

УДК 551.432.7:551.242.2

## СТРОЕНИЕ СРЕДИННО-ТИХООКЕАНСКИХ ПОДВОДНЫХ ГОР ПО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ И КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 2025 г. А. А. Гаврилов\*

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

*\*e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 06.06.2024 г.

После доработки 07.11.2024 г.

Принята к публикации 22.11.2024 г.

Использование методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования при работе с цифровыми моделями рельефа (3D), созданных на основе глобальных баз батиметрических данных и карт (GEBCO\_2014, GEBCO\_2022 Grid) в рамках программы Google Earth Pro, позволило получить принципиально новую информацию о качественных и количественных характеристиках структурных элементов Срединно-Тихоокеанских гор и прилегающих участков океанического дна. Установлено, что исследуемые горы представляют собой сложные комплексы кольцевых и линейных группировок абрадированных палеовулканических построек и других очаговых структур, образующих соответственно реликтовые магматические своды и подводные горные хребты. Определены параметры, морфологические особенности и основные закономерности размещения очаговых структур разных размеров и глубин заложения, кратко охарактеризованы сеть разрывных нарушений и блоковые морфоструктуры региона. Основные факторы и механизмы горообразования связаны с явлениями мантийного диапиризма и масштабного базальтоидного вулканизма, которые проявлялись пульсационно на протяжении всего мелового периода.

**Ключевые слова:** Срединно-Тихоокеанские горы, цифровая модель рельефа, морфоструктура центрального типа, очаговая структура, разлом, вулканизм

**DOI:** 10.31857/S0030157425040147

### ВВЕДЕНИЕ

Срединно-Тихоокеанские горы (СТГ) представляют собой звено крупной субширотной системы подводных поднятий Маркус-Неккер, которая разделяет Северо-Западную и Центральную котловины Тихого океана. Они протягиваются от подводного плато Огасавара (на западе) до Гавайского хребта (на востоке) на расстояние более 5 тыс. км и представляют собой один из типичных для дна Тихого океана горных поясов, которые возникли вследствие масштабных проявлений процессов внутриплитной тектономагматической активизации и базитового магматизма. Представляется, что получение новых данных о морфотектонике СТГ на основе комплексного применения методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования при работе с визуализированными цифровыми моделями рельефа (ЦМР) (3D) в рамках программы Google Earth Pro будет способствовать решению актуальных и дискус-

сионных вопросов горообразования в условиях земной коры океанического типа.

### ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДИКИ

Протяженные (тысячи км) вулканоплутонические пояса континентального обрамления, многочисленные цепи вулканических построек островных дуг и подводных хребтов, огромные щитовые вулканы и магматические сводовые поднятия дна Тихого океана [3, 16, 18, 28 и др.] — показатели определяющего значения процессов очаговой геодинамики и магматизма в формировании и эволюции Тихоокеанского сегмента Земли. Это делает весь иерархический ряд очаговых структур от локальных магматических систем до плюмов и сопутствующие магмоконтролирующие разломы важнейшими объектами геоморфологических и геологических исследований дна Тихоокеанской мега-впадины.

Проекции очаговых образований на земную поверхность образуют классы структур и морфоструктур центрального типа (СЦТ, МЦТ). Эти понятия имеют двойственное значение, отражая как их генетические связи с центрами эндогенной активности недр, так и наличие у плоскостных проекций центра симметрии. В качестве синонима, используется термин “кольцевая структура” (КС) [4]. Специфика этих объектов – существование радиально-концентрической и конической систем разломов, радиально-концентрической зональности строения и размещения структурно-вещественных комплексов, присутствие сателлитных магматических центров, расположенных упорядоченно. Общие закономерности внутреннего строения очаговых систем связаны с наличием трех универсальных типов инфраструктур: моно-, полядерный (бессателлитный), ядерно-сателлитный и сателлитный (безъядерный) с орбитальным размещением структурных элементов. Таким образом, отражаются центрально- и периферийно-фокусируемые, а также комбинированные схемы пространственного распределения потоков тепломассопереноса относительно магмогенерирующих центров. Сходство морфологии и формул симметрии размещения внутренних структурных элементов для всех известных генотипов и рангов СЦТ и МЦТ определяется как гомология очаговых систем. Наличие ее между планетарными, региональными и локальными геологическими КС служит важным признаком достоверности выделения мегаобъектов [5, 7 и др.].

Статистически установленная корреляция величин радиусов МЦТ и глубин залегания геолого-геофизических разделов земной коры, мантии [11, 17 и др.] приводит к выводу, что наиболее благоприятные условия для формирования энерго- и магмогенерирующих центров возникают в узлах пересечений сквозных радиальных и конических разломов глубинных инъективных дислокаций с границами неоднородностей недр, где происходит скачкообразное изменение литостатического давления. Предполагается, что радиусы (R) очаговых образований отражают как глубины (H) локализации продуцирующих их центров, так и стратификацию слоистой геологической среды. В результате ее взаимодействия с магматическими и газовой-флюидными потоками тепломассопереноса, образуется ярусно-древовидная система промежуточных очагов, отражающихся в инфраструктуре КС в виде сателлитных форм.

Горообразование сопряжено с затратами энергии недр на работу против гравитационного поля Земли, поэтому закон сохранения энергии и принцип минимизации ее затрат в открытых диссипативных системах определяют создание наиболее оптимальных схем самоорганизации и структурирования геологической среды при формировании поднятий литосферы, обусловленных явлениями очаговой геодинамики [7]. В изотропной и слабо анизотропной геологической среде существует равная вероятность всех направлений перемещений потоков тепломассопереноса от “горячих точек”, энергогенерирующих центров (плюмы, мантийные диапиры, магматические очаги и др.), обладающих необходимым потенциалом. Форма их теплового поля и поля механических 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. В резко анизотропной среде переток энергии из одной точки пространства в другую при наличии достаточной разности потенциала осуществляется кумулятивно, канальным (моновекторным) способом (рифты, магмоконтролирующие разломы и др.). Реализация двух принципиально возможных способов передачи энергии в пространстве – объемного и канального – лежит в основе доминирования двух главных морфологических типов горообразующих структур как суши, так и дна морей, океанов. Промежуточной является линейно-узловая форма организации подобных систем, совмещающая черты двух основных типов и образующая ряды энерго- и магмогенерирующих центров недр (цепи вулканов, интрузий, мантийных диапиров и др.) с характерными элементами трансляционной симметрии [5]. Выделение и изучение этих объектов на дне акваторий начинается с индикации и идентификации кольцевых и линейных аномалий батиметрических карт, визуализированных ЦМР, на которых высотные уровни рельефа отображаются различными цветовыми оттенками. Параллельно осуществляется анализ геологических и геофизических материалов.

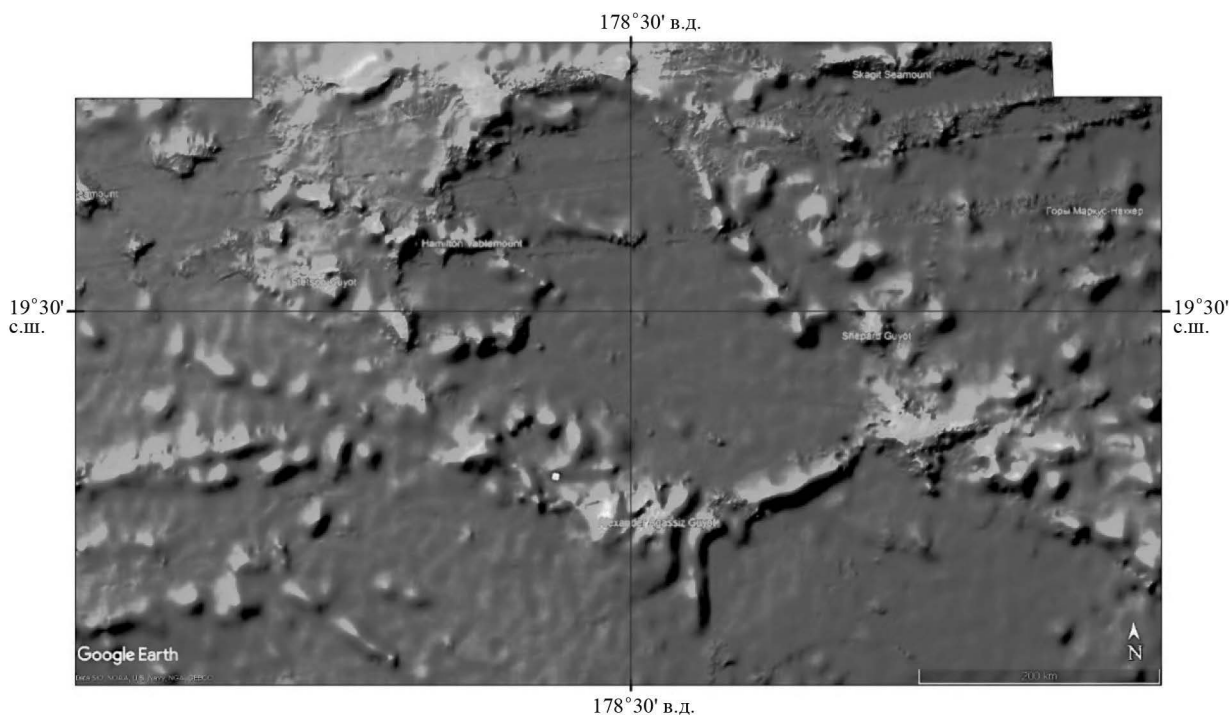
Программа Google Earth Pro позволяет работать с 3D-версиями космических снимков планеты в форме интерактивного приложения. Высокая разрешающая способность изображений рельефа дна акваторий достигается синтезом материалов спутниковой альтиметрии, результатов эхолотных промеров, прямых батиметрических измерений и визуализированных ЦМР, которые

