеханических напряжений варьирует от сфероида до эллипсоида, а схемы организации силовых линий и потоков тепломассопереноса имеют радиально-концентрическую симметрию, что соответствует объемному или поливекторному способу передачи энергии. Проекция таких центров и магматических каналов (цилиндры, конусы, купола) на поверхность Земли образуют кольцевые структуры, или структуры центрального типа. В резко анизотропной среде переток энергии из одной точки пространства в другую, при наличии достаточной разности потенциала, осуществляется кумулятивно, канальным (моновекторным) способом (рифты, разломы и др.). Промежуточный тип состоит из цепей, рядов вулканических структур центрального типа, формирующих с магмоконтролирующими разломами единые геодинамические системы (Гаврилов, 1990, 2017). В зависимости от степени анизотропии геологической среды и мощности, длительности существования, характера распределения магматических потоков в пространстве (объемного или канального) формируются то вулкано-генные хребты, то подводные возвышенности, то отдельные вулканы с соответствующей морфоло-

гией и энергетически обусловленными параметрическими характеристиками.

В основе образования вулкано-генных поднятий в пределах впадин окраинных морей лежит относительно перекомпенсированное накопление магматического материала, происходящее на фоне опускания дна акватории. Поскольку его объем определяется масштабом и длительностью функционирования магматических центров, максимально благоприятные условия для подводного горообразования возникают при наличии глубоководных энерго- и магмогенерирующих систем. Для протяженных подводных хребтов это магмоподводящие каналы, соотносимые с глубинными разломами, а для изометричных поднятий и относительно коротких хребтов эту роль играют выступы литосферной мантии, или мантийные диапиры. Исходя из принципа минимизации затрат энергии, конвергентности очаговых процессов (Гаврилов, 2017) и концентрического строения крупных группировок выявленных палеовулканических построек (см. рис. 4), можно предполагать, что мантийные диапиры имеют лакколитообразную, купольную форму с симметрией центрального типа.

С этих позиций очевидно, что вулкано-генные поднятия в пределах дна Японского моря следует рассматривать как сложные комплексы палеовулканических структур рассмотренных морфологических типов. отождествление, определение степени конформности вулкано-генных форм рельефа и структур требуют специальных исследований. Имеющиеся данные определения возраста магматических пород впадины Японского моря (Геология..., 1987; Съедин, 1989; Geology..., 1996; Леликов и др., 2001; Леликов, Емельянова, 2007) позволяют предполагать наличие трех главных возрастных группировок палеовулканических структур: поздний олигоцен-ранний миоцен (23–17 млн лет), средний-поздний миоцен- (14–10 млн лет) и плиоцен-плейстоцен (5.3–1.0 млн лет). Среди драгированных на подводных поднятиях вулканических пород базальты составляют около 90% объема поднятого материала, что предполагает доминирование эффузивного характера извержений. Значительно реже встречаются щелочные трахиандезиты, трахиты, трахидацилы и трахириолиты, установленные, в частности, на ПВБ и подводном хребте Окусири (Geology..., 1996; Прокудин и др., 2018).

Образование Прибрежного позднекайнозойского вулкано-генного пояса в западной части гребня Татарского пролива, пояса “зеленых туфов” на западных окраинах Японских островов и хребта Окусири – следствие дифференцированного, контрастного развития глубоководных котловин Япономорской впадины и окружающей континентальной и островной суши. Вследствие разли-

