
**НАУЧНЫЕ
СООБЩЕНИЯ**

УДК 551.462.2(084.4/.4):550.83(26).834(265.4)

**РЕЛЬЕФ ПОДВОДНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПЕРВЕНЕЦ
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)****© 2020 г. В. Н. Карнаух^{1,*}, А. А. Коптев¹, Е. Н. Суховеев¹,
В. П. Матюхов¹, К. А. Апарина¹**¹ Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Россия

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

Поступила в редакцию 24.07.2018 г.

После доработки 30.11.2018 г.

Принята к публикации 17.12.2019 г.

В результате батиметрических исследований, включая съемку с многолучевым эхолотом, составлена карта рельефа дна части Японского моря в районе возвышенности Первенец. Длина последней составляет 60 км, а ширина — 45 км. Возвышенность состоит из двух субмеридиональных хребтов — западного и восточного. На основе комплексного использования батиметрических и одноканальных сейсмоакустических данных установлено, что на возвышенности имеются многочисленные свидетельства проявления позднекайнозойской (предположительно плиоцен-плейстоценовой) тектономагматической активизации. Результаты данного процесса проявляются здесь в виде комплекса вулканических объектов: многочисленных (37) вулканов, лавовых потоков, кальдеры и побочных кратеров. Высота вулканов достигает 300 м, а их диаметр составляет 0.3–2.0 км. Обнаружены различия в строении западного и восточного хребтов возвышенности. На западном хребте располагается вулкан линейного типа длиной около 22 км и шириной около 3 км. На восточном хребте находится вулкан центрального типа с кальдерой диаметром около 4 км. Вокруг кальдеры обнаружены три кольца спутниковых вулканических построек, что может указывать на несколько этапов активизации вулкана на восточном хребте возвышенности. Установлено, что гора Петра Великого соответствует северной, а гора Сибирь — южной вершинам западного хребта возвышенности Первенец.

Ключевые слова: Японское море, возвышенность Первенец, гора Петра Великого, гора Сибирь, рельеф дна, многолучевой эхолот, вулканы

DOI: 10.31857/S0435428120020042

ВВЕДЕНИЕ

Японское море является одним из задуговых бассейнов, расположенных в зоне сочленения азиатского континента и Тихого океана. В пределах моря выделяются три глубоководные котловины (рис. 1, а): Японская (Центральная), Ямато (Хонсю) и Цусимская [3–7]. Подводная возвышенность Первенец расположена в северо-западной части Японского моря и характеризуется наибольшими размерами среди гор и хребтов его котловины [6]. Впервые ее контуры были показаны на батиметрической карте, составленной по результатам эхолотного промера в экспедициях НИС “Витязь” в 1950–1955 гг. [8]. Применительно к данной морфоструктуре в англоязычной литературе используются и другие названия: гора Сибирь [3, 6, 9] и, редко, — гора Петра Великого [3]. Согласно сведениям, приведенным в работе [3] и на сайте географических информационных систем “Морские регионы” [10], вершина горы Сибирь располагается в

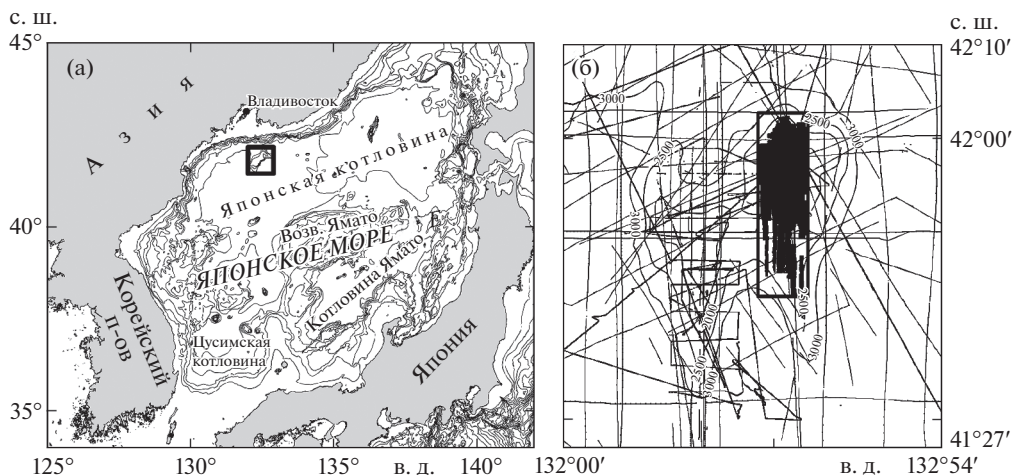


Рис. 1. Местоположение района работ (а) в Японском море (показано прямоугольником, батиметрия GEBCO [1]) и расположение профилей эхолотного промера (б) в районе возвышенности Первенец, полученных с помощью судовых однолучевых эхолотов (показаны тонкими линиями) и полигона работ (обозначен прямоугольником) с многолучевым эхолотом SeaBeam 3050 (батиметрия из [2]).