использованы при составлении разных версий карт GEBCO [29]. Начиная с глубин 200 м, установленные значения привязаны к узлам секундной градусной сетки, поэтому пространственное разрешение ЦМР дна океанов карты GEBCO 2014 составляет 0.5 дуговой минуты или 0.93 км. В зоне сочленения суши и прилегающих акваторий программа Google Earth Pro использует комплекты адаптированных друг к другу сканерных космических снимков местности (суша) и ЦМР дна прилегающих акваторий. Использование данных о размерах островов, хорошо изученных подводных возвышенностях и других маркеров позволяет уточнить параметры выделяемых геоморфологических линейных, кольцевых аномалий и соотносимых с ними объектов.

Применение спутниковой альтиметрии и показ на визуализированных ЦМР высотных уровней различными цветовыми оттенками позволяет рассматривать изображения дна акваторий морей и океанов как своеобразные аналоги космических снимков, используя для работы с ними соответствующие методики геологического дешифрирования [6, 7]. В качестве главных признаков МЦТ на батиметрических картах и визуализированных ЦМР рассматривались: круговой, кольцевой рисунок изобат и концентрическое строение выделяемых цветовых аномалий поля высот; кольцевая геометрия форм рельефа (купола, депрессии, кальдеры и др.), радиально-концентрическая зо-

нальность их размещения; наличие кольцевых аномалий с характерными моно-, полиядерными, моно-, полиядерно-сателлитными и орбитально-сателлитными унифицированными типами инфраструктур [5]. Примером может служить визуализированная ЦМР центрального сегмента СТГ, где находится крупная овальная вулканотектоническая депрессия ( $R_1 - 200$ ;  $R_2 - 250$  км) (рис. 1). На изображении отчетливо видны ограничивающие ее дуговые и кольцевые цепи купольных поднятий и плосковершинных гайотов, соотносимых с палеовулканическими структурами и их группировками. В соответствии с методиками дешифрирования космических снимков выделяются кольцевые и линейные аномалии цветовых оттенков, идентифицируемые соответственно с очаговыми структурами и зонами разрывных нарушений. Большинство выявленных мелких кольцевых форм составляют моногенные палеовулканы центрального типа. Более крупные КС, как правило, полигенны, т. к. имеют один или несколько сателлитов, указывающих на наличие нескольких этапов образования.

Достоверность выделения кольцевых геоморфологических аномалий, соотносимых с проекциями очаговых структур, подтверждается следующими данными. Это — выдержанность параметрических, морфологических характеристик аномалий на различных участках дна, расположенных друг от друга на десятки и более км;



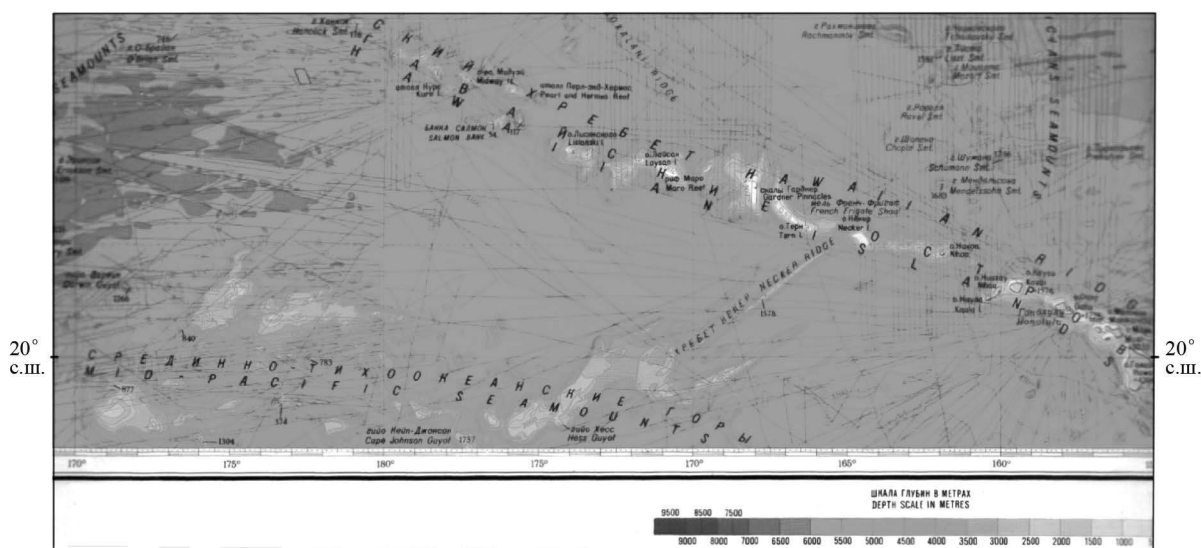
**Рис. 1.** Крупная овальная МЦТ ( $R_1 - 200$ ;  $R_2 - 250$  км) в пределах СТГ. Визуализированная ЦМР 3D (Google Earth Pro). М 1: 3000000. Светлыми тонами показаны области поднятий океанического дна.

радиально-концентрическая батиметрическая зональность подводных форм рельефа; их упорядоченное, с элементами трансляционной симметрии, размещение в пределах полос выделяемых линеаментов, соотносимых с зонами магмоконтролирующих разломов; наличие общих особенностей внутреннего строения, включающих дуговые, кольцевые и радиальные разломы, концентры и унифицированные типы размещения сателлитных КС; сведения о детально изученных объектах (палеовулканы и др.).

Для выделения линейных аномалий (линеаментов), сопоставляемых с зонами разрывных нарушений, на изображениях ЦМР использовались такие признаки: присутствие одной или более линий, полос различной ширины, длины (включая дискретные), отличающихся цветовыми оттенками, текстурой или рисунком деталей; линейные границы разделов двух или более участков дна акваторий с различным окрасом, плотностью цветового тона; гипсометрические уступы, дуговые и прямолинейные контуры впадин, поднятий; цепи кольцевых аномалий, блоков и других форм, элементов рельефа, указывающих на линейную упорядоченность объектов в геоморфологической среде. Выборочная заверка линеаментов основана на привлечении данных о геоморфологических и космогеологических характеристиках разломов, подтвержденных геолого-геофизическими исследованиями. Конкретной основой для проведения работ послужили визуализированные ЦМР М 1:9 000 000 и 1:3 000 000 дна Тихого океана в районе СТГ, используемые в программе Google Earth Pro.

## ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

В строении СТГ принимают участие многочисленные (до 300) подводные поднятия высотой от 2000 до 4000 и более метров [3], геологическую основу которых образуют отдельные крупные гайоты, другие палеовулканические постройки, а также их кольцевые и линейные группировки. К западу от СТГ расположена область подводных возвышенностей и гор Маркус-Уэйк, к востоку — узкий подводный хр. Неккер, сочленяющийся с Гавайской цепью вулканических островов. Общая протяженность СТГ по изобате 5000 м составляет около 1500 км. По особенностям геоморфологического строения, параметрам и геометрии морфоструктурных элементов они имеют неоднородное строение. Отчетливо выделяются западный, центральный и восточный сегменты, каждый из которых состоит из серий палеовулканических и вулканотектонических и блоковых возвышенностей океанического дна. Выраженные на батиметрической карте (рис. 2) сложные по геометрии морфоструктуры СТГ разделены огромными по площади межгорными и предгорными впадинами, определяющими контуры, границы, дискретное размещение областей поднятий. Максимальные глубины опущенных участков земной коры превышают 6 км. Они отличаются типичным для абиссальных равнин выположенным аккумулятивным рельефом, присутствием лишь отдельных реликтовых возвышенностей, соотносимых с палеовулканическими сооружениями.