чий амплитуд и направленности тектонических движений возникли геодинамические условия для раскрытия и активного функционирования ограничивающих впадину магмоконтролирующих разломов (Гаврилов, 2009).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение 3 D моделей цифрового рельефа, создаваемых на основе глобальной базы батиметрических данных и методик GEBCO 2014 в рамках программы Google Earth, позволило получить принципиально новую информацию о качественных и количественных характеристиках структурных элементов подводных возвышенностей Богорова, Тояма и прилегающих участках дна Центральной котловины Японского моря. В соответствии с полученными данными, исследуемые подводные возвышенности представляют собой сложные комплексы палеовулканических построек центрального типа, образующих с разрывными нарушениями и узлами их пересечений единые тектономагматические системы. Установлены параметры, морфологические характеристики, закономерности размещения палеовулканических структур, выделены два ранга очаговых систем и линеаментов. Области повышенной плотности разрывных нарушений и группировок палеовулканических форм, узлы пересечений крупных разломов рассматриваются как участки повышенной проницаемости земной коры. С ними связаны проекции глубинных очаговых систем, соотносимых с выступами литосферной мантии. Выдержанность простираний цепей палеовулканических построек, устойчивость концентрического рисунка их пространственной организации в пределах крупных очаговых систем и отсутствие признаков существенных смещений разрывных нарушений различных направлений в узлах пересечений указывают на относительно небольшие амплитуды горизонтальных перемещений тектонических масс. Наиболее вероятные причины масштабного и относительно быстрого опускания Центральной котловины – активная дефлюидизация литосферной мантии, базальтовый аркальный вулканизм и интрузивные, протрузивные инъективные дислокации базитового и ультрабазитового мантийного материала, предопрелившие структурно-вещественные преобразования земной коры региона на позднекайнозойском этапе ее развития.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сейсотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамлении»

(0271-2016-0003). Регистрационный номер: АААА-А17-117030110032-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаврилов А.А.* О структурно-геометрической типизации и гомологии геологических систем центрального типа // Изв. АН СССР. Сер. Геология. 1990. № 12. С. 89–96.
- Гаврилов А.А.* Роль разрывных нарушений в формировании береговых линий Охотского и Японского морей. Ст. 1. Региональный аспект исследований // Геоморфология. 2009. № 3. С. 38–48.
- Гаврилов А.А.* Морфотектоника окраинно-континентальных орогенных областей (Юг Дальнего Востока и прилегающие территории). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 311 с.
- Гаврилов А.А.* Структурные элементы впадины Японского моря и прилегающей островной и континентальной суши по данным космогеологических исследований // Исслед. Земли из космоса. 2020. № 4. С. 27–40.
- Гаврилов А.А.* Космогеологическая индикация морфоструктурных элементов побережий и дна прилегающих акваторий (зал Петра Великого, Японское море // Океанология. 2021. Т. 61. № 4. С. 633–648. <https://doi.org/10.31857/S0030157421040043>
- Геология дна Японского моря. Владивосток / *Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко Н.Г., Съедин В.Г., Терехов Е.П., Цой И.Б.* ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с
- Карнаух В.Н., Цой И.Б.* Сейсмическая стратиграфия и условия формирования осадочного чехла Японского моря в районе возвышенности Богорова // Океанология. 2010. Т. 50. № 4. С. 590–607.
- Карп Б.Я., Прокудин В.Г., Медведев С.Н., Карнаух В.Н.* Строение земной коры по сейсмическим данным (Японское море). Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования. М.: Наука, 2007. С. 26–47.
- Кольцевые структуры континентов Земли / *В.Н. Брюханов, В.А. Буш, М.З. Глуховский, Зверев А.Т., Кац Я.Г., Макарова Н.В., Сулиди-Кондратьев Е.Д.* М.: Недра, 1987. 184 с.
- Космическая информация в геологии. М.: Наука, 1983. 534 с.
- Лебедев С.А.* Спутниковая альтиметрия в науках о Земле // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 33–49.
- Леликов Е.П., Емельянова Т.А.* Японское море. Геологическое строение (новые данные). Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования. М.: Наука, 2007. С. 86–98.
- Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Съедин В.Т. и др.* Новые данные по радиоизотопному датированию вулканитов Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 5. С. 118–122.
- Прокудин В.Г., Съедин В.Т., Валитов М.Г., Медведев С.Н.* Центральная котловина Японского моря: история изучения и тектоника // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 4. Вып. 40. С. 82–104.