точке с координатами $41^{\circ}45'$ с.ш., $132^{\circ}25'$ в.д. Поблизости от этого места, в точке с координатами $42^{\circ}00'$ с.ш., $132^{\circ}15'$ в.д. находится вершина, именуемая горой Петра Великого [3, 10]. Но в списке наименований форм подводного рельефа Мирового океана (Газетир GEBCO 2010 г.) оба эти названия отсутствуют [11]. В русскоязычной литературе общеупотребительным является наименование “возвышенность Первенец” [2, 4, 5, 7], которое впервые было использовано в 1975 г. в работе [12] и присвоено данному объекту сотрудниками Тихоокеанского океанологического института в честь первого одноименного научно-исследовательского судна ДВНЦ АН СССР, на котором в 1969 г. было начато исследование дна Японского моря.

Изучение геологического строения возвышенности Первенец началось в первой половине 1970-х годов [4, 12]. Установлено, что она представляет собой отторгнутый в процессе рифтогенного раскрытия впадины Японского моря фрагмент континента, сложенный породами мезозойского возраста, на котором с конца раннего и до конца позднего миоцена происходили пострифтовые вулканические извержения базальтов повышенной щелочности [4, 13]. Возвышенность частично покрыта морскими осадочными отложениями мощностью до 1000 м, накопление которых началось в среднем миоцене [2]. Планомерное изучение рельефа дна северо-западной части Японского моря проводится с 1990 г., а первая карта рельефа возвышенности, отражающая основные черты ее строения, представлена в 2005 г. в работе [2]. Тем не менее сохраняется необходимость продолжения исследования рельефа возвышенности, на которой располагаются наложенные вулканические постройки, количество которых неизвестно, а их строение мало изучено. Знание морфологии вулканов и окружающих их участков возвышенности необходимо для понимания строения этой обширной вулканической провинции, располагающейся поблизости от Владивостока. Кроме того, возвышенность является уникальным геологическим объектом, на котором имеется разрез морских среднемиоцен-четвертичных осадков, отражающих основные этапы эволюции Японской котловины, а детальные знания ее рельефа крайне важны для выполнения точного отбора образцов осадков и коренных пород. Также знание релье-

фа дна необходимо для выполнения корректного моделирования океанических процессов и оценки движения водных масс в этом районе. За прошедшее время накоплен большой массив данных эхолотных промеров, имеющих высокоточную навигационную привязку, включая результаты работ с многолучевым эхолотом [14], что дает возможность существенно уточнить рельеф дна возвышенности. Кроме того, комплексное использование батиметрических данных и результатов одноканального непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСП) позволяет лучше понять природу основных форм ее рельефа.

Другим нерешенным вопросом является проблема упорядочения номенклатуры и наименований формы подводного рельефа в этой части Японского моря, поскольку здесь, для обозначения одного объекта одновременно используется три неофициальных названия — гора Сибирь, гора Петра Великого и возвышенность Первенец. Составление батиметрической карты этого района может позволить решить этот вопрос и выяснить, принадлежат ли эти имена различным подводным объектам или же появились с течением времени в процессе уточнения и наращивания площади исследования одной и той же, уже ранее открытой формы рельефа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При составлении карты рельефа дна возвышенности Первенец использованы результаты эхолотного промера, полученные во время проведения 18 геофизических экспедиций ТОИ ДВО РАН и попутного промера в 9 рейсах научно-исследовательских судов (НИС) в период 1990–2017 гг. (рис. 1, б).

При составлении карты рельефа дна использованы два набора данных. Первый из них включает результаты исследований, выполненных с применением судовых однолучевых глубоководных эхолотов “ГЭЛ–3” и “ELAC LAZ–72AV”, размещенных на НИС “Профессор Гагаринский” и “Академик М.А. Лаврентьев” соответственно. Для измерения использовалось значение скорости звука в воде 1500 м/с. Точность промеров глубины моря составляет 1% от измеренного значения. Местоположение судна в 1990 г. определялось с помощью системы спутниковой навигации “Транзит”. Позже для определения координат использовалась система спутниковой навигации с применением приемоиндикаторов GARMIN-120 и GARMIN-120XL. Второй набор данных включает результаты работ, выполненных с применением многолучевого эхолота SeaBeam 3050, производства компании ELAC Nautik (Германия-США) [14].