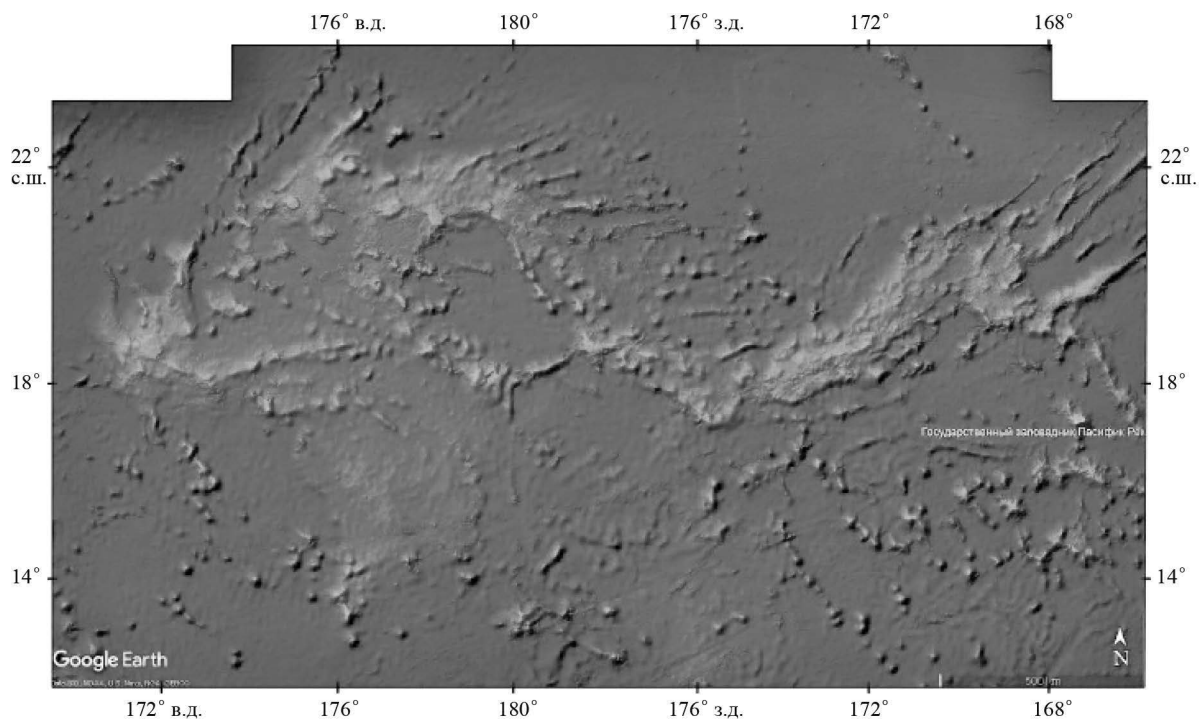
**Рис. 2.** Фрагмент батиметрической карты М 1:10 000 000 северной части Срединно-Тихоокеанских подводных гор (район 20° с.ш., 170° в.д. — 155° з.д.) и Гавайской цепи островов [13]. Тонкими линиями показаны маршруты научно-исследовательских судов.

Нельзя не обратить внимание на то, что на визуализированной ЦМР СТГ своими очертаниями удивительно похожи на стилизованного китайского дракона (рис. 3). В качестве головы на ЮЗ оконечности выделяется кольцевая морфоструктура радиусом ( $R$ ) около 110 км. Далее на восток следует мощное удлиненное тело с горбом, соотносимым со асимметричным сводовым поднятием, которое характеризуется северным максимально приподнятым сегментом и имеет в ядре кольцевую глубоководную впадину. На восточной окраине оно обрамляется развивающейся гривой в виде серии протяженных подводных горных хребтов, тектоническую основу которых образуют цепи палеовулканических построек.

Хвостом выступает система узких подводных поднятий СВ простирания, включая хребет Некер. Западный участок СТГ вместе с тремя крупными и серией более мелких поднятий, подводных хребтов СВ и СЗ простирания (рис. 2), располагаются вокруг овальной межгорной впадины, в центральных частях которой наблюдаются отдельные возвышенности, представляющие палеовулканические постройки и их цепи. Дискретное, линейно-узловое размещение палеовулканов с элементами трансляционной симметрии — важная особенность строения подводных хребтов СТГ.

Юго-западный сектор СТГ занимает платообразное поднятие, входящее в состав намечаемой здесь МЦТ  $R = 500$  км. В центральном сегменте гор расположено реликтовое сводовое поднятие, в ядре которого выделяется вытянутая в СЗ направлении овальная межгорная впадина ( $R_1 = 200$  км,  $R_2 = 170$  км) (см. рис. 1). Ее внешние контуры маркируют дуговые и прямолинейные системы относительно мелких поднятий кольцевой формы, соотносимых с цепями палеовулканических структур. К югу от нее дуговые цепи палеовулканических купольных форм рельефа позволяют наметить контуры крупной депрессионной МЦТ, отличающейся широким развитием межгорных и предгорных впадин с глубинами до 6000 м. С учетом параметров расположенного на ЮЗ платообразного поднятия, общая ширина полосы подводных гор и возвышенностей по изобате 5000 м варьирует от 1500 км в западной части до 200 км в восточной.

Центральный участок СТГ — узел сочленения подводных хребтов СЗ и СВ направлений простирания. Крупные поднятия в его пределах отсутствуют. Проходящий через него поперечный крупный разлом меридиональной ориентировки, выраженный цепью палеовулканических построек, представляет собой структурную границу между СЗ и СВ сегментами рассматриваемой горной системы.



**Рис. 3.** Срединно-Тихоокеанские горы на визуализированной ЦМР (3D), построенной на основе баз данных GEBCO\_2014 (WMS) и GEBCO\_2022 Grid [29] в рамках программы Google Earth Pro. Шкала глубин соотносима со шкалой на рис. 1.

Сегмент СТГ, переходящий в подводный хребет Неккера, образован сложно изгибающейся и вытянутой в СВ направлении полосой подводных хребтов и блоковых поднятий, состоящих их консолидированных систем гайотов, купольных форм. Отчетливо выраженное доминирование линейных морфоструктурных элементов этой ориентировки — свидетельство влияния мощной зоны разломов. Присутствующие в этом сегменте межгорные впадины образуют вместе с окружающими их поднятиями фрагменты кольцевых МЦТ. Северо-восточней расположены подводный хребет Неккер и параллельные ему линейные системы более мелких подводных возвышенностей, представляющие собой цепи палеовулканических построек. Общая ширина зоны линеаментов СВ простирания в этом районе достигает 300 км.

Рельеф участка дна, примыкающего с ЮВ к системе поднятий СВ сегмента СТГ, отличается широким развитием глубоководных межгорных впадин с абиссальными равнинами, в строении которых принимают участие как отдельные палеовулканические постройки, так и их кольцевые и линейные группировки. Протяженный кольцевой ряд таких очаговых структур маркирует внешний концентр крупной МЦТ с R примерно 350–370 км. Несмотря на присутствие в ее центральных частях отдельных палеовулканических построек и их скоплений, средние глубины этого участка дна превышают 5000 м.

Помимо дуговых и кольцевых линейных систем поднятий, в пределах СТГ распространены прямолинейные подводные хребты разных направлений. Азимуты их простирания для СВ румбов варьирует в диапазоне 20–80°, для хребтов с СЗ ориентировкой характерны азимуты 290°, 300–310°. В морфотектоническом плане все они представлены цепями относительно небольших (R до 15 км) палеовулканических структур, концентрирующихся в зонах магмоконтролирующих разломов.

Глубины над вершинами СТГ, имеющими, как правило, уплощенную верхнюю поверхность меняются от 50 до 3500 м [3, 13]. Сочетание с горами глубоководных предгорных и межгорных впадин обуславливает общую высокую вертикальную расчлененность рельефа дна с перепадами высот до несколько тысяч метров. Влияние межгорных и предгорных впадин на контуры горных сооружений и областей поднятий в целом, присутствие в пределах депрессий отдельных палеовулканов и их линейных группировок дают основание рассматривать их как неотъемлемые

элементы морфоструктурного плана СТГ. Сочетание вулканогенных поднятий и отрицательных морфоструктур в виде впадин типичные особенности этой и прилегающих подводных горных систем этого участка дна Тихого океана.

