

УДК 551.21

© 2018 г. И.В. МЕЛЕКЕСЦЕВ

**НОВЫЙ ТИП ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ МОРФОСТРУКТУРЫ –
42-КИЛОМЕТРОВАЯ ГЛУБОКОВОДНАЯ КАЛЬДЕРОИДА
НА ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ГОРА ДЕТРОЙТ (СЗ ПАЦИФИКА)**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия
E-mail: kurmrr@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 14.06.2017

По результатам вулcano-геоморфологического и тefрохронологического анализов материалов по северной оконечности подводного тихоокеанского Императорского хребта впервые выявлена и описана находящаяся на глубине –2900 ... –2200 м сложно построенная и разбитая разрывными нарушениями на блоки разных размеров и форм в плане округлая вулcano-тектоническая морфоструктура – 42-километровая глубоководная кальдероида. Она приурочена к северной части подводной возвышенности Гора Детройт (СЗ Пацифика – плиоценовому горсту, а возникла предположительно в раннем плейстоцене в интервале глубин от –3000 до –2000 м.

Согласно авторскому определению, глубоководная кальдероида – крупная полигенетическая депрессия, возникшая в подводных условиях на большой глубине, перикомпенсируется заполненной (сотни км³) в течение длительного ($n \cdot 10^5$ – $n \cdot 10^6$ лет) времени породами приуроченных к ней многочисленных вулканических построек разных типов, одноактных и многоактных. Ее точные аналоги на Земле пока не обнаружены, но, предположительно, сходные по механизму возникновения и отчасти по морфологии образования имеются на Венере.

Ключевые слова: глубоководная кальдероида, вулcano-тектоническая морфоструктура, подводная возвышенность, горст, тefра, тefрохронология, тefротурбидит.

DOI: 10.7868/S0435428118030070

**NEW VOLCANO-TECTONIC MORPHOSTRUCTURE IN CASE OF A 42-KM
DEEP-SEA CALDEROIDA AT DETROIT SEAMOUNT RISE (NW PACIFIC OCEAN)**

I.V. MELEKESTSEV

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia
E-mail: kurmrr@kscnet.ru*

Summary

The volcano-tectonic and tephrochronological analysis and available materials regarding the northern edge of the Emperor Seamount Chain allowed for the first time to detect the unknown circled volcano-tectonic 42-km deep-sea morphostructure known as calderoida (author's terminology) lying at –2900–2200 m depth. It is structurally complex and broken by faults into blocks of different sizes and shapes. It refers to the northern portion of the Detroit Seamount Rise (NW Pacific Ocean) and is a Pliocene horst that was formed in the Early Pleistocene at depths from –3000 to –2000 m. Its close analogues have not yet been found on Earth, but similar objects do probably exist on Venus.

Keywords: deep-sea calderoida, volcano-tectonic morphostructure, seamount, horst, tephra, tephrochronology, tephroturbidite.

Введение

Аналитико-синтетическое восприятие полученного в конце XX – начале XXI вв. огромного объема совершенно новой геолого-геоморфологической и геофизической информации, массовое развитие и использование спутниковой топографии и батиметрии, усовершенствование методов многолучевого зондирования морского дна позволяют уже сейчас модернизировать или вообще изменить многие традиционные представления о происхождении ряда геологических, геоморфологических и вулканических объектов, выявить неизвестные ранее образования. Этому способствуют также и результаты глубоководного бурения, массовые изотопные определения возраста вулканитов, успехи планетологии. В особенности это относится к геологическим структурам и формам рельефа, находящимся на дне морей и океанов.

Одним из таких примеров может служить выявление и диагностирование в результате комплексного (геологического, геоморфологического, тефрохронологического) анализа и синтеза имевшихся материалов [1–7] по району северного окончания тихоокеанского подводного Императорского хребта (ИХ) новой вулкано-тектонической морфоструктуры около 42 км в поперечнике, которую мы назвали “глубоководной кальдероидой” (ГК) (рис. 1). Она приурочена к подводной возвышенности Гора Детройт (ПВД – Detroit Seamount Rise) – северному фрагменту ИХ (СЗ Пацифика). Таким же примером является и кардинальное изменение представления о морфоструктуре и происхождении самой ПВД, которая рассматривается здесь автором в качестве поднятого в плиоцене в виде горста блока океанического дна со следами плиоцен-плейстоценовой вулканической деятельности. Последняя возобновилась там в конце миоцена – начале плиоцена субсинхронно с началом роста горста после длительного перерыва; ранее она происходила в эоцене-олигоцене в позднемиоценовое время.