Высокоразрешающие сейсмоакустические исследования, необходимые для выяснения природы выделенных отдельных морфологических объектов на возвышенности были выполнены методом непрерывного сейсмического профилирования (НСП) с помощью комплекта оборудования, состоящего из одноканальной сейсмической ко-сы длиной 65 м, устройства регистрации сейсмических сигналов и электроискрового излучателя “Соник 4М” (4.6 кДж). Работы проводились при скорости судна 6 узлов. Интервал излучения составлял 8 сек, что соответствует шагу 25 м. Длина записи составляла 0.6 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Имеющийся массив батиметрических данных был использован для составления карты рельефа дна части Японского моря в районе возвышенности Первенец (рис. 2, а). Окружающий возвышенность участок Японской котловины представляет собой слабо наклоненную на юго-восток равнину. Глубина моря увеличивается в этом направлении от 2900 до 3450 м. К северу и западу от возвышенности в котловине находятся несколько эрозионных каналов глубиной десятки метров, по которым выносятся осадочный материал с сопредельной суши. Возвышенность Первенец изобатой 2650 м замыкается в отдельное поднятие, состоящее из двух субмеридиональных хребтов —

западного и восточного. Хребты разделены седловиной, расположенной на глубине около 2000 м. Длина возвышенности составляет 60 км, а ширина — 45 км. Между основанием материкового склона и возвышенностью в интервале глубин 2650–2800 м располагается узкое пологое подводное поднятие, возвышающееся над окружающим дном на высоту около 150 м. Данное поднятие сложено осадочными отложениями, перенесенными по эрозионным каналам с сопредельного шельфа и отложенными под действием течений [2]. Возвышенность характеризуется крутыми склонами, отделяющими ее от абиссальной равнины Японской котловины, на ее вершине участки относительно ровного дна чередуются с районами интенсивно расчлененного рельефа.

Западный хребет состоит из двух, меньших по размерам кулисообразно расположенных хребтов, соответствующих двум поднятиям фундамента мезозойского возраста [4, 5]. Седловина между последними и часть хребта к западу от нее выровнены в результате накопления чехла среднемиоцен-четвертичных осадков мощностью до 500 м [2] и располагаются на глубине около 1900 м. В южной части хребта выделяется цепочка поднятий, состоящая примерно из 15 отдельных конусообразных вершин, которые возвышаются над окружающими частями хребта на 50–300 м, а их диаметр составляет 300–800 м. Минимальное значение глубины моря для всего западного хребта отмечено над одной из вершин и составляет 1295 м. Эта цепь поднятий прослеживается в субмеридиональном направлении на протяжении около 22 км. К востоку от нее, на расстоянии 0.5–1.5 км располагаются еще два отдельных поднятия, а западнее, на расстоянии около 2 км, еще одно. Все они имеют размеры, сходные с поднятиями в основной цепочке. Геологическое драгирование, выполненное на одной из конусообразных гор в интервале глубин 1800–1580 м (рис. 2, а), показало, что она является вулканом, сложенным базальтами, радиоизотопный возраст которых равен 13.1 ± 0.7 млн лет [13]. Это позволяет утверждать, что и остальные горы на западном хребте также являются вулканическими постройками. Морфологические особенности строения западного хребта указывают на то, что он может быть частью крупной линейной вулканической постройки, обладавшей протяженным подводным каналом в виде трещины.

Восточный хребет имеет в плане форму треугольника. Наиболее широкой и высокой является его северная часть, где ширина хребта достигает 27 км. Отмеченные здесь значения глубины моря — 940 м — самые минимальные в районе всей возвышенности. В южном направлении хребет сужается до 8–10 км; он имеет относительно ровную поверхность, сглаженную в результате накопления здесь чехла неоген-четвертичных осадков толщиной до 600 м [2], и только на его северном и южном окончаниях выделяются многочисленные конусообразные поднятия. Наиболее хорошо изучено строение северной и центральной частей этого хребта, исследованных с использованием многолучевого эхолота SeaBeam 3050 (рис. 2, б).