В ходе геологического изучения СТГ был выполнен большой объем работ по драгированию каменного материала, пробурены глубоководные скважины (№ 171, 313, 866, 867, 868 и др.). Один из типичных разрезов представлен в скважине № 313. В интервале 598–616 м пройдена толща щелочных базальтов с абсолютным возрастом 75–74 млн лет. Выше залегают кампанские туфопесчаники, туфоалевролиты, туфобрекчии с прослоями известняков и других карбонатных отложений. Венчают разрез позднеолигоценые, плиоценовые биогенные илы (232–35 м) и плейстоценовые цеолитовые глины. Сква. № 171 (гайот Хорайзн) на глубине забоя 479 м вскрыла пачки оливин-плагиоклазовых базальтов толеитовой формации, сменяющихся выше по разрезу сеноманскими известняками. Ближе к поверхности (145–135 м) установлены пузырчатые базальты с прослоями гиалокластических туфов, перекрытые слоем конгломератов с галькой базальтов и известняков. Кайнозойские осадочные образования (среднеэоценовые и олигоценые илы) залегают на позднемеловых отложениях с угловым и стратиграфическим несогласием [3, 26]. Общая геологическая обстановка определяется составом и строением двух основных магматических комплексов. Фундамент горной системы слагают толеитовые оливиновые базальты, гиалокластиты, лавобрекчии, возникшие в юрско-раннемеловой этап магматической активности в результате масштабных площадных излияний. Вышележащий меловой комплекс состоит из щелочных базальтов, трахибазальтов, трахиандезитов и их туфов, входящих в состав щелочно-базитовой ассоциации пород, широко развитых в пределах океанических гор и островов Тихого океана [3, 15, 16 и др.]. Присутствие среди вулканитов прослоев гравелитов, конгломератов, песчаников свидетельствует о том, что в отдельные отрезки времени извержения происходили в субаэральных условиях, что предполагает наличие островного этапа развития СТГ.

Обработка полученных в ряде морских экспедиций ДВО РАН образцов из района подводных гор Маркус-Уэйк и обобщение литературных данных по СТГ позволили выделить петрологическую провинцию с анкаромитовой (океаниты, анкаромиты, ферроанкаромиты) и трахибазальтовой (анкаратриты, трахибазальты, фонолиты

и др.) магматической ассоциацией пород, предполагая участие в их формировании вещества мантийных диапиров [9]. В работе [1], посвященной строению и магматизму системы поднятий Маркус-Неккер, приводятся такие датировки абсолютного возраста вулканитов: 100–150 млн лет (поздняя юра — ранний мел), 55 млн лет (поздний палеоцен — ранний эоцен), 42 млн лет (средний и поздний эоцен), и 24.8 млн лет (нижний миоцен). Большинство полученных значений возраста пород укладывается в диапазон 127–85 млн лет, что соответствует меловой системе.

Близкие по своему значению материалы о циклах тектономагматической активности региона получены и для Магеллановых гор (МГ), расположенных юго-западнее. В их пределах по данным глубоководного бурения, драгирования, результатам биостратиграфических определений и изотопного возраста пород выделены 5 комплексов вулканитов: позднеюрско–раннемеловой, раннемеловой (апт–альб), два позднемеловых (поздний сеноман — ранний кампан и поздний кампан — маастрихт) и кайнозойский [15]. Общий период пульсационной магматической активности оценивается в 150 млн лет, что дает основание связывать дискретное, но унаследованное развитие вулканических центров МГ с деятельностью длительно живущей мантийной очаговой системы [7].

Завершая краткий анализ опубликованных материалов о геоморфологии и геологическом строении СТГ, можно сделать следующий вывод. На фоне многочисленных описаний рельефа, петрографических, петрохимических и литолого-стратиграфических данных остаются открытыми важнейшие вопросы пространственной и иерархической организации очаговых систем, зон разломов и их взаимодействия. Столь же актуально решение задач морфотектоники, систематики КС, оценки роли явлений мантийного диапиризма и в целом очаговой динамики при процессах горообразования. На суше они решаются на основе проведения геолого-съёмочных работ и тематических исследований, включая геофизические методы, геоморфологическое картографирование с использованием материалов аэрофото- и космических съёмок. Технические сложности изучения рельефа и геологии дна морей и океанов делают реализацию аналогичных по содержанию и масштабу исследований в настоящее время маловероятной. Поэтому, помимо традиционного комплекса работ (съёмка рельефа дна многолучевым эхолотом, драгирование, глубоководное бурение, сейсмопрофилирование и др.), явно целесообразно

совершенствовать камеральные методики работы с ЦМР дна акваторий.

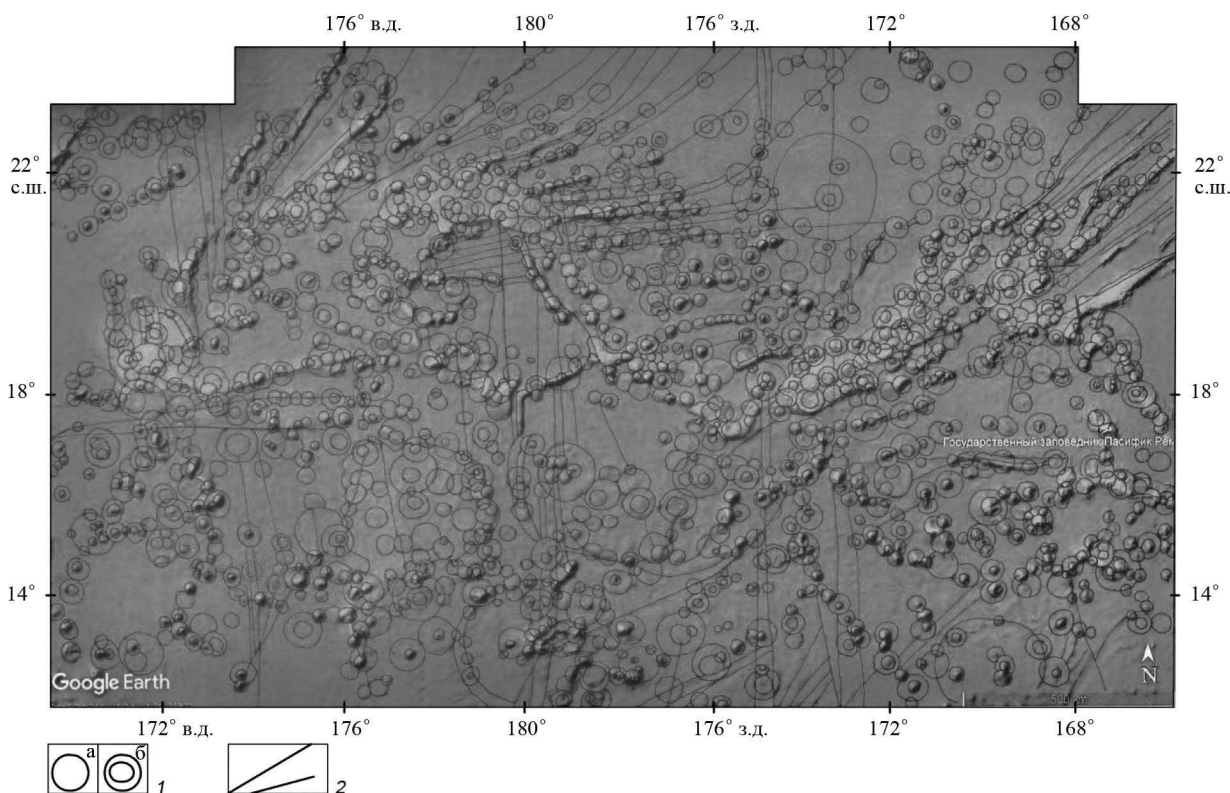
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. В пределах СТГ и прилегающих площадей выявлены сложные пространственные системы кольцевых геоморфологических аномалий разного строения и размера, которые соотносимы с палеовулканическими постройками и более крупными очаговыми системами  $R = 200\text{--}400$  км, которые выражены в рельефе в виде реликтовых магматических сводов. Среди локальных образований наиболее широко распространены палеовулканические структуры четырех основных классов размерности ( $R$ ): 50–60, 25–30, 15–20 и 6–10 км (рис. 4). Более мелкие кольцевые формы, вероятно, соответствуют небольшим моногенным палеовулканам, лавовым, экструзивным куполам.

2. Статистически установленная корреляция радиусов КС и локаций продуцирующих их энерго- и магмогенерирующих центров ( $R \sim H$ ) [11, 17 и др.], а также примерные данные об объемах изверженных пород и длительности явлений вулканизма в пределах КС ранга магматических сводов позволяют рассматривать их как проекции глубинных длительно живущих очаговых систем, соотносимых с диапирами литосферной и подлитосферной мантии. Соответственно выделяются очаговые системы корового и мантийного заложения.

3. Выделенные кольцевые аномалии на визуализированных ЦМР разделяются по степени выраженности. Наиболее отчетливо проявлены аномалии в пределах сводов и подводных хребтов. Они отличаются своими высотами и соответственно цветовыми оттенками, характерными для относительно небольших глубин. Менее отчетливо выражены КС на бортах поднятий и в пределах прилегающих впадин, где существует чехол рыхлых отложений, в различной степени перекрывающих вулканические постройки. Помимо геоморфологической позиции, выраженность в рельефе кольцевых аномалий определяется размерами, интенсивностью деятельности и временем формирования очаговых систем, что позволяет по батиметрическим данным и результатам комплексного применения методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования различать районы относительно молодого и более древнего вулканизма.