Выявленная ГК на мелкомасштабных батиметрических картах не изображалась, а на карте м-ба 1: 200 000 [1] на месте ее центральной части показан многовершинный холм Виндзор (Windsor Knoll) неизвестного происхождения. Особого внимания он не привлекал, поскольку подобных невысоких холмов на дне океана закартированы многие тысячи. Более крупная (длина около 220 км, ширина 65–100 км) субмеридиональная возвышенность Гора Детройт, расположенная на ближайшем расстоянии (~525 км к ЮВ) от побережья Камчатки (м. Кроноцкий), наоборот, была уже важным объектом исследования. Она рассматривалась [3, 4] в качестве наиболее удаленного и древнего вулканического гавайско-императорского следа Гавайского горячего пятна, оказавшегося в СЗ Пацифике после прохождения над ним в результате длительного (порядка 80 млн л.) и очень протяженного (более 6500 км – суммарная длина подводных Императорского и Гавайского хребтов) перемещения из района о-ва Гавайи этого участка плиты. Предполагалось, что сразу же после прохождения над горячим пятном теоретически субсинхронно (в позднем мелу) вулканизм там должен был прекратиться. Чтобы подтвердить это, на ПВД во время рейсов 145 и 197 бурового судна “Джоидес Резольшн” (Joides Resolution) были пробурены скважины 882, 883, 1203, 1204, а у ее СВ подножия – скважина 884; составлены детальные батиметрические карты [5, 6]. Однако такая гипотеза не подтвердилась. По данным проведенного бурения, вулканизм в конце позднего мела там не только не прекратился, а продолжался с перерывами в эоцене-олигоцене и даже в плиоцене-плейстоцене. А по результатам палеомагнитных исследований извлеченных вулканических пород и само Гавайское горячее пятно по измеренным палеоширотам оказалось непригодным для них в качестве эруптивного центра. Но полученные тогда по проекту глубоководного бурения высококачественные и объективные данные вместе с другими материалами [1, 2, 5–7] по району ПВД, как показано ниже, позволили успешно решить другие задачи. Это относится и к способу образования, и к морфоструктуре самой ПВД, имеющим ключевое значение для понимания условий возникновения всего Императорского хребта, и к происхождению впервые обнаруженной в его северной части новой морфоструктуры – глубоководной кальдероиды.

Основные черты геоморфологии и происхождение ПВД

Географически подводная возвышенность Гора Детройт (рис. 1, 2) – самое северное звено 2500-километрового подводного Императорского хребта, который протягивается в субмеридиональном направлении от 30 до 52° с.ш. Ее название дано по высшей точке возвышенности г. Детройт (–1388 м, по [1]). ПВД расположена на океаническом дне в 540–730 км к ЮВ и В от разных участков тихоокеанского побережья Камчатки; в 370–390 км (северная часть) и в 570–590 км (южная часть) к югу от оси Алеутского и в 210 км – к ВЮВ от оси Камчатского глубоководного желобов.

По современной морфологии ПВД – высокий горный массив с почти прямоугольным в плане основанием длиной 200–220 км и шириной до 100–110 км, ограниченным изобатами от –5000 до –4500 м – на юге, от –4000 до –3500 м – на севере. Ровная или слабо наклонная вершинная поверхность ПВД, расположенная на разных участках на глубинах от –2400 до –3200 м ниже уровня моря, на большей части площади сложена мощной (до 800–850 м) толщей морских осадков палеоцен(эоцен?)–плейстоценового возраста. Она имеет относительную высоту над дном океана 2000–2500 м, а вместе с насаженными на нее вулканическими постройками – г. Детройт и г. Уэйн (–1856 м) – еще на 500–1000 м больше. По данным бурения (скважины 883, 1203, 1204 [5, 6]), осадочные отложения подстилаются на севере ПВД толщей верхнемеловых базальтов и вулканокластических единиц также базальтового состава. Их $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст 76–75 млн л. [3, 4]. Мощность пробуренных вулканических пород достигает 450 м. Кровля вулканитов находится сейчас в интервале глубин от –3060 до –3200 м ниже у.м. Средний угол наклона кровли базальтов (предположительно, абрадированная вершина гайота) между скважинами 1203 и 1204, отстоящими друг от друга на 22.4 км, равен около 20°. На южном участке ПВД глубина кровли базальтового фундамента еще больше.

Склоны ПВД крутые до вертикальных в верхней части, высота – 1000–1500 м. У их подножий – прекрасно морфологически выраженные обвальные отложения с характерным холмисто-грядовым рельефом, аналогичным таковому у наземных сейсмостектонических обвалов [8–10]. Они перекрыты лишь маломощным чехлом морских осадков, который не смог захоронить эти холмы и гряды. На карте ИХ, составленной S. Ladage в 2009 г. [2] с учетом данных многолучевого эхолотирования, хорошо видно, что отложения гигантских скальных обвалов большого объема ($n \cdot \text{км}^3$) распространялись от обвальных цирков на расстояния до 20–30 км. Это – свидетельство того, что образование таких обвалов, как и в других районах [8–10], явно было спровоцировано сильнейшими землетрясениями, а сами они имеют

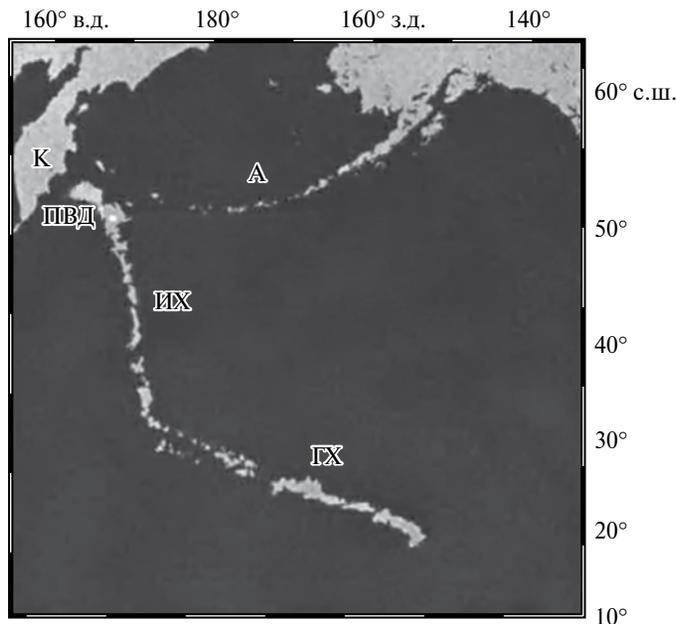


Рис. 1. Структурно-геологическое положение подводной возвышенности Гора Детройт (ПВД) в пределах Северо-Западной Пацифики К – Камчатка, А – Алеутская островная дуга, ИХ – подводный Императорский хребет, ГХ – подводный Гавайский хребет