В северной части хребта выявлено 16 конусообразных поднятий высотой от 100 до 300 м, имеющих, как правило, округлую в плане форму, и являющихся, по-видимому, также вулканическими постройками. Мы полагаем, что данные поднятия могут быть разделены на три отдельные группы, каждая из которых располагается на дугах окружности различного диаметра, с общим центром в кальдере — в точке с примерными координатами $41^{\circ}57.0'$ с.ш., $132^{\circ}31.5'$ в.д. Первая — внешняя — система поднятий располагается на северо-западной части дуги окружности диаметром 9.6 км. Здесь поднятия имеют диаметр от 400 до 1000 м и высоту до 200 м. Отметки их вершин находятся в диапазоне от 1070 до 1270 м. Как правило, от поднятий отходят радиально ориентированные наружу протяженные и пологие хребты длиной до 4–5 км и шириной до 700 м. Высота их достигает 100 м. Хребты имеют изогнутую или извилистую форму, а их вершинная поверхность — бугристый рельеф (рис. 3). Амплитуда неровностей составляет первые десятки метров. По нашему мнению данные хребты соответствуют лавовым потокам, сформировавшимся в результате извержений. На потоках отсутствуют современные осадки (рис. 3), что может указывать на относительно недавние излияния

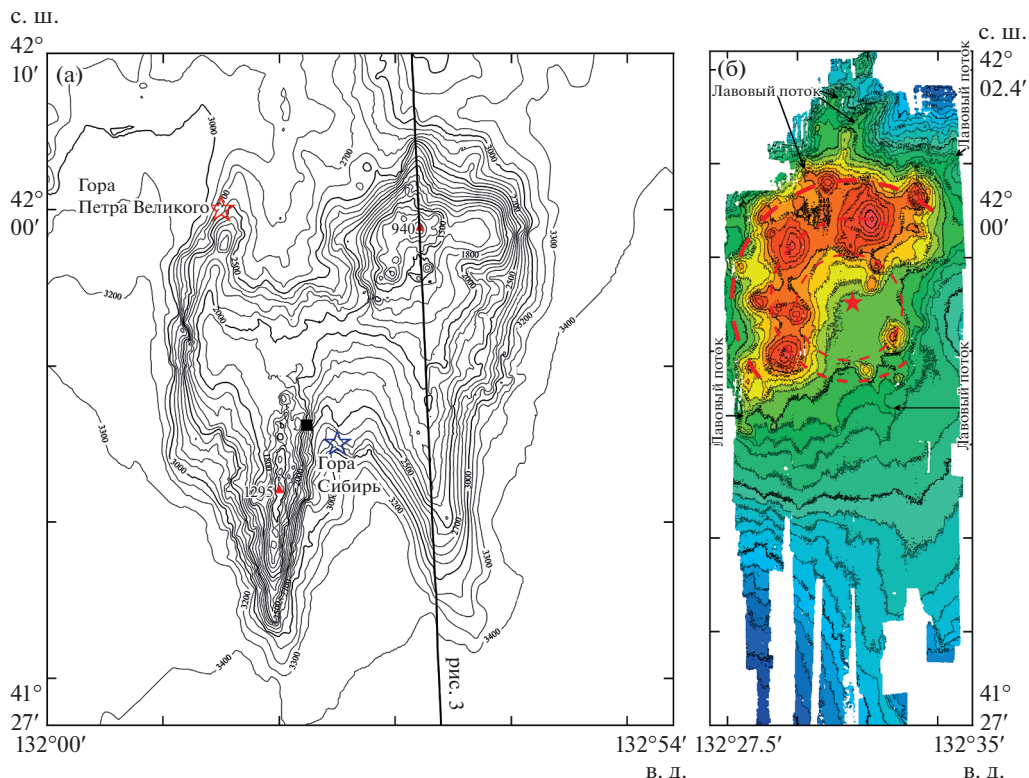


Рис. 2. Карты рельефа морского дна.

(а) — часть Японского моря в районе возвышенности Первенец. При построении карты (а) использована квадратная сетка со стороной 185 м, изобаты проведены через 100 м; треугольниками обозначено положение вершин возвышенности; цифры рядом с треугольниками — значения глубин моря над вершинами; толстая линия — положение сейсмического профиля, приведенного на рис. 3; черный квадрат — местоположение отбора пробы вулканических пород (базальт), для которой выполнено определение абсолютного возраста [13]; местоположение горы Петра Великого и горы Сибирь (звездочки) дано согласно сведениям, приведенным в [3, 10].

(б) — северо-восточная часть возвышенности Первенец. При построении карты (б) использована квадратная сетка со стороной 18.5 м, изобаты проведены через 50 м; пунктирными линиями обозначено местоположение трех дугообразных систем вулканических построек, ограничивающих кальдеру; звездочкой — местоположение центра кальдеры.

лав. Вторая — средняя — система поднятий располагается на западной половине дуги окружности диаметром 6.5 км. Эти поднятия имеют диаметр от 1500 до 2000 м и высоту до 250 м, отметки их вершин находятся в диапазоне от 940 до 1060 м. С юга к одной из вулканических построек примыкает лавовый поток протяженностью 2 км. Третья — внутренняя — система поднятий располагается на окружности диаметром 4.3 км. Здесь поднятия имеют диаметр от 500 до 1300 м и высоту до 220 м, отметки вершин поднятий находятся в диапазоне от 1080 до 1220 м; лавовые потоки не обнаружены.