4. С увеличением параметров очаговых структур возрастает сложность их внутреннего строения. Большинство мелких форм составляют



**Рис. 4.** Схема кольцевых аномалий и линеаментов СТГ, созданная на основе использования методов морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования при работе с визуализированными ЦМР М 1: 9000 000. 1 – кольцевые аномалии, сопряженные с очаговыми структурами: а – моногенные с простой инфраструктурой, б – полигенные со сложной инфраструктурой; 2 – линеаменты, связанные с зонами разломов.

моногенные палеовулканы центрального типа. Более крупные КС, как правило, полигенны, т. к. имеют один или несколько сателлитов, указывающих на наличие двух и более этапов образования. На представленных визуализированных ЦМР выделяются установленные ранее на суше [5] моно-, полиядерный, моно-, полиядерно-сателлитный и орбитально-сателлитный (безъядерный) унифицированные типы инфраструктур очаговых образований.

5. В качестве главных по иерархии морфологических классов КС в пределах СТГ выступают их кольцевые и линейные группировки. По особенностям своего внутреннего строения первые представляют собой пространственные системы, состоящие из сателлитных очаговых образований. МЦТ ранга магматических сводов характеризуют: параметры (радиусы первые сотни км); аномально высокая плотность палеовулканов – проекций магматических центров; наличие кольцевых и дуговых рядов палеовулканических построек внешних и внутренних концентров, связанных с зонами магмоконтролирующих разломов; присутствие прямолинейных цепей палеовулканов, контролируемых радиальными

и секторальными межблоковыми разрывными нарушениями; радиально-концентрическая батиметрическая зональность.

6. Сателлитные очаговые структуры палеосводов поднимались дифференцированно, создавая предпосылки для формирования секторальных блоковых дислокаций, отличающихся геологическим строением. Примером может служить явление геоморфологической и геологической асимметрии диаметральных блоков [5]. Наличие нескольких порядков очаговых систем и этапов вулканизма в хронологическом диапазоне ранний мел – эоцен, а также вертикальных тектонических подвижек периода формирования межгорных впадин, обусловили создание сложных комбинаций блоковых и вулканогенных элементов морфоструктурного плана СТГ.

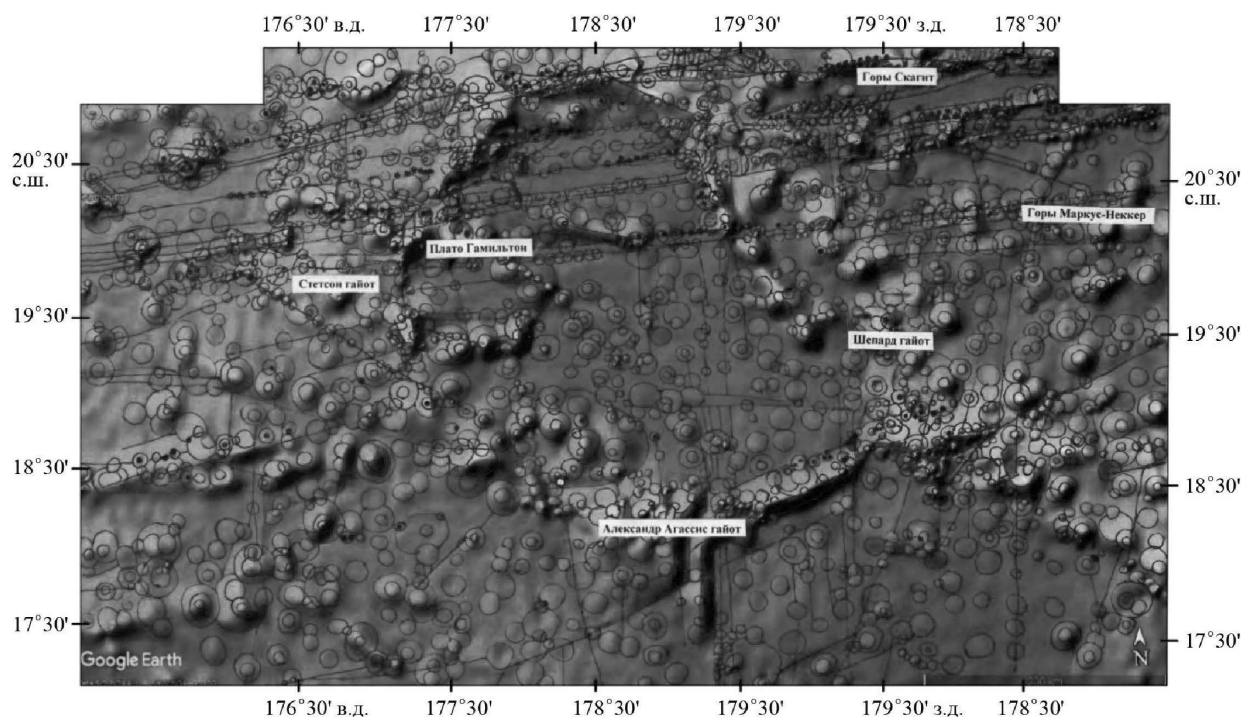
7. Специфические черты линейных группировок палеовулканических структур – сопряженность с зонами магмоконтролирующих разломов, линейно-узловой тип инфраструктуры с элементами трансляционной симметрии, протяженность и соответствующая ориентировка, расстояние между палеовулканами, их параметры. Согласно полученным данным, тектоническая

основа многочисленных подводных хребтов СГТ образована рядами мелких и средних по размеру ( $R < 20$  км) моногенных и полигенных палеовулканов, выраженных куполообразными формами рельефа, гайотами, которые концентрируются в зонах разломов преимущественно СВ и СЗ простирания. Особое горообразующее значение имеют дуговые и кольцевые цепи очаговых морфоструктур, маркирующие, во многих случаях, концентры реликтовых магматических сводов. Реже представлены подводные вулканогенные хребты, контролируемые разломами широтной и меридиональной ориентировки.

8. В свете полученных данных становится понятной специфика морфологии, геологического строения и особенностей развития СЗ, ЮЗ секторов, центральной и восточной частей СТГ. В СЗ сегменте тектоническая основа горного рельефа связана с палеосводовым поднятием  $R = 300\text{--}350$  км, на восточных склонах которого расположена серия протяженных цепей вулканических построек (рис. 3, 4), образующих многочисленные подводные хребты СВ и субширотной ориентировки. Их размещение контролируется зонами магмоконтролирующих разрывных нарушений, простирание которых меняется от  $30$  до  $90^\circ$ . В ядре реликтового свода находится крупная овальная вулканотектоническая депрессия ( $R_1 = 200$ ;  $R_2 = 250$  км) (рис. 1, 3, 4). Более

детальное рассмотрение этой КС (рис. 5) свидетельствует о том, что в ее строении принимают участие и прямолинейные группировки очаговых построек разных размеров, образующие внешние и внутренние подводные хребты. Относительно слабо выраженные в рельефе палеовулканические сооружения ее центральных частей указывают на наложенный характер этой кольцевой межгорной впадины.

9. Если за ее пределами и на восточных границах доминируют цепи относительно небольших вулканоструктур ( $R < 10$ ; и  $R < 20$  км), то на западе выделяются несколько КС с  $R$  до  $100$  км. Как показывают результаты дешифрирования визуализированной ЦМР, северную часть впадины пересекает широкая (до  $150$  км) полоса сквозных субширотных ( $80^\circ$ ) разломов, играющих магмоконтролирующую роль. Внешний ее контур отличается высокими отметками рельефа и светлыми тонами батиметрической шкалы. Внутренняя часть опущена до глубин  $6$  и более км, но осадочный чехол, видимо, не полностью перекрывает палеовулканические постройки. Наличие на бортах и в центральной части кольцевой впадины многочисленных проекций магматических центров характерно для областей многовогоходного вулканизма. Вместе с другими данными это указывает на очаговую природу рассматриваемой глубоководной впадины и связь ее формирова-



**Рис. 5.** Схема строения крупной кольцевой вулканотектонической депрессии центрального района СТГ. Построена на основе применения методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования при работе с визуализированными ЦМР. Условные обозначения: см. рис. 3.

ния с завершающими этапами развития КС мантийного заложения.

10. Полученные материалы свидетельствует о том, что строение и эволюция СЗ сегмента СТГ обусловлены деятельностью диапира подлитосферной мантии ( $R \sim H$ ), выраженной в рельефе реликтовым магматическим сводом. Наличие сателлитных КС разных размеров показывает, что активность глубинного источника сопровождалась образованием в недрах сложной ярусно-древовидной пространственно-иерархической системы промежуточных магматических очагов, возникновение которой обусловлено высокой подвижностью потоков тепломассопереноса и соответственно насыщенностью базитовых магм газами и флюидами.