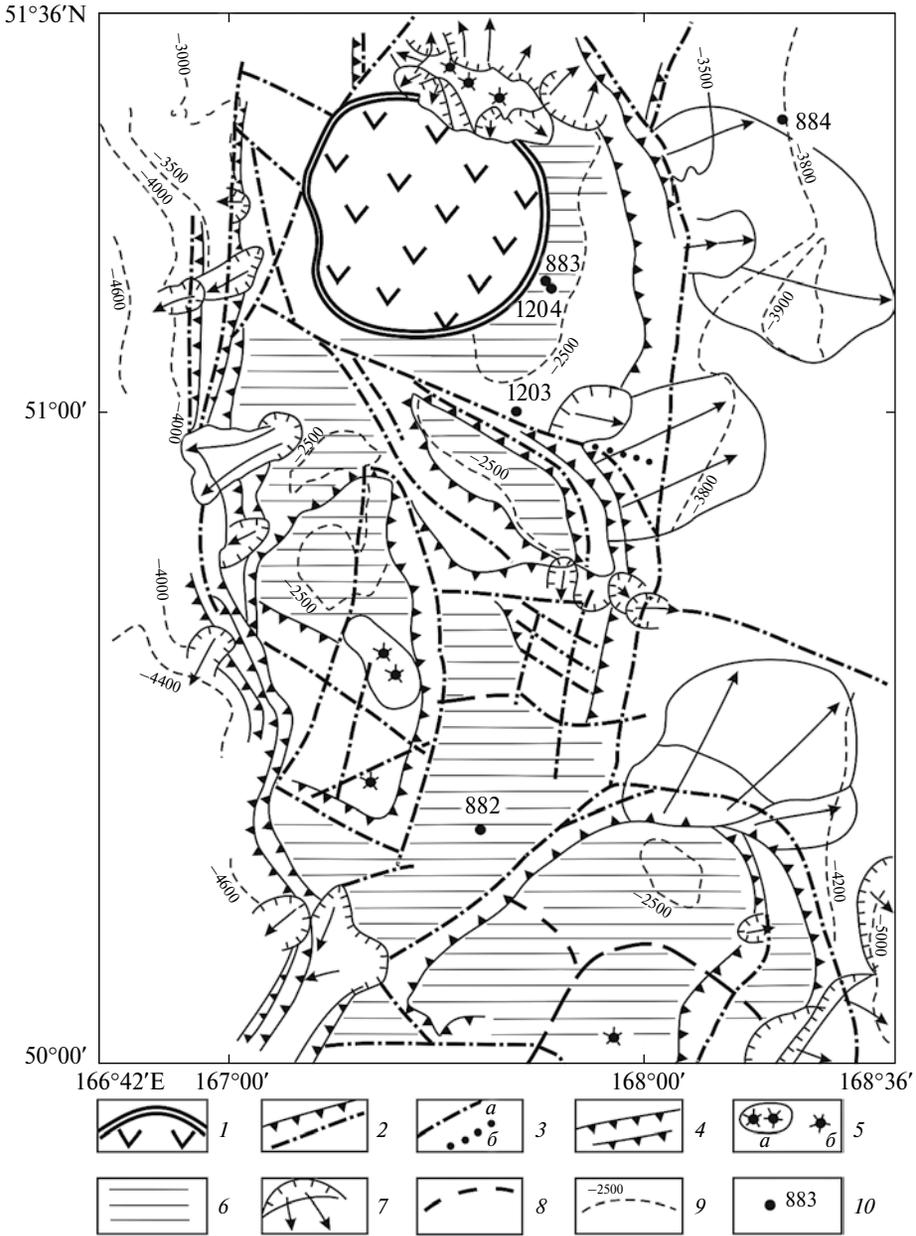


Рис. 2. Структурно-геоморфологическая схема строения подводной возвышенности Гора Детройт

1 – глубоководная кальдероида; 2 – высокие сбросовые уступы (линия с зубцами – бровка, пунктир – основание); 3 – разрывные тектонические нарушения разного типа (а – выраженные в рельефе, б – погребенные); 4 – бровки сбросовых чешуй; 5 – вулканические массивы (а) и отдельные эруптивные центры (б); 6 – субгоризонтальные и наклонные вершинные поверхности; 7 – скальные обвалы и оползни (стрелки показывают направление и расстояние перемещения материала); 8 – наиболее четкие границы гайотов; 9 – изобаты, м; 10 – скважины глубоководного бурения и их номера

сейсмотектоническую природу. Имеются и выраженные в рельефе крупные аллохтоны, перемещенные на десятки километров. К ним можно отнести молодые подводные горы с координатами вершин $50^{\circ}30' \text{ с. ш. } 167^{\circ} \text{ в. д.}$ и $50^{\circ}45' \text{ с. ш. } 168^{\circ} \text{ в. д.}$ непосредственно к северу от ПВД, которые показаны на карте мощности донных отложений [1] как участки с обнаженным акустическим фундаментом. Подобная морфология склонов ПВД, непогребенные обвалы с хорошо сохранившимися элементами мега- и мезорельефа, подводные горы-аллохтоны, лишенные чехла морских осадков, позволяют сделать вывод, что они возникли сравнительно недавно. По мощности перекрывающих осадков (не более 30 м) – в плейстоцене [5, 6].