Сигова К.И. Соотношение поверхностных и глубинных структур земной коры впадины Японского моря. Владивосток. ТОИ ДВО РАН. 1990. 112 с.

Съедин В.Т. Особенности кайнозойского базальтоидного магматизма и вопросы происхождения Японского моря // Тихоокеанская геология. 1989. № 2. С. 30–38.

Geology and Geophysics of the Japan Sea (Japan-USSR Monograph. Series. V. 1) / Edited by N. Isezaki, I.I. Bersenev Tokyo: TERRA PUB, 1996. 487 p.

Smith W.H.F., Sandwell D.T. Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. № B11. P. 21803–21824. <https://doi.org/10.1029/94SB00988>

Tamaki K. Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implication // *Bull. Geol. Surv. Japan.* 1988. V. 39 (5). P. 269–365.

<http://ocean3dprojects.org/oceans-bathymetry...gebco-2014/...>

New Data on the Structure of Bogorov, Toyama Underwater Rises and Adjacent Areas of the Sea of Japan Bottom (Based on the Results of Geomorphological and Cosmogeological Investigations)

A. A. Gavrilo

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

The data about qualitative and quantitative characteristics of the Bogorov, Toyama underwater Rises morphostructural elements and adjacent areas of the Sea of Japan Central basin bottom were first obtained by the use of 3 D models of digital relief, created on the basis of the global bathymetric data bank and GEBCO methods under the Google Earth program. It was established that the investigated Rises are complexes of paleovolcanic structures of the central type, forming with fracture zones and junctions of their intersections united tectonomagmatic systems. Parameters, morphological characteristics, peculiarities of internal structure (types of infrastructures) of paleovolcanic objects are determined, spatial and hierarchical (two object ranks) systems of faults and focal formations are revealed. Concentric groupings of paleovolcanoes are identified with projections of mantle diapirs. The obtained information allows us to evaluate from new positions the adequacy of the existing models of formation and development of the Sea of Japan continental margin basin.

Keywords: Sea of Japan, underwater rise, volcanostructure, lineament, fault, focal system, relief, digital model, morphostructure

REFERENCES

Gavrilo A.A. O strukturno-geometricheskoy tipizacii i gomologii geologicheskikh sistem central'nogo tipa [On structural-geometric typification and homology of central type geological systems] // *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geologiya.* 1990. № 12. P. 89–96. (In Russian)

Gavrilo A.A. Rol' razryvnykh narushenij v formirovanii bergovykh linij Ohotskogo i Yaponskogo morej. St. 1. Regional'nyj aspekt issledovanij [The role of faults in the formation of Okhotsk and Japan Seas coastlines. St. 1. Regional aspect of research] // *Geomorfologiya.* 2009. № 3. P. 38–48. (In Russian)

Gavrilo A.A. Morfotektonika okrainno-kontinental'nykh orogennykh oblastej (YUg Dal'nego Vostoka i prilegayushchie territorii) [Morphotectonics of marginal-continental orogenic areas (Far East South part of Russia and junction territories)]. Vladivostok: TOI DVO RAN, 2017. 312 p. (In Russian)

Gavrilo A.A. Strukturnye elementy vpadiny Yaponskogo morya i prilegayushchej ostrovnnoj i kontinental'noj sushi po dannym kosmogeologicheskikh issledovanij [Structural elements of the Sea of Japan basin and the adjacent island and continental land according to cosmogeological research] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa.* 2020. № 4. P. 27–40. (In Russian)

Gavrilo A.A. Kosmogeologicheskaya indikaciya morfosrukturnykh elementov poberezhij i dna prilegayushchih ak-

vatorij (zal. Petra Velikogo, Yaponskoe more [Cosmogeological indication of coast morphostructural elements and the bottom of adjacent water areas (Peter the Great Bay, Sea of Japan)] // *Okeanologiya.* 2021. T. 61. № 4. P. 633–648. (In Russian)