11. Морфотектоника ЮЗ сегмента СТГ определяется существованием очаговой морфоструктуры  $R = 350$  км, контуры которой очерчиваются протяженными дугowymi цепями палеовулканических построек, отчетливо выраженных в рельефе купольными формами рельефа (см. рис. 4). Если инфраструктура тектономагматического поднятия СЗ участка СТГ относится к сателлитному типу, то расположенная южнее очаговая МЦТ к ядерно-сателлитному, т. к. имеет в центральной части невысокое вулканическое плато с многочисленными слабо выраженными в рельефе плосковершинными (абрадированными) и купольными палеовулканическими постройками. В ее пределах отчетливо проявлена диаметрально-асимметрия, т. к. западный диаметральный блок погружен на глубины до 6 км и отличается низкой плотностью КС.

12. Центральная часть СТГ принадлежит к узлу сочленения систем подводных хребтов СЗ и СВ ориентировки, отличаясь меньшими высотами поднятий и значительными глубинами прилегающих межгорных впадин. Структурная граница между крупнейшими сегментами рассматриваемого горного пояса определяется зоной крупного магмагмоконтролирующего разлома меридиональной ориентировки (см. рис. 4). Южнее в этом районе также развиты КС различных размеров, цепи которых формируют крупную постройку  $R = 350$  км. Ее геометрический центр расположен южнее основной системы поднятий СТГ. По особенностям внутреннего строения она относится к сателлитному типу очаговых систем и характеризуется глубоко погруженной центральной частью.

13. Согласно полученным данным, СВ сегмент СТГ представляет собой консолидированную систему подводных хребтов СВ простира-

ния, возникших в пределах северного сегмента реликтового магматического свода  $R = 360$  км. В ЮЗ части сегмента основное поднятие сопряжено с диаметрально-асимметричным блоком КС с  $R = 170$  км. Далее к СВ цепи локальных очаговых структур входят в состав претерпевших деструкцию палеосводовых поднятий  $R = 140\text{--}150$  км. На трансформацию этих поднятий указывает участие в их строении межгорных впадин. На участке сочленения с подводным хребтом Неккер (Necker) установлена очаговая морфоструктура  $R = 70\text{--}80$  км. Юго-восточнее рассматриваемого сегмента СТГ отчетливо выраженные в рельефе дуговые цепи относительно небольших палеовулканов очерчивают внешний концентр крупной КС ( $R = 350\text{--}360$  км), имеющей полиядерно-сателлитный тип инфраструктуры и характеризующейся наличием глубоководных впадин в центральной части. Одна из важных особенностей их строения — присутствие прямолинейных и кольцевых группировок локальных палеовулканических построек. Близкие для всех выделяемых крупных КС южного флага СТГ значения  $R$  ( $350\text{--}360$  км), очевидно, не случайны, отражая существование общего для них ( $R \sim H$ ) глубинного уровня магмогенерации. По своей природе это — реликтовые магматические своды, претерпевшие значительную деструкцию, связанную с заложением в их пределах межгорных глубоководных впадин.

14. Содержащиеся в разрезах вулканических толщ гайотов прослои осадочных пород мелко-водных или прибрежных фаций — свидетельство существования в геологической истории СТГ островного этапа с субаэральными условиями проявления вулканической деятельности. Современное положение абрадированных палеовулканов и их группировок на глубинах до 6 и более км — следствие их погружения на заключительном этапе эволюции в позднем кайнозое. Присутствие ряда стратиграфических перерывов и угловых несогласий в общем геологическом разрезе гайотов можно объяснить лишь инверсиями тектонического режима, полициклическим характером проявлений вулканизма и тектонических движений.

15. В целом морфоструктурный план СТГ определяется: существованием реликтовых магматических сводов, характеризующихся высокой концентрацией и радиально-концентрическим размещением палеовулканических построек, а также их группировок; наличием дуговых, кольцевых и прямолинейных подводных горных хребтов СЗ, СВ и других направлений, которые образованы цепями палеовулканов и зонами маг-

моконтролирующих разломов; суперпозицией унаследовано и полициклично развивающихся очаговых структур разного порядка и блоковых дислокаций, связанных с деструктивным этапом эндогенного морфогенеза, сопровождавшегося формированием глубоководных межгорных, предгорных впадин и общим погружением дна Тихого океана.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Геоморфологические и геологические особенности строения СТГ и прилегающих подводных возвышенностей, поднятий дна Тихого океана свидетельствуют о том, что горообразование в условиях земной коры океанического типа почти полностью определяется процессами разноглубинной очаговой тектоники, явлениями эффузивного и интрузивного магматизма. Наличие крупных овальных и круговых областей скопления центров извержений базальтовой лавы, их упорядоченное, радиально-концентрическое размещение с соответствующей батиметрической зональностью позволяют рассматривать их (см. рис. 4) как проекции очаговых структур центрального типа более высокого ранга. По своим параметрам ( $R \sim H$ ) они соотносимы с магматическими сводами, имеющими глубинное заложение. Идеи о присутствии на дне Тихого океана таких структур были популярны еще в 1980–1990 гг. [18, 23, 25]. Вопросы связи формирования магматических сводов с аномальными термальными явлениями в геологической среде и процессами изостазии рассматривались, в частности, в работе [18], где была предложена модель внедрения в литосферу интрузии высокотемпературной (1500–1600°C) ультрабазитовой магмы. Конструктивное развитие и вздымание сводов связывалось с разогревом недр, опускание — с охлаждением источника.

Параллельно развивалось направление исследований, связанное с изучением процессов плюмовой тектоники [10, 24, 27 и мн. др.]. Примером может служить идея о существовании в северо-западной Пацифике позднемезозойского суперплюма [22], которая получила дальнейшее развитие в работах [12, 19–21, 28]. Следует отметить, что быстрые опускания и поднятия земной коры на континентах связаны, по мнению Е.В. Артюшкова [2], с нарушением прочности литосферы при подъеме плюмов. Предполагается, что при активной инфильтрации газов и флюидов в литосферную мантию происходит ее размягчение и разуплотнение с формированием необходимо-

го изостатического потенциала для масштабных поднятий территорий. Погружение также обусловлено не растяжением литосферы во впадинах и сопутствующим сжатием в прилегающих областях, а вещественными преобразованиями, в частности, быстрым превращением габбро подошвы земной коры в тяжелые гранатовые гранулиты или эклогиты. Применительно к условиям преобразования земной коры океанического типа относительно быстрое поднятие и погружение дна акваторий можно связать, в частности, с явлениями гидратации и дегидратации таких типичных образований базальтового слоя как серпентиниты. По своему составу они представляют собой гидратированные перидотиты и слагают вместе с габбро комплекс основания земной коры океанов (третий слой). Исследования, проведенные в Исландии, показали, что морская вода проникает в земную кору на глубину не менее 3 км [8]. Поэтому гидратация гипербазитов (перидотиты, перовскиты, лерцолиты и др.) верхней мантии с участием водяных паров, флюидов и гидротерм будет стимулировать подъем вышележащих блоков коры. И наоборот, дегидратация серпентинитов за счет разогрева недр при внедрении мантийных ультраосновных пород и дефиците воды может вызывать опускание океанического дна.

В этом случае полученные минеральные парагенезисы соответствуют природным дунитам и гарцбургитам. Плотность серпентинитов, представляющих неотъемлемый компонент в строении земной коры океанов, варьирует в интервале 2.5–2.7 г/см<sup>3</sup>. При средних значениях плотности гарцбургитов, входящих в семейство перидотитов, — 3.2 г/см<sup>3</sup> и дунитов — 3.28 г/см<sup>3</sup> разница составляет около 19%, что, при наличии значительных объемов серпентинизированных пород, создает предпосылки для их уплотнения и возникновения необходимого гравитационного потенциала с реализацией процессов деструкции магматических сводов и погружением их блоковых элементов.

Полученные данные о высокой плотности, систематике, пространственной организации скоплений эндогенных КС различного порядка, их соотношении с разрывными и блоковыми дислокациями позволяют рассматривать СТГ как продукт периодически возникавших масштабных прорывов и аккумуляции различного магматического материала на поверхности и в пределах верхних участков литосферы, которая на позднемезозойском этапе геологического развития отличалась повышенной проницаемостью. На формирование подводных возвышенностей

могло влиять как масштабное накопление эффузивов, так и механическое давление поднимающейся к поверхности магмы на вмещающие породы, способствуя возникновению систем интрузивных, протрузивных дислокаций (штоки, лакколиты и др.) и соответственно купольных форм, сводовых поднятий на земной поверхности. По аналогии с Исландией в районах существования крупных щитовых вулканов и их группировок на месте СТГ в позднем мезозое могли возникать лавовые поля и плато, обусловленные перекомпенсированным накоплением лав и туфового материала на фоне погружения океанического дна.