История геологического развития рассматриваемого участка дна океана и формирования самой ПВД может быть реконструирована в первом приближении, по данным бурения и тефрохронологии, начиная с позднего мела (кампан, маастрихт) – за 81–76 млн л. Таков $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст древнейших вскрытых вулканических пород [3, 4] на ПВД (скв. 883, 1203, 1204) и на океанском дне у ее СВ подножья (скв. 884 в 48 км к СВ от скв. 1203). По приведенным описаниям [5, 6], вулканическая деятельность в то время в обоих случаях была весьма интенсивной, хотя и отличалась по типу и по возрасту. В скважине 884Е мощность пробуренной пачки базальтов составила 87 м (842.8–929.8 м ниже дна моря – от –4678.8 до –4765.8 м ниже у.м.), возраст – 81 млн л. В ней выделено 13 лавовых потоков. Верхние 10 – массивные потоки мощностью от 3 до 30 м, три нижние – пиллоу-лавы – подушечные или шаровые базальты. Морских отложений между ними не обнаружено. Предполагаемый тип вулканической активности – частые трещинные лавовые излияния. В скважинах 1203 и 1204 на ПВД мощность пробуренных вулканических пород составляет соответственно ~450 и ~140 м, фациальный состав разнообразный, принятый [3, 4] возраст ~76 млн лет, т.е. на 5 млн лет моложе. Их кровля находится на глубинах от –3070 до –3200 м ниже у.м. Описано более 30 единиц вулканитов: лавовые потоки разных типов, вулканокласты (базальтовые туфы, вулканические брекчи, стекловатые и вулканокластические алевролиты и песчаники), диабазы. Очень разный и химический состав проанализированных образцов пород: SiO_2 42.0–50.1%, TiO_2 0.72–3.60%, MgO 2.14–28.4%, K_2O 0.1–2.19%, Na_2O 1.34–4.05%. В пробуренной толще вулканитов встречаются также прослои и линзы морских осадков с фаунистическими остатками и комплексами диатомей позднемелового времени. Перечисленные признаки с большой вероятностью указывают на приуроченность вскрытых вулканических пород к крупной (поперечник основания не менее 60–70 км) постройке центрального типа позднемелового возраста, с кратером, находившимся тогда на небольшой глубине под водой или над водой. Судя по особенностям строения рельефа ПВД на батиметрической карте с изобатами, проведенными через 100 м [5, 6], в пределах возвышенности можно приблизительно реконструировать еще 6–7 подобных палеовулканических форм сходного и меньшего размеров, которые, слившись между собой, и образовали ПВД. Самая южная из них [1] – гайот Ханзе (Hanze Guyot). Но их породы не вскрыты. В скв. 882, пробуренной в 90 км южнее на другом палеовулкане на глубину 398 м ниже дна моря, кровля базальтов находится глубже –3652 м, предположительно на отметке –4100 м. Это примерно на 1000 м ниже, чем в настоящее время на севере ПВД, если исходить из оценки средней суммарной мощности пробуренных надбазальтовых морских осадков 800–850 м.

В конце мела и в палеоцене, примерно до 52–50 млн л.н. [5, 6], здесь везде была островная суша, которая активно размывалась, о чем свидетельствует очень пестрый фациальный состав пробуренных отложений и на месте современной северной половины ПВД, и к востоку от нее. Так, в самой нижней пачке переотложенных и перемытых отложений скв. 1204 описаны [6] слабо сцементированные, несортированные конгломераты с галькой и угловатыми обломками базальтов и красных пылеватых песчаников, разноцветные гравелистые пески, палагониты, богатые гипсом и др. Примерно те же самые фации отложений вскрыты [5] и в скв. 884 у подножья ПВД. Только там были отмечены еще и турбидиты с расположенного к западу (см. выше) палеовулкана в северной части

современной ПВД. Вершины вулканических построек были уничтожены, а сами они превратились в гайоты. Необходимо также отметить, что участки размываемой суши существовали в то время и на сопредельных территориях: на месте современных Камчатки и подводной возвышенности Обручева.

Последующий этап межрегионального общего тектонического опускания гипотетической палеоценовой суши, включая дно океана на месте современной ПВД и сопредельные с ней территории, произошел в возрастном интервале от конца позднего палеоцена (?) — раннего-среднего эоцена (скв. 884) до раннего-среднего эоцена (скв. 1203). За это время здесь накопилось 800–850 м морских осадков, подошва которых находится сейчас на отметках от –3070 ... –3200 м (северная часть ПВД) до –4678.8 м (в 20 км к В от подножья ПВД) ниже у.м. Прогибание сопровождалось достаточно интенсивным местным вулканизмом. Так, в скв. 884 выявлено и описано в пачке мощностью 87.8 м (в интервале от –694.7 до –785.5 м) 14 горизонтов измененных пеплов мощностью от 6 до 55 см. Их возраст от среднего до позднего эоцена, состав проанализированных образцов андезидацитовый, андезитовый, андезибазальтовый [5]. В скв. 883В на ПВД в сходных по возрасту морских осадках выявлено и описано 24 горизонта тефры аналогичного состава [5]. Аномально большая мощность и средне-основной состав многих горизонтов тефры указывает на близость их эруптивных центров.

В вышележащих пачках морских осадков олигоцен-среднемиоценового возраста скважин 883 и 884, мощностью соответственно 309.1 и 350.6 м, слои тефры отсутствуют [5]. Они снова появляются лишь после долгого (порядка 25–30 млн л.) перерыва в осадках конца позднего миоцена (возраст около 6.3 млн л.). Причем самые старые из них, судя по геохимии, имеют камчатское происхождение, а предположительно местные горизонты тефры — плиоцен-плейстоценовые (не древнее 4.5 млн л.), их эруптивные центры находились как на территории современной ПВД, так, вероятно, и в ее окрестностях. И именно вулканические, а также тектонические и магматические события последних 4–4.5 млн л. привели к возникновению здесь обеих рассматриваемых морфо-структур — плиоцен-плейстоценового горста ПВД и расположенной там глубоководной кальдероиды как одной из специфических форм проявления местного магматического диапиризма и подводного вулканизма. Вероятно, субсинхронно стало расти и горстовое поднятие ПВД.