В центральной части этих дугообразных систем поднятий располагается крупная, воронкообразная депрессия диаметром около 4 км (рис. 2 (б), 3). Дно депрессии слабо наклонено на юго-восток (от 1300 до 1500 м) и постепенно соединяется с восточным склоном хребта. Депрессия заполнена хорошо стратифицированными осадками мощ-

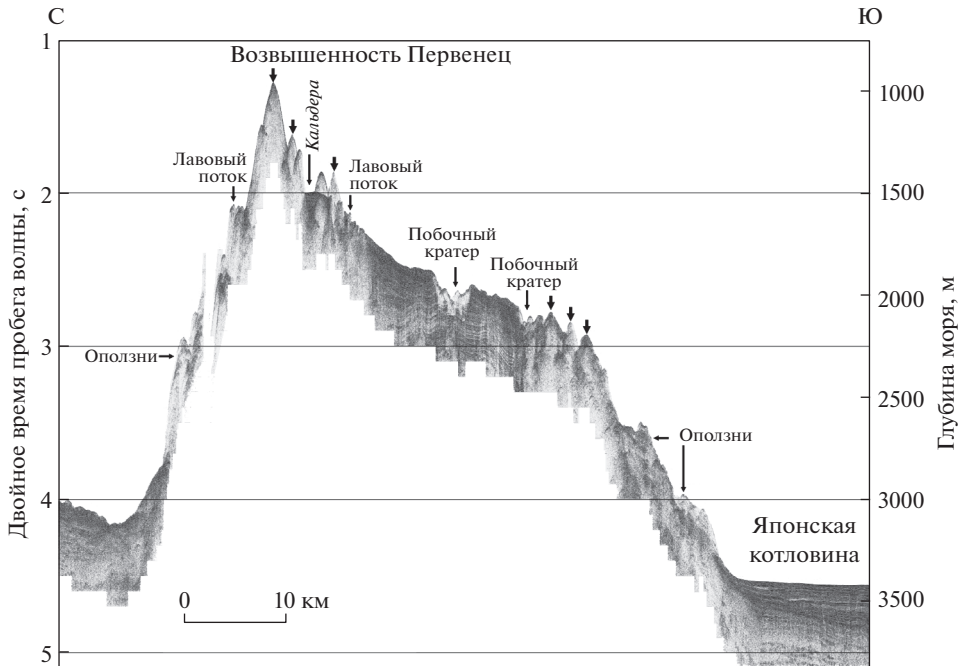


Рис. 3. Пример сейсмоакустического профиля, иллюстрирующего строение восточного хребта возвышенности Первенец. Местоположение профиля показано на рис. 2 (а). Вертикальными стрелками обозначены вулканы.

ностью около 150 м; в СВ ее части осадки имеют признаки внутренних деформаций, тогда как в ЮВ части они, как правило, не деформированы. Можно предположить, что данная структура представляет собой кальдеру, в которой в настоящее время продолжаются слабые поствулканические процессы (проседание ложа, обрушения склонов). Центр ее, по-видимому, является и центром описанных систем вулканических поднятий.

С восточной стороны к кальдере примыкает небольшая корытообразная депрессия, глубиной до 300 м, ориентированная в ВЮВ направлении — примерно перпендикулярно восточному склону хребта (рис. 2, а). Днище депрессии находится в интервале глубин 1800–2400 м, ее длина достигает 7 км, а ширина увеличивается в направлении вниз по склону от 2 км до 3 км. К югу от данной структуры на расстоянии 13 и 22 км располагаются еще две чашеобразных депрессии (рис. 3). Их диаметр составляет 2–3 км, а глубины — 80–150 м, на их бортах видны следы обрушения и оползания. Осадки в депрессиях характеризуются наличием активных внутренних постседиментационных деформаций, обрушением и оползанием на их бортах. На основании этого можно предположить, что данные впадины соответствуют побочным кратерам, сформированным относительно недавно, предположительно в плиоцен-плейстоценовое время в результате нескольких эпизодов взрывной деятельности: в них сохранились слабые поствулканические процессы. В пределах южной части восточного хребта возвышенности Первенец на глубине около 2200 м выделены три конусообразные вулканические постройки высотой около 100 м и диаметром около 1000 м (рис. 3).