Установленные параметрические характеристики очаговых морфоструктур, анализ особенностей их внутреннего строения дает основание для выделения трех классов или рангов объектов. Они соотносимы с проекциями энерго- и магомгенерирующих центров, которые могут быть расположены в подлитосферной, литосферной мантии и в земной коре. Наличие различных по размерам и рангам очаговых структур показывает, что при подъеме к поверхности и падении литостатического давления высокотемпературные, обогащенные летучими компонентами потоки магмы могли расщепляться на отдельные струи, создавая на границах геолого-геофизических разделов многочисленные промежуточные очаги [11, 17 и др.]. Это способствовало образованию под СТГ ярусно-древовидных систем магматических центров, формирование и функционирование которых зависело от деятельности мантийных диапиров. Одна из проекций таких глубинных структур в виде реликтового свода в СЗ части СТГ отличается наличием в центре кольцевой вулканотектонической депрессии (рис. 4, 5). Другие формируют трехчленный широтный ряд опущенных магматических палеосводов, расположенный южнее пояса СТГ. Судя по размещению цепей палеовулканических построек, в его строении эти глубинные структуры задействованы лишь частично. При активном опускании дна Тихого океана в позднем кайнозое остались выражены в рельефе лишь цепочки палеовулканов, сопряженные с магмоконтролирующими разломами и подводными хребтами. Для рассматриваемого региона в целом характерна относительная устойчивость их против изменений, явных признаков смещений линейных элементов геологического строения и рельефа не установлено. В узлах пересечения разрывных нарушений разных направлений выражены эффекты “утыкания”, резкого ограничения или сквозного прохождения.

Общая ориентировка систем поднятий СТГ и рядов крупных реликтовых магматических сводов совпадает, что дает основание предполагать существование скрытой региональной зоны глубинных широтных разломов. Именно они определили структурную позицию и простирающиеся протяженного вала крупных подводных возвышенностей, включающего не только СТГ, но и систему Маркус-Уэйк. Проведенный анализ изображений (рис. 4, 5) показывает, что региональные разломы региона представлены системами более мелких структур шириной первые км. По аналогии с материалами исследований на суше, можно предполагать, что в генетическом отношении это — сбросы, развивающиеся в зонах сочленения дифференцированно развивающихся структур, раздвиги, сдвиги и зоны присдвигового растяжения (pull-apart), что позволяет объяснить дискретное с элементами трансляционной симметрии размещение палеовулканических построек в виде цепей и рядов.

Определяющая роль ранне- и позднемиоценовых вулканических комплексов в строении гайотов СТГ и прилегающих подводных возвышенностей системы Маркус-Неккер, устойчивое и унаследованное развитие инфраструктуры магматических сводов, а также другие материалы подтверждают идею [22] о существовании в СЗ части Тихого океана в меловой период крупного плюма [12, 19, 20, 28]. Наличие в более детально изученных районах (Маркус-Уэйк, Магеллановы горы) [14, 15] данных о кайнозойских этапах вулканизма (поздний палеоцен, средний—поздний миоцен), материалы геологических разрезов о перерывах в осадконакоплении и вулканической деятельности [1, 3, 26 и др.] отражают длительный (более 100 млн лет), но пульсационный, циклический характер его тектономагматической активности.

Наблюдаемое подобие геометрии и унифицированные особенности внутреннего строения крупных и мелких кольцевых геоморфологических аномалий СТГ согласуются с ранее полученными данными о конвергентном развитии и гомологии очаговых структур [5, 7]. Ядерно-сателлитный тип инфраструктуры отмечается в отдельных вулканотектонических поднятиях и крупных щитовых вулканах. Примером может служить КС радиусом 100 км, расположенная на западной оконечности СТГ (рис. 4). Орбитально-сателлитная схема размещения вулканических центров характерна для реликтовых сводов, претерпевших инверсию на заключительных этапах развития, когда в их центральных частях образовались межгорные впадины. Выдержанность

радиально-концентрического рисунка элементов внутреннего строения проекций длительно живущих глубинных очаговых систем СТГ указывает на устойчивость магмоподводящих каналов над мантийными диапирами, что возможно лишь при отсутствии в пределах рассматриваемых участков дна значимых горизонтальных тектонических движений.

Фациальный состав осадочных образований (туфы, алевролиты, конгломераты с галькой базальтов и известняков и др.), развитых в виде прослоев в толщах меловых базальтоидов, указывает на субаэральные условия вулканической деятельности в СТГ, которая завершилась к началу альба. Имеющиеся данные о наличии на гайтах толщ известняков (более 500 м), отложенных в хронологический период альб–палеоцен, отражают начало перехода абрадированных палеовулканических построек в подводное положение. Эоценовый возраст осадков, перекрывающих известняки на гайтах СТГ [3], указывает на доминирование в кайнозое процессов погружения дна этого района.

Геодинамический режим, свойства окружающей среды и роль глубинных очаговых систем в развитии рельефа СТГ менялись во времени. На начальном этапе в условиях растяжения и раскрытия зон глубинных разломов возникали эффекты декомпрессии, которые активизировали процессы магмогенерации и возникновения инъективных дислокаций мантийного заложения. Это способствовало формированию на поверхности литосферы многочисленных вулканических структур и их линейных и кольцевых группировок. Активное взаимодействие морской воды с коровыми магматическими очагами при подводных извержениях обусловило активное участие газов, флюидов, водяных паров и гидротерм в процессах петрогенеза, вызывая, вследствие гидратации мантийных базитов, гипербазитов образование серпентинитов и соответствующее разуплотнение литосферы. Выброс на поверхность огромных масс базальтоидов обеспечил рост мощности вулканического слоя земной коры этой области океанического горообразования. С учетом механического давления мантийных диапиров и сопутствующих интрузивных и протрузивных явлений возникли необходимые предпосылки для формирования так называемых “корней” гор системы поднятий СТГ.

На последующих этапах унаследованного развития очаговых глубинных систем региона новые инъекции мантийного материала происходили в условиях существования достаточно мощной

для океанов земной коры, заполненных застывшей магмой зон разломов, остывших интрузивных тел и, как следствие, при явном уменьшении проницаемости литосферы. В таких полузакрытых системах, без доступа поверхностных вод мантийный материал мог долго сохранять свою высокую температуру, осуществляя работу по магматической и метаморфической базификации, ассимиляции вмещающих пород, дегидратации серпентинитов, общему структурно-вещественному уплотнению горных пород.

Такая модель позволяет объяснить пространственную сопряженность в СТГ областей поднятий и межгорных впадин, входящих в состав КС мантийного заложения и не нарушающих их радиально-концентрическое строение. Параллельно могли протекать и другие процессы, вызывающие тектонические движения и соответствующие трансформации рельефа океанического дна. После выбросов летучих компонентов, магматического материала и падения избыточного давления в магматических камерах мог реализоваться процесс формирования кальдер, вулканотектонических депрессий. А в случае завершения деятельности многочисленных мелких очаговых систем в районах многовыходного типа базальтового вулканизма, возникающих над приближенными к поверхности литосферы мантийными диапирами, масштабная дегазация и дефлюидизация недр способствовали компенсационному погружению океанического дна на значительных площадях.

Универсальная роль глубинных очаговых систем при взаимодействии с литосферой проявляется в том, что в зависимости от особенностей их развития и геодинамических условий геологической среды они могут вызывать либо рост мощности земной коры и ее воздымание, либо сокращение, уплотнение и опускание. По совокупности геолого-геоморфологических данных, формирование основных поднятий СТГ можно связать с конструктивным этапом эволюции мантийных КС, который приходится на меловой период. В это время были сформированы основные вулканические постройки и их кольцевые, линейные пространственные группировки, произошло перекомпенсированное накопление эффузивов и наращивание разреза вулканогенного слоя и земной коры в целом. Толщина земной коры под СТГ достигает примерно 15 км [13]. Имеющиеся данные об увеличенных мощностях земной коры (“корнях гор”) под многими подводными возвышенностями Тихого океана: Хесса – 18 км, Шатского – 22 км, Обручева – 13 км,

Гавайского вала — 15 км и т. д. [1, 14, 16 и др.] — отражают, по мнению автора, общий характер закономерностей, базирующихся на определяющей роли глубинных процессов в ходе структурно-вещественных преобразований литосферы при горообразовании в условиях земной коры океанического типа.

В то же время сопряженные с СТГ глубоководные межгорные и предгорные впадины определяются как продукт деструктивных преобразований земной коры, приводящих к сокращениям мощности земной коры и погружению дна акваторий. В свете имеющихся данных о геологическом строении абрадированных палеовулканических построек и их погружении в течение кайнозоя на глубины до 5 и более км отрицательные морфоструктуры представляют собой наложенные или унаследовано-наложенные формы, возникшие после завершения процессов активного вулканизма и горообразования. С позиций морфотектоники система поднятий СТГ выступает как группировка остаточных инъективных и блоковых дислокаций, которые за счет повышенной мощности земной коры, наличия “корней гор” оказались относительно устойчивы к масштабным деструктивным процессам, охвативших в среднем-позднем кайнозое обширные районы мегавпадины Тихого океана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Согласно данным морфоструктурного анализа, дешифрирования визуализированных ЦМР (3D) и имеющимся геологическим материалам определяющую роль в формировании и эволюции СТГ принадлежит явлениям мантийного диapiзма и масштабного базальтоидного вулканизма, которые проявились в позднем мезозое. Присутствие в прилегающих областях подводных возвышенностей (Маркус-Уэйк, Магеллановы горы) региона близких по составу позднеюрских, меловых и кайнозойских вулканогенных комплексов подтверждает идею о существовании в СЗ части Тихого океана длительно живущего (более 100 млн лет) суперплюма, развивавшегося циклично.