Амплитуда поднятия горста на севере определялась по разнице высот кровли верхнемеловых базальтов на самой ПВД, где они были вскрыты в скважинах 883, 1203 и 1204, и у ее СВ подножья на стабильном блоке морского дна — в скв. 884. В первом случае, эта кровля находится в интервале глубин от –3070 до –3200 м, во втором — на глубине около –4680 м. Разница составляет 1500–1600 м. Это и есть амплитуда тектонического поднятия северной части ПВД, где находится ГК. В целом же для ПВД был типичен дифференцированный характер тектонических поднятий. Максимальная его амплитуда (около 2500 м) имела место на юго-востоке ПВД: от –5000 м — на дне океана до –2500 м — на уплощенной ее вершинной поверхности. В районе седловины между двумя гайотами, где пробурена скв. 882, эта амплитуда равна примерно 1700–1800 м.

Судя по проведенному нами анализу карт S. Ladage [2], горстовое происхождение имеет не только ПВД, которая является самым северным блоком подводного Императорского хребта, но и другие его более южные блоки, расположенные, как минимум, до 45° с.ш.

Примерно 4–4.5 млн л.н. произошла резкая активизация тектонического и вулканотектонического (магмотектонического) поднятия территории современной Камчатки, а также сопряженная с ним интенсификация очень мощной эксплозивной активности [8, 11]. Произошло много извержений, в ходе каждого из которых выбрасывались сотни кубических километров ювенильной пирокластики. Возникли вулканотектонические депрессии типа Тоба на о-ве Суматра (Индонезия) длиной 150–200 км, гигантские кальдеры типа Кракатау. Высокоамплитудное поднятие и формирование огромных вулканотектонических структур привели к кардинальному разрушению тогдашней

Камчатки. Возникшая в связи с этим событием огромная масса раздробленных пород вместе с крупными аллохтонами в виде своеобразного суперобвала-оползня мощностью в несколько километров была перемещена к востоку — за заполненный осадками миоценовый глубоководный желоб на сопредельные участки океанического дна [11]. Под многокилометровой дополнительной нагрузкой последние испытали значительное погружение, а вдоль их внешней границы заложился ров (инициальный желоб), ставший впоследствии современным Камчатским глубоководным желобом.

Геоморфология и гипотетический механизм формирования глубоководной кальдероиды

Выявленная глубоководная кальдероиды (рис. 3) приурочена к северной части ПВД и находится сейчас на глубине от -2900 до -2200 м. Она почти круглая в плане, ее диаметр около 42 км. Координаты ее центра — $51^{\circ}14'$ с.ш., $167^{\circ}27'$ в.д. Геоморфологическое строение морфоструктуры хорошо видно на батиметрической карте м-ба: 1 : 860 000 с изобатами, проведенными через 100 м [5,

6], и на карте ИХ, составленной S. Ladage в 2009 г. с учетом данных многолучевого эхолотирования [2]. На них ГК выглядит, в целом, как положительная форма подводного рельефа (пологий свод) с относительной высотой от 500 м в северной половине до 200–100 м — в южной. По периметру она окружена кольцевой атриоподобной ложбиной с асимметричными склонами. Внешний склон — пологий, не всегда четко выраженный, сложен морскими осадками, а внутренний — крутой и высокий (до 150–200 м), предположительно он образован фронтальными окончаниями вязких лавовых потоков многочисленных эруптивных центров внутренней части ГК. Таких центров — преимущественно небольших вулканических построек, основания которых слились между собой, на карте м-ба 1 : 200 000 [1] изображено более 30. Их относительная высота от 50 до 150 м, размер основания от 200–300 м до 1.5 км. Распределены они, в основном,

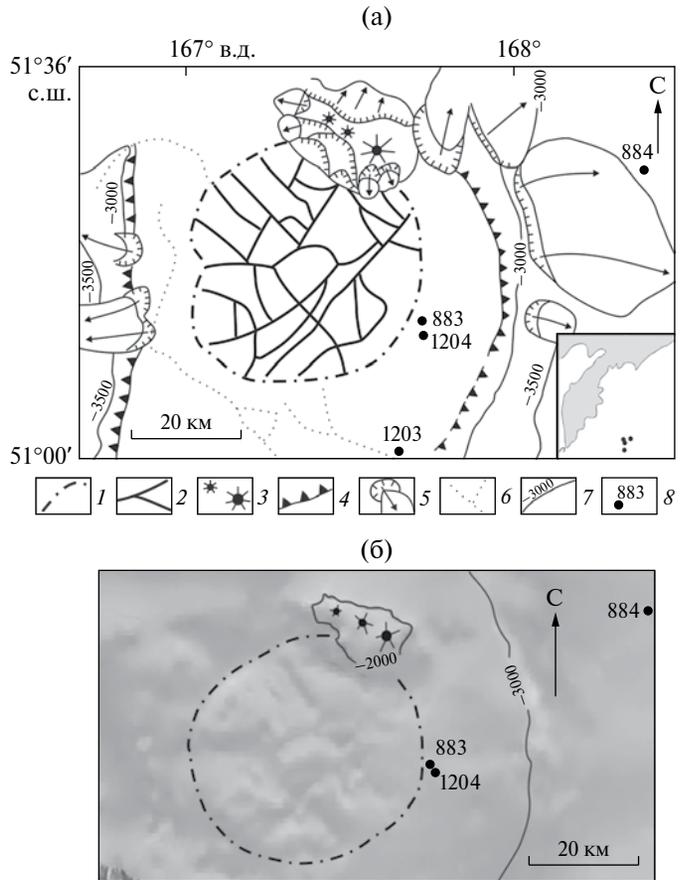


Рис. 3. Геоморфолого-вулканологическая схема (а) (по [2, 5–7]) и изображение (б) глубоководной кальдероиды (по [2])
 1 — ось атриоподобной кольцевой впадины подножия кальдероиды; 2 — вулканотектонические разрывные нарушения; 3 — эруптивные центры вулканического массива Детройт; 4 — бровка главных уступов горста; 5 — скальные обвалы и оползни, стрелки указывают направление и расстояние перемещения материала; 6 — тальвеги подводных каньонов; 7 — изобаты, м; 8 — скважины глубоководного бурения и их номера

