

УДК 551.462. (265)

## ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ ИМПЕРАТОРСКОГО И ГАВАЙСКОГО ХРЕБТОВ

Гершанович Д. Е., Конохов А. И., Лисицын А. П.

Подводные горы Мирового океана — один из интереснейших объектов исследования. Подобно островным шельфам и атоллам вершины подводных гор и их склоны, пожалуй, один из немногих участков в открытом океане, сравнимые по биологической продуктивности с континентальными подводными окраинами. Локальный подъем глубинных вод и связанное с ним увеличение содержания питательных веществ, проникновение света на большие глубины из-за большой прозрачности морской воды, постоянный приток кислорода в результате перемешивания поверхностных и подповерхностных вод, наличие твердого субстрата — все это приводит к тому, что многие вершины подводных гор, особенно расположенные ближе к поверхности моря, оказываются своеобразными оазисами жизни в удаленных и нередко малопродуктивных районах океана. Здесь могут быть скопления рыб, представляющие промысловый интерес.

Цепи вулканических гор, порой образующие крупные подводные хребты, влияют на направление и структуру подводных течений, создают участки подъема и опускания вод, местные циркуляции, изменяют распределение температуры, кислорода и других химических элементов, взвесей, планктона.

Условия обитания организмов, которые создаются на подводных горах, в окружающих их водах и на других поднятиях океанского дна, в Тихом океане особенно интересны [2]. По количеству подводных гор Тихий занимает первое место среди океанов (по Менарду [5] — около 10 тыс., по Удинцеву [6]) — около 5—6 тыс.). Распределены горы неравномерно: в восточной части океана дно в пределах океанических котловин характеризуется относительно небольшим числом подводных гор, но изобилует многочисленными абиссальными холмами; в западной части сосредоточена основная часть островов и крупных подводных гор. Новые подводные горы на дне Тихого океана океанографические и гидрографические экспедиции обнаруживают и в настоящее время.

По особенностям размещения, связям с тектоническими структурами океанского дна подводные горы делятся на шесть групп: первая — в системах краевых вулканических дуг (Марианская, Идзу-Бонинская, Курильская, Алеутская и др.); вторая — в системах центральноокеанических поднятий сводового типа (хребты Императорский, Гавайский, Лайн, Туамоту и др.); третья — в зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия и связанных с ним подводных хребтов; четвертая — в системах поднятий сводового типа (хребты Наска, Западно-Чилийский); пятая — в зонах широтных разломов на востоке Тихого океана (Мендосино,

Пайонир, Меррей, Молокаи, Клариион и др.); шестая — отдельно стоящие горы и группы гор.

Для подводных гор и островов, входящих в каждую из выделенных групп, как правило, характерны некоторые специфические черты морфологии, строения, состава пород и истории формирования [3]. Многие подводные горы расположены в асейсмичных районах Тихого океана, что позволяет предполагать, что формирование вулканических гор здесь закончено. В то же время в зонах краевых островных дуг, в хребтах с развивающейся рифтовой зоной и, по-видимому, в зонах широтных разломов этот процесс продолжается.

Рельеф и структура дна северной части Тихого океана достаточно сложны (рис. 1). Гавайский и Императорский хребты занимают здесь