Наличие кальдеры на вершине восточного хребта возвышенности Первенец и побочных кратеров на его склонах дает основание предположить, что данная вулканиче-

ская постройка может быть отнесена к аппарату центрального типа, извержения которого имели взрывной характер. Отдельные вулканические постройки вокруг кальдеры, по-видимому, являются “сателлитными” на теле главного вулкана. По результатам предшествующих геологических исследований установлено, что наложенные вулканические постройки на западном хребте возвышенности Первенец были образованы в раннем и среднем миоцене [4, 13]. Геологическое драгирование на вулканических постройках вершинной части восточного хребта не производилось. Принимая во внимание отсутствие осадочных отложений на вершинах сателлитных вулканов, их склонах и в седловинах между ними, в также отсутствие осадков на примыкающих к ним лавовых потоках, можно предположить, что данные вулканические объекты были сформированы гораздо позже основного этапа вулканизма (ранний и средний миоцен). Для грубой оценки времени извержения вулканов на восточном хребте и времени образования кальдеры можно воспользоваться вычислением возраста, используя данные о мощности осадочных отложений на возвышенности и о времени начала отложения здесь осадков. Известно [2], что наиболее древние осадки возвышенности Первенец имеют возраст 14.9–13.1 млн. лет, а средняя мощность осадков около 600 м. Тогда примерная средняя скорость осадконакопления на возвышенности может составлять порядка 40–45 мм/1000 лет. Кальдера вулкана заполнена осадками мощностью около 150 м. В этом случае вулканическая активность в кальдере ослабла, и она начала заполняться осадками примерно 3.5 млн. лет назад, т.е. в середине плиоцена. Принимая во внимание наличие на возвышенности не скомпенсированных осадконакоплением побочных кратеров можно предположить, что вулканическая активность продолжалась здесь до конца плиоцена, а вероятно, и в плейстоцене. На склонах возвышенности Первенец широко распространены оползневые тела, что по-видимому указывает на неустойчивость осадконакопления, возможно, в результате извержений в плиоцен-плейстоценовое время или пострифтового погружения хребтов возвышенности, происходившего в период со среднего миоцена до раннего плиоцена [2].

Сопоставление местоположения гор Петра Великого и Сибирь [3, 10] с картой рельефа дна возвышенности Первенец (рис. 2, а) показывает, что они располагаются на периферии возвышенности — на склонах ее западного хребта на глубине около 2700 м. При этом здесь отсутствуют конкретные морфологические объекты, которым они могут однозначно соответствовать, но, учитывая возможную ошибку в определении координат в 1950–1960 гг., можно предположить, что данные горы могут сопоставляться с отдельными вершинами северной и южной оконечностей западного хребта возвышенности Первенец. То есть эти наименования — гора Петра Великого и гора Сибирь — появились в процессе исследования отдельных полигонов западной части возвышенности Первенец в условиях отсутствия в то время представления о наличии здесь обширного единого подводного поднятия.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые батиметрические данные, включая результаты съемки многолучевым эхолотом, позволившие существенно уточнить рельеф дна и составить батиметрическую карту части Японского моря в районе возвышенности Первенец. На основе комплексного использования батиметрических и сейсмоакустических данных установлено, что на возвышенности имеются многочисленные свидетельства проявления позднекайнозойской тектоно-магматической активизации. Результаты данного процесса проявляются здесь в виде комплекса вулканических объектов, в том числе и взрывной природы — многочисленных (37) вулканов, лавовых потоков, кальдеры и побочных кратеров. Высота вулканов достигает 300 м, а их диаметр составляет 0.3–2.0 км. Обнаружены различия в строении западного и восточного хребтов возвышенности. На западном хребте располагается вулкан линейного типа длиной около 22 км и ши-

риной около 3 км. На восточном хребте находится вулкан центрального типа скальдерой диаметром около 4 км. Установлено существование трех колец сателлитных вулканических построек вокруг кальдеры, что может указывать на несколько этапов вулкано-тектонической активизации плиоцен-плейстоценового возраста.