беспорядочно. Хотя в центре морфоструктуры около 20 таких построек расположено почти по кругу с внутренним диаметром 6–7 км. Большинство из них представляют собой, вероятно, одноактные вулканические формы, хотя некоторые (самые крупные) могут быть и многоактными вулканами. На одной из них (в ЮЗ секторе ГК) предположительно виден даже очень крупный (размером 4×5 км) кратер.

Вся поверхность уступа морфоструктуры разбита разрывными нарушениями на блоки разных размеров и формы, к каждому из которых приурочено от 1 до 3–5 небольших вулканических построек. Четко выделяется неправильной формы в плане центральный блок размером 8×11 км. Отличительная черта поверхности ГК – небольшая мощность (менее 25–50 м) чехла морских осадков, что указывает на ее плейстоценовый возраст. По данным буровых работ и последующих датировок вскрытых отложений, такая мощность характерна для осадков первой половины среднего плейстоцена. А это, в свою очередь, свидетельствует о том, что формирование ГК в основном завершилось в конце раннего – начале среднего плейстоцена. Объем вулканитов морфологически выраженной верхней части кальдероиды (шаровый сегмент диаметром 42 км и высотой 350–400 м) равен примерно 260 км^3 . Строение и объем пород ГК ниже дна океана можно оценить только предположительно, в очень грубом приближении.

Что касается причины возникновения и механизма формирования выявленной морфоструктуры, то они однозначно пока не установлены. Предполагается лишь, что они, как и природа и тип этого вулcano-тектонического образования, были необычными по многим обстоятельствам: вследствие местоположения ГК на океаническом дне, специфических условий и параметров среды, где она возникла, особенностей общей истории геологического развития, истории и характера эруптивной активности в районе ПВД. Применительно к самой ГК, наибольшее значение имели события последних 4–5 млн л.

Предполагается, что вначале в пределах растущей или прекратившей поднятие северной части горста ПВД на месте современной ГК на фоне общего оживления местного и межрегионального вулканизма в результате многоактного и многоцентрового внедрения поднимающейся магмы сериально стали происходить подводные взрывы разной силы. Косвенным подтверждением такого внедрения и изменения вмещающих пород служит «разнобой» в изотопных датировках пробуренных вулканитов в скв. 1204 непосредственно у юго-восточного края морфоструктуры (см. рис. 3). Здесь получены следующие даты (снизу вверх): 32.52 ± 0.12 ; 52.35 ± 1.65 ; 49.97 ± 0.73 и 36.78 ± 0.34 ; 58.06 ± 0.91 и 47.20 ± 1.20 ; 48.61 ± 0.29 млн л. [3, 4]. По этой причине они даже не использовались для определения возраста самих вулканических пород. Предполагаемая глубина центров большинства взрывов (около 3000 м) определялась, вероятно, положением на этом уровне подошвы толщи морских осадков мощностью около 800 м и кровли базальтов. Слившиеся между собой полости отдельных кратеров, взрывных воронок, субсинхронных провалов и проседаний фундамента создали главный объем первичной депрессии ниже дна моря. Она аппроксимирована в виде шарового сегмента диаметром 42 км, высотой 800 м (равной глубине центров взрывов) и объемом 540 км^3 , соответствующим объему вулканических пород ее заполнения ниже дна моря. Позднее депрессия должна была еще углубиться под суммарной нагрузкой 800 км^3 приуроченных к ней вулканитов.

Из-за большого (200–300 бар) давления воды на глубине 2–3 км, соизмеримого или чуть меньше, давления магматических газов, в атмосферу могла попадать лишь тефра самых мощных взрывов. В остальных случаях по этой причине, а также из-за высокой плотности и вязкости среды выброшенная раздробленная пирокластика оставалась в водной толще, а затем оседала на морское дно, не побывав на дневной поверхности. Обе разновидности пирокластики (выпавшая из воздуха и оставшаяся в морской воде) на ровных или слабо наклонных поверхностях океанского дна отлагались в виде обычных горизонтов тефры разной мощности и крупности, а оказавшись на крутых склонах горста в условиях высокой сейсмичности, которая сопровождала тектонические поднятия и происходившие местные извержения, смывались возникавшими мутьевыми

потоками вниз на прилегающие абиссальные равнины. Они служили главными компонентами для формирования там четко стратифицированных пачек турбидитных отложений, которые можно назвать тефротурбидитами. Помимо аномальной (десятки сантиметров—метры) мощности и хорошо выраженной стратификации еще их одной отличительной чертой служит наличие двух—трех разновидностей вулканических стекол, контрастных по геохимическому составу. Последнее объясняется тем, что мутьевыми потоками чаще всего перетолгался не один только свежесвыпавший пепел, но и размытые более древние слои тефры.