<https://doi.org/10.31857/S0030157421040043>

Geologiya dna Yaponskogo morya [Geology of the Sea of Japan bottom]. Vladivostok. Vladivostok / Bersenev I.I., Lelikov E.P., Bezverhnyj V.L., Vashchenkova N.G., S'edin V.G., Terekhov E.P., Tsoj I.B. DVNTS AN SSSR, 1987. 140 p. (In Russian)

Karnauh V.N., Tsoj I.B. Sejsmicheskaya stratigrafiya i usloviya formirovaniya osadochnogo chekhla YAponskogo morya v rajone vozvyshehnosti Bogorova [Seismic stratigraphy and conditions of the sedimentary cover formation of the Sea of Japan in the district of the Bogorov Rise] // *Okeanologiya.* 2010. T. 50. № 4. P. 590–607. (In Russian)

Karp B.YA., Prokudin V.G., Medvedev S.N., Karnauh V.N. Stroenie zemnoj kory po sejsmicheskim dannym (Yaponskoe more) [The Earth's crust structure according to seismic data (Sea of Japan)]. Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 3. Geologicheskije i geofizicheskie issledovaniya Moscow: Nauka, 2007. P. 26–47. (In Russian)

Kol'cevye struktury kontinentov Zemli [Ring structures of the Earth's continents] / V.N. Bryuhanov, V.A. Bush, M.Z. Gluhovskij, Zverev A.T., Kats YA.G., Makarova N.V., Sulidi-Kondrat'ev E.D. Moscow: Nedra, 1987. 184 p. (In Russian)

- Kosmicheskaya informatsiya v geologii [Space information in geology]. Moscow: Nauka, 1983. 534 p. (In Russian)
- Lebedev S.A.* Sputnikovaya al'timetriya v naukah o Zemle [Satellite altimetry in the Earth Sciences // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2013. T. 10. № 3. P. 33–49. (In Russian)
- Lelikov E.P., Emel'yanova T.A.* YAponskoe more. Geologicheskoe stroenie (novye dannye) [The Sea of Japan. Geological structure (new data)]. Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 3. Geologicheskie i geofizicheskie issledovaniya. Moscow: Nauka, 2007. P. 86–98. (In Russian)
- Lelikov E.P., Emel'yanova T.A., S'edin V.T. i dr.* Novye dannye po radioizotopnomu datirovaniyu vulkanitov YAponского i Ohotskogo morej [New data on radioisotope dating of Seas of Japan and Okhotsk volcanites] // Tihookeanskaya geologiya. 2001. T. 20. № 5. P. 118–122. (In Russian)
- Prokudin V.G., S'edin V.T., Valitov M.G., Medvedev S.N.* Central'naya kotlovina YAponского morya: istoriya izucheniya i tektonika [Central basin of the Sea of Japan: history of study and tectonics] // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2018. № 4. V. 40. P. 82–104. (In Russian)
- Sigova K.I.* Sootnoshenie poverhnostnyh i glubinyh struktur zemnoj kory vpadiny YAponского morya [Ratio of surface and deep structures of the Earth's crust of the Sea of Japan basin]. Vladivostok: TOI DVO RAN, 1990. 112 p. (In Russian)
- S'edin V.T.* Osobennosti kajnozojskogo bazal'toidnogo magmatizma i voprosy proiskhozhdeniya YAponского morya [Features of cenozoic basaltoid magmatism and questions of the Sea of Japan origin // Tihookeanskaya geologiya. 1989. № 2. P. 30–38. (In Russian)
- Geology and Geophysics of the Japan Sea (Japan-USSR Monograph. Series. V. 1) / Edited by N. Isezaki, I.I. Bersenev et al. Tokyo: TERRA PUB, 1996. 487 p.
- Smith W.H.F., Sandwell D.T. Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. № B11. P. 21803–21824. <https://doi.org/10.1029/94SB00988>
- Tamaki K.* Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implication // Bull. Geol. Surv. Japan. 1988. V. 39 (5). P. 269–365. <http://ocean3dprojects.org/oceans-bathymetry...gebco-2014/...>