Упорядочено наименование форм подводного рельефа этой части Японского моря. Установлено, что выделенные в этом районе ранее горы Петра Великого и Сибирь соответствуют северной и южной вершинам западного хребта возвышенности Первенец.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме госзадания АААА-А17-117030110033-0 “Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза” и гранта АААА-А18-118022090002-7 программы “Дальний Восток” ДВО 18-1-008 “Строение и развитие земной коры дна дальневосточных морей России и Восточного сектора Арктики, прогноз и оценка энергетических и минеральных ресурсов их шельфовых областей” в рамках темы ТОИ ДВО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GEBCO Digital Atlas. Version 2.0 // British Oceanographic Data Centre on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization, 2003. (Электронное изд-е)
2. Карнаух В.Н., Карп Б.Я., Цой И.Б. Сейсмостратиграфия осадочного чехла и процессы осадконакопления на возвышенности Первенца и ее окрестностях (Японское море) // Океанология. 2005. Т. 45. № 1. С. 118–129.
3. Словарь географических названий форм подводного рельефа / Агапова Г.В., Виноградова Н.В., Кашникова И.П. М.: ГИН РАН, 1993. 311 с.
4. Геология дна Японского моря / Берсенов И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко Н.Г., Съедин В.Т., Терехов Е.П., Цой И.Б. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
5. Геологическая карта дна Японского моря. Масштаб 1 : 2 500 000 / Ред. Берсенов, И.И., Красный Л.И. Л.: ВСЕГЕИ, 1988.
6. Tamaki K. Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications // Bull. Geol. Surv. Japan. 1988. Vol. 39(5). P. 269–365.
7. Цой И.Б., Карнаух В.Н., Леликов Е.П. Наименования подводных морфоструктур Японского моря – история и современные проблемы // Океанология. 2013. Т. 53. № 6. С. 800–812. <https://doi.org/10.7868/S0030157413060087>
8. Зенкевич Н.Л. Рельеф дна // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5–22.
9. Gnibidenko G. The tectonics of the Japan Sea // Marine Geology. 1979. Vol. 32. No. 1/2. P. 71–87.
10. <http://www.marineregions.org/gazetteer.php?p=search>.
11. https://www.gebco.net/data_and_products/undersea_feature_names/documents/gebco_gazetteer.pdf.
12. Берсенов И.И., Берсенов Ю.И., Леликов Е.П., Липкин Ю.С., Пушин И.К., Терехов Е.П., Филатьев Е.П. Новые данные о геологическом строении дна Японского моря (по материалам 20-го рейса НИС “Первенец”) // Геология окраинных морей Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. Т. 7. С. 3–14.
13. Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Съедин В.Т., Аракелянц М.М., Лебедев В.А. Новые данные по радиоизотопному датированию вулканитов Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 5. С. 118–122.
14. Карнаух В.Н., Суховеев Е.Н., Коптев А.А., Зверев С.А., Белоус О.В., Лопатников Е.А., Теличко А.С., Калинин В.В., Ищенко М.А. Комплексные океанологические исследования материкового склона и подводной возвышенности Первенца Японского моря в 67-м рейсе научно-исследовательского судна “Профессор Гагаринский” // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 162–165. <https://doi.org/10.7868/S0030157418010161>

ACKNOWLEDGEMENTS

The paper was prepared on the base of the state task order AAAA-A17-117030110033-0 “Paleoceanology of marginal seas of the East of Russia and adjacent areas of the Pacific ocean, features and phasing of the Cenozoic sedimentation, magmatism and mineral genesis”, and also this research was funded by the grant AAAA-A18-118022090002-7 program “Far East” FEB 18-1-008 “The structure and development of the earth’s crust of the Far Eastern Seas of Russia and the Eastern sector of the Arctic, the forecast and assessment of energy and mineral resources of their shelf areas” and under the state assignment of POI FEB RAS.

Bathymetry of the Pervenets Rise (Sea of Japan)

V. N. Karnaukh^{a, #}, A. A. Koptev^a, E. N. Sukhoveev^a,
V. P. Matyukhov^a, and K. A. Aparina^a

^a*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch RAS, Vladivostok, Russia*

[#]*E-mail: karnaukh@poi.dvo.ru*

As a result of bathymetric studies, including survey with a multi-beam echo sounder, a map of the bottom relief of part of the Sea of Japan in the region of the Pervenets Rise was compiled. The length of the Rise is 60 km, and the width is 45 km. The Rise consists of two submeridional ridges - the Western and the Eastern. On the basis of complex using of bathymetric and single-channel seismoacoustic data, it was established that on the Rise there are numerous evidences of late Cenozoic tectonic-magmatic activation, presumably of the Pliocene-Pleistocene age. The results of this process are manifested here as a complex of volcanic objects, including explosive eruptions origin - numerous volcanoes (37 units), lava flows, volcano caldera and adventive craters. The height of the volcanoes is up to 300 m, and their diameter is 0.3–2.0 km. Differences in the structure of the Western and Eastern ridges of the Pervenets Rise were revealed. The volcano of a linear type with a length of about 22 km and width of about 3 km is located on the Western ridge. The volcano of the central type with a caldera is located on the Eastern ridge. The bowl of the caldera has a diameter of about 4 km. A complex structure of the caldera is found, which is expressed in the existence of three rings of volcanic structures around it, which may indicate several stages of activation of the volcano on the Eastern ridge of the Rise. It was found that the seamounts Petr Velikij and Siberia correspond to the northern and southern tops of the western ridge of the Pervenets Rise.