По представлению автора, минимум четыре пачки таких тефротурбидитов имеются и в пробуренных осадках скважин 884В и С. Мощность каждой из них от 30—40 до 370 см, а возраст — от 850—800 до 1800—1700 тыс л. Состав пироклаستيكي тефротурбидитов от дацитового и андезидацитового до андезидобазальтового.

Большееобъемного (десятки—сотни км³) вскипания магмы риолитового—дацитового состава и связанного с этим чрезвычайно интенсивного ($n \cdot 10^5 \div n \cdot 10^6$ т/с) выброса ювенильной пироклаستيки, как при исторических и доисторических катастрофических эксплозивных извержениях типа Кракатау, по-видимому, здесь ни разу не было. Во всяком случае, следы таких извержений не обнаружены. То же относится и к обширным площадным эффузивным излияниям.

Если исходить из описанного механизма формирования исследуемой вулкано-тектонической морфоструктуры, то он не соответствует таковым ни для кальдер опускания, ни для кальдер обрушения. В первом случае произошедшее опускание — непосредственный результат массового и очень интенсивного выброса с глубины огромного объема пироклаستيки, во втором — разовая реакция на быстрый и большеобъемный отток магмы из-под района будущей кальдеры. Не подходит для выявленной структуры и реже употребляемый в вулканологии термин кальдрон (caldrion, cauldron) в обоих вариантах: 1) впадина, возникающая при пассивном оседании кровли неподвижного или поднимающегося магматического тела, 2) небольшая крутосклонная депрессия на морском дне [11, 12].

Чтобы выйти из создавшейся ситуации, пришлось для рассматриваемой морфоструктуры ввести новый термин — “глубоководная кальдероида”, показав тем самым, что она, несмотря на некоторое внешнее морфологическое сходство с кальдерой, таковой не является. Во-первых, из-за более сложного, многокомпонентного и многоциклового механизма ее формирования. Во-вторых, из-за того, что она возникла в совершенно другой среде при иных физико-химических условиях: не в атмосфере ($\rho = 1.03$ кг/м³) с давлением один бар, а в морской воде ($\rho = 1.03$ т/м³) при давлении порядка 150—200 бар, с резко отличными (в 100 раз) вязкостью, теплоемкостью и другими физико-химическими параметрами.

Согласно авторскому определению этого термина, глубоководная кальдероида — крупная полигенетическая депрессия, возникающая в подводных условиях на большой глубине, перикомпенсировано заполненная (сотни км³) в течение длительного ($n \cdot 10^5$ — $n \cdot 10^6$ лет) времени породами приуроченных к ней многочисленных вулканических построек разных типов, одноактных и многоактных. Ее точные аналоги на Земле пока не обнаружены, но, предположительно, сходные по механизму возникновения и отчасти по морфологии образования имеются на Венере. Это, например, два круглых лавовых купола-“лепешки” диаметром по 62 км в области Эйстлы [15]. По всему их периметру, как у ГК, хорошо прослеживается кольцевая атриоподобная впадина, а видимая мощность лав крутых внутренних склонов достигает 1 км. Но вершинная поверхность куполов-“лепешек” не сводовая, как у ГК, а почти плоская, разбитая очень густой и сложно построенной сеткой разрывных нарушений. По мнению автора, подобная разница в морфологии поверхности ГК и куполов-“лепешек” объясняется соответствующей спецификой среды их формирования. Если давление среды в обоих случаях однопорядковое (200—300 и 90 ± 15 бар), то ее температура — резко различная: 1—2 °С — в морской воде и 475 ± 20 °С — на поверхности Венеры [15]. В первом случае, контактируя с неограниченно большой массой окружающей воды, изверженное магматическое вещество

быстро подвергается закалке и почти сразу отвердевает, а возникшие на дне глубокого моря вулканические формы могут оставаться выраженными в рельефе десятки миллионов лет, пока не будут погребены морскими осадками. При “венерианской” температуре это вещество должно долго остывать на поверхности, оставаясь пластичным, способным к растеканию (расползанию), что служит благоприятной предпосылкой для последовательного уменьшения относительных высот возникших вулканических форм, вплоть до их нулевых значений, и уплощения первичного рельефа.

Заключение

Рассматриваемые в статье молодое горстовое поднятие ПВД и приуроченная к ней впервые открытая вулкано-тектоническая форма рельефа (морфоструктура) – глубоководная кальдероида – оказались не только интересными конкретными объектами исследований, но и объектами, которые заставляют модернизировать и даже изменить некоторые традиционные представления о геодинамике задуговой зоны СЗ Пацифики к востоку от Курило-Камчатского и к югу от Алеутского глубоководных желобов. А также о природе северного окончания подводного Императорского хребта. Так, есть основания полагать, что начиная с позднемиоценового времени (кампан, маастраخت) в течение последних 85–80 млн л. главные региональные вулканические события, тектонические поднятия и опускания, сейсмотектонические проявления происходили здесь, в грубом приближении, субсинхронно. Причем они были связаны между собой либо генетически, либо парагенетически. Что касается происхождения подводной возвышенности Гора Детройт (молодой горст – поднятый блок океанической плиты), то она может служить моделью для всего примерно 800-километрового отрезка (от 45° до 52° с.ш.) подводного Императорского хребта. Серьезные коррективы должны быть внесены и в реконструкцию направления и скорости движения Тихоокеанской океанической плиты, если исключить, что ПВД – древний след Гавайского горячего пятна. Обнаружение глубоководной кальдероиды позволяет надеяться, что при будущем массовом проведении батиметрических работ на базе многолучевого эхолотирования подобные формы рельефа могут быть выявлены и в других участках Мирового океана.

Благодарности. Автор благодарит своих коллег Л.И. Базанову и О.В. Дирксена за полезное обсуждение проблематики статьи, Р.Р. Курмашову и О.А. Евдокимову – за помощь в подготовке статьи к печати. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 15-05-05505.

Acknowledgements. The author is thankful to his colleagues L.I. Bazanova and O.V. Dirksen for their useful discussion on the topic of the paper; R.R. Kurmashova and O.A. Evdokimova for help in preparing an article for publication. The research was supported under financial support of the RFBR, project № 15-05-05505.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Ред. Удинцев Г.Б. М. – СПб.: МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУП ПКО “Картография”, ГУНиО. 2003. 193 с.
2. Cruise Reports. Sonne Cruise SO-201. Leg 2. 2009. 134 p.
3. *Duncan R.A. and Keller R.A.* Radiometric ages for basement rocks from the Emperor Seamounts, ODR Leg 197 // *Geochem. Geophys., Geosyst.* 2004. № 5. Q08L03. DOI: 10.1029/2004G000704.
4. *Keller R.A., Fisk M.R., and Duncan R.A.* Geochemistry and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of basalts from ODP Leg 145. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 333–344.
5. *Proceeding of the Ocean Drilling Program Scientific Results / Rea D.K., Basov L.A., Scholl D.W., and Allan J.F. (Eds.).* 1995. Vol. 145. 382 p.
6. *Shipboard Scientific Party. Leg 197 summary. Proc. Ocean Drill. Program Initial Results.* 2002. Vol. 197. 92 p.
7. *Tarduno J.A., Duncan R.A., and Scholl D.W.* *Proc. of the Oceans Drill. Program, Initial Reports.* 2002. Vol. 197. 192 p.

8. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. 440 с.
9. Мелекестев И.В., Курбатов А.В. Частота крупнейших палеосейсмических событий на северо-западном побережье и в Командорской котловине Берингова моря в позднем плейстоцене-голоцене // Вулканология и сейсмология. 1997. № 3. С. 3–11.
10. Мелекестев И.В., Курбатов А.В., Певзнер М.М., Сулержицкий Л.Д. Доисторические цунами и сильные землетрясения по полуострове Камчатском (Камчатка) по данным тefрохронологических исследований // Вулканология и сейсмология. 1994. № 5. С. 106–115.
11. Мелекестев И.В. Вулканизм и рельефообразование. М.: Наука, 1980. 212 с.
12. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
13. Толковый словарь английских геологических терминов. М.: Мир, 1977. Т. 1. 588 с.
14. Sparrow Дж. Планеты. Путешествие по Солнечной системе. СПб.: ТИД Амфора, 2008. 224 с.
15. Засова Л.В. Удивительный и непознанный мир Венеры // Природа. 2015. № 10. С. 11–20.

REFERENCES

1. *Mezhdunarodniy geologo-geofizicheskiy atlas Tikhogo okeana* (International geological-geophysical atlas of the Pacific Ocean). Udintsev G.B. Ed. Moscow-St.Petersburg: IOC (of UNESCO), Russian Ac. Sci., FSUE MPA, “Kartografija”, GUNiO (Publ.). 2003. 193 p.
2. Cruise Reports. Sonne Cruise SO-201. Leg 2. 2009. 134 p.
3. Duncan R.A. and Keller R.A. Radiometric ages for basement rocks from the Emperor Seamounts, ODR Leg 197. *Geochem. Geophys., Geosyst.* 2004. № 5. Q08L03. DOI: 10.1029/2004G000704.
4. Keller R.A., Fisk M.R., and Duncan R.A. Geochemistry and ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of basalts from ODP Leg 145. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 333–344.
5. Proceeding of the Ocean Drilling Program Scientific Results. Rea D.K., Basov L.A., Scholl D.W., and Allan J.F. (Eds.). 1995. Vol. 145. 382 p.
6. Shipboard Scientific Party. Leg 197 summary. *Proc. Ocean Drill. Program Initial Results.* 2002. Vol. 197. 92 p.
7. Tarduno J.A., Duncan R.A., and Scholl D.W. Proc. of the Oceans Drill. Program, Initial Reports. 2002. Vol. 197. 192 p.
8. *Kamchatka, Kurilskie i Komandorskie ostrova* (Kamchatka, Kurile and Commander Islands). Moscow: Nauka (Publ.), 1974. 440 p.
9. Melekestsev I.V. and Kurbatov A.V. Frequency of large paleoearthquakes at the Northwestern coast of the Bering Sea and in the Kamchatka basin during late Pleistocene/Holocene time. *Vulkanol. Seismol.* 1997. No 3. P. 3–11. (in Russ.)
10. Melekestsev I.V., Kurbatov A.V., Pevzner M.M., and Sulerzhitskiy L.D. Prehistoric tsunamis and large earthquakes on the Kamchatskiy Peninsula, Kamchatka, based on tephrochronological data. *Vulkanol. Seismol.* 1994. No 5. P. 106–115. (in Russ.)
11. Melekestsev I.V. *Vulkanizm i rel'efoobrazovanie* (Volcanism and relief-forming). Moscow: Nauka (Publ.), 1980. 212 p.
12. Vlodavets V.I. *Spravochnik po vulkanologii* (Hand book on volcanology). Moscow: Nauka (Publ.), 1984. 332 p.
13. *Tolkoviy slovar' angliyskikh geologicheskikh terminov* (Glossary of English geological terms). М.: Mir (Publ.), 1977. Vol. 1. 588 p.
14. Sparrow G. *Planets. Puteshestvie po Solnechnoy sisteme* (The Planets. A Journey through the Solar System). SPb.: TID Amfora (Publ.), 2008. 224 p.
15. Zasova L.V. The wonderful and unknown Venus. *Priroda.* 2015. No. 10. P. 11–20. (in Russ.)