2. Установленные особенности размещения палеовулканических построек СТГ отражают совмещение черт трещинного и центрального типов извержений. Различные по размерам горообразующие очаговые структуры СТГ соотносимы с проекциями энерго- и магомгенерирующих центров разных глубин заложения ( $R \sim H$ ) и образуют иерархический ряд: от локальных палеовул-

канических форм до реликтовых магматических сводов. Магматические потоки перемещались от глубинных очаговых систем вдоль разломов-каналов, формируя на участках повышенной проницаемости коры (включая узлы пересечения разрывов) цепи или ряды моногенных и полигенных вулканов, составляющих тектоническое основание подводных хребтов разной протяженности и порядка.

3. Выдержанность радиально-концентрического рисунка размещения гайотов и других палеовулканических построек разного размера в пределах проекций глубинных очаговых систем СТГ указывают на устойчивость (во времени и пространстве) магомподводящих каналов, что возможно лишь при отсутствии в пределах рассматриваемых участков дна значимых горизонтальных тектонических движений. Это подтверждает и отсутствие признаков существенных смещений магомконтролирующих разломов и связанных с ними цепей палеовулканов.

4. Глубинные очаговые структуры в ходе длительного унаследованного развития могут вызывать либо рост мощности земной коры и ее воздымание, либо сокращение, уплотнение и опускание. Увеличение мощности вулканогенного слоя на конструктивном этапе развития при океаническом горообразовании связано с масштабными извержениями и накоплением огромных масс эффузивов, что приводит к уменьшению проницаемости литосферы. Поэтому на следующих этапах активизации недр при наличии крупных инъекций базитового и ультрабазитового материала возникают условия для длительного существования в литосфере высокотемпературного мантийного материала. Это обуславливает возможность дегидратации серпентинитов и ассимиляции, замещения эффузивов интрузивными базитами и ультрабазитами, уплотнения земной коры и ее последующего опускания. Все это сочетается с пульсационным характером деятельности очаговых систем и чередованием геодинамических режимов сжатия-растяжений в литосфере.

5. Формирование в пределах СТГ глубоководных впадин на деструктивном этапе развития глубинных очаговых систем вызвало разобщенность, разделение подводных возвышенностей на отдельные сегменты, блоки, определило границы, контуры поднятий, распределение высот и вертикальную расчлененность рельефа. Именно в это время окончательно сложился общий морфологический облик этой горной системы, что указывает на ее реликтовую природу. При этом согласно полученным данным, положительные

и отрицательные элементы морфоструктурного плана СТГ отражают лишь особенности длительной эволюции очаговых систем мантийного заложения во времени, сохранивших первичное радиально-концентрическое строение. Представляется, что примат явлений очаговой геодинамики, глубинная природа и детерминированные связи процессов конструктивного и деструктивного тектоморфогенеза — типичные особенности океанического горообразования.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках госбюджетной темы, регистрационный номер: 124022100082-4.

**Конфликт интересов.** Автор данной работы заявляет, что у него нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов А.В. Подводные горы системы поднятий Маркус-Неккер (Тихий океан): особенности строения и магматизма // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3. Вып. 31. С. 40–57.
2. Артюшков Е.В. Новейшие поднятия земной коры как следствие инфильтрации в литосферу мантийных флюидов // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 6. С. 738–760.
3. Васильев Б.И. Геологическое строение и происхождение Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2009. 559 с.
4. Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З. и др. Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.
5. Гаврилов А.А. Проблемы морфоструктурно-металлогенического анализа. Владивосток: Дальнаука, 1993. Ч. II. С. 141–326.
6. 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>
7. Гаврилов А.А. Актуальные теоретические вопросы геоморфологических и морфотектонических исследований. Владивосток: Дальнаука, 2022. 324 с.
8. Гаврилов В.П. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана. М.: Недра, 1990. 323 с.
9. Говоров И.Н., Говоров Г.И. Симоненко В.П. и др. Анкармитовая ассоциация гор Маркус-Уэйк (Тихий океан) как показатель погребенных древних структур // Геотектоника. 1993. № 4. С. 87–96.
10. Грачев А.Ф. Мантийные плюмы и проблемы геодинамики // Физика Земли. 2000. № 4. С. 3–37.
11. Ежов Б.В. Морфоструктуры центрального типа Азии. М.: Наука, 1986. 133 с.
12. Ежов Б.В., Никонова Р.И. Морфоструктура дна Северной Пацифики с позиций очаговой геодинамики // Труды професс. клуба. Владивосток, 2004. № 8–9. С. 54–64.
13. Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана. М. — СПб.: Изд-во ЦКФ ВМФ, 2003. 192 с.
14. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУП “Южморгеология”, 2005. 230 с.
15. Плетнев С.П., Мельников М.Е., Съедин В.Т. и др. Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан). Владивосток: Дальнаука, 2020. 200 с.
16. Пушаровский Ю.М., Меланхолина Е.Н. Тектоническое развитие Земли. Тихий океан и его обрамление. М.: Наука, 1992. 263 с.
17. Соловьев В.В., Рыжкова В.М. Морфоструктурный метод изучения глубинного строения литосферы // Труды ЛОЕ. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. Т. 77. Вып. 2. С. 57–62.
18. Сычев П.М., Соинов В.В., Веселов О.В. и др. Изостазия сводовых поднятий, хребтов и подводных гор: термальные модели // Тихоокеанская геология. 1993. № 1. С. 3–15.
19. Gavrilov A.A. The large-scale ring structures of Earth (on data of tectonic geomorphology) // Fourth international conference in Geomorphology. Bologna, Italia, 28.VIII — 03.IX.1997. 1997. V. 1. P. 175.
20. Gavrilov A.A. The Darwin Rise and geomorphologic-geological indication of focal systems on the Pacific Ocean floor // New Concepts in Global Tectonics (NCGT) Newsletter. 2015. V. 3. № 2. P. 196–207.
21. Gavrilov A.A. Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their investigations // NCGT Journal. 2018. V. 6. № 2. P. 172–202.
22. Larsen R.L. Latest pulse of Earth: evidence for a mid-Cretaceous superplume // Geology. 1991. V. 19. № 6. P. 547–550.
23. Liu M., Chase S.G. Evolution of midplate hotspot swells: numerical solution // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. № B5. P. 5571–5584.
24. Morgan W.J. Convection plumes in the lower mantle // Nature. 1971. V. 230. P. 42–45.
25. Pollack H.N., Hurter S.J., Johnson J.R. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set // Rev. Geophys. 1993. V. 31. № 3. P. 267–280.
26. Premoli S.I., Haggerty J., Rack F. et al. Proceeding of the Ocean Drilling program. Initial Reports TX — 1993. V. 144. 2148 p.
27. Sleep N.H. Hotspots and mantle plumes: some phenomenology // J. Geophys. Res. 1990. V. 95. P. 6715–6736.
28. Yano T. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean — in a linear depression or on a domal uplift? // NCGT Journal. 2014. V. 2. № 4. P. 98–105.
29. Батиметрическая карта океанов GEBCO 2013 (<http://gebcos.net>)  
GEBCO\_2014 (WMS) (<http://gebcos.net>)  
GEBCO\_2022 Grid ([http://gebcos.net\\_data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry...](http://gebcos.net_data_and_products/gridded_bathymetry...))

## STRUCTURE OF THE MID-PACIFIC SEA MOUNTAINS ON GEOMORPHOLOGICAL AND COSMOGEOLOGICAL DATA

A. A. Gavrilov\*

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Science,  
Vladivostok, Russia*

*\* e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru*

The use of morphostructural analysis and cosmogeological decoding methods by the working with relief digital models (3D) which were created within the Google Earth Pro program framework on the global bathymetric databases and maps (GEBCO\_2014, GEBCO\_2022 Grid) foundation made it possible to obtain fundamentally new information about qualitative and quantitative characteristics of the Mid-Pacific Seamounts and ocean floor adjacent areas structural elements. It was been established that the under consideration mountains are represented compound complexes of ring and linear groupings of abradated paleovolcanic constructions and other focal structures that form relict magmatic swells and underwater mountain ridges, respectively. Parameters, morphological features and basic regularities of focal structures of different sizes and depths laying location were detected, the network of fracture zones and block morphostructures of the region were briefly characterized. The main factors and mechanisms of mountain formation are associated with mantle diapirism phenomena and scale basaltoid volcanism, which have realized in pulsating regime throughout the Cretaceous period.

**Keywords:** Mid-Pacific Mountains, digital relief model, morphostructure of central type, focal structure, fault, volcanism