Keywords: Sea of Japan, Pervenets Rise, Petr Velikij (Petr Velikiy) Seamount, Siberia Seamount, bathymetry, multi-beam echo sounder, volcanoes

REFERENCES

1. GEBCO Digital Atlas. Version 2.0. British Oceanographic Data Centre on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization. 2003. (Electronic edition).
2. Karnaukh V.N., Karp B.Ya., and Tsoi I.B. *Seismostratigrafiya osadochnogo chekhla i processy osadkonakopleniya na vozvyshennosti Perventsa i ee okrestnostyakh (Yaponskoe more)* (Seismic Stratigraphy of the Sedimentary Cover and the Sedimentation on the Pervenets Rise and in the Adjacent Areas (the Sea of Japan)). *Oceanologiya (Oceanology RAS)*. 2005. Vol. 45. No. 1. P. 118–129. (in Russ.)
3. Agapova G.V., Vinogradova N.V., and Kashnikova I.P. *Slovar' geograficheskikh nazvanii form podvodnogo rel'efa* (Dictionary of Geographical Names of Ocean Bottom Features). Moscow: GIN RAN (Publ.), 1993. 311 p.
4. Bersenev I.I., Lelikov E.P., Bezverkhniy V.L., Vashchenkova N.G., S'edin V.T., Terekhov E.P., and Tsoi I.B. *Geologiya dna Yaponskogo morya* (Geology of the bottom of the Sea of Japan). Vladivostok: DVNTS Akad. Nauk SSSR (Publ.), 1987. 140 p.
5. *Geologicheskaya karta dna Yaponskogo morya* (Geological map of the bottom of the Sea of Japan). Scale 1:2 500 000. Bersenev I.I. and Krasnii L.I. (Eds.). Leningrad: VSEGEI (Publ.), 1988.

6. Tamaki K. Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications. *Bull. Geol. Surv. Japan*. 1988. Vol. 39(5). P. 269–365.
7. Tsoi I.B., Karnaukh V.N., and Lelikov E.P. *Naimenovaniya podvodnykh morfostruktur Yaponskogo morya – istoriya i sovremennye problemy* (Naming of Undersea Features of the Sea of Japan – History and Modern Problems). *Oceanologiya (Oceanology RAS)*. 2013. Vol. 53. No. 6. P. 800–812. (in Russ.). DOI: 10.7868/S0030157413060087
8. Zenkevich N.L. *Rel'ef dna* (Bottom rel'ef). In *Osnovnyye cherty geologii i gidrologii Yaponskogo morya* (Main features of the geology and hydrology of the Sea of Japan). Moscow: AN SSSR (Publ.), 1961. P. 5–22.
9. Gribidenko G. The tectonics of the Japan Sea. *Marine Geology*. 1979. Vol. 32. No. 1/2. P. 71–87.
10. <http://www.marineregions.org/gazetteer.php?p=search>.
11. https://www.gebco.net/data_and_products/undersea_feature_names/documents/gebco_gazetteer.pdf.
12. Bersenev I. I., Bersenev Yu. I., Lelikov E. P., Lipkin Yu.S., Pushchin I.K., Terekhov E.P., and Filat'ev V.P. *Novye dannye o geologicheskoy stroenii dna Yaponskogo morya (po materialam 20-go reisa NIS "Pervenets")* (New data about geological structure of the bottom of the Sea of Japan (based on the materials of the 20th cruise of the R/V "Pervenets")). In: *Geologiya okrainnykh morey Tikhogo okeana* (Geology of the marginal seas of the Pacific). Vladivostok: DVNTS Akad. Nauk SSSR (Publ.), 1975. Vol. 7. P. 3–14. (in Russ.).
13. Lelikov E.P., Emel'yanova T.A., S'edin V.T., Arakelyants M.M., and Lebedev V.A. *Novye dannye po radioizotopnomu datirovaniyu vulkanitov Yaponskogo i Ohotskogo morei* (New radioisotopic dating for volcanites from the Sea of Japan and Sea of Okhotsk. *Tikhookeanskaya geologiya (Pacific Geology)*). 2001. Vol. 20. No. 5. P. 118–122. (in Russ.).
14. Karnaukh V.N., Sukhoveev E.N., Koptev A.A., Zverev S.A., Belous O.V., Lopatnikov E.A., Telichko A.S., Kalinchuk V.V. and Ishchenko M.A. Comprehensive Oceanological Research of the Continental Slope and Submarine Pervenets Rise of the Sea of Japan on Cruise 67 of the R/V Professor Gagarinskiy. *Oceanologiya (Oceanology RAS)*. 2018. Vol. 58. No. 1. P. 162–165. (in Russ.). DOI: 10.7868/S0030157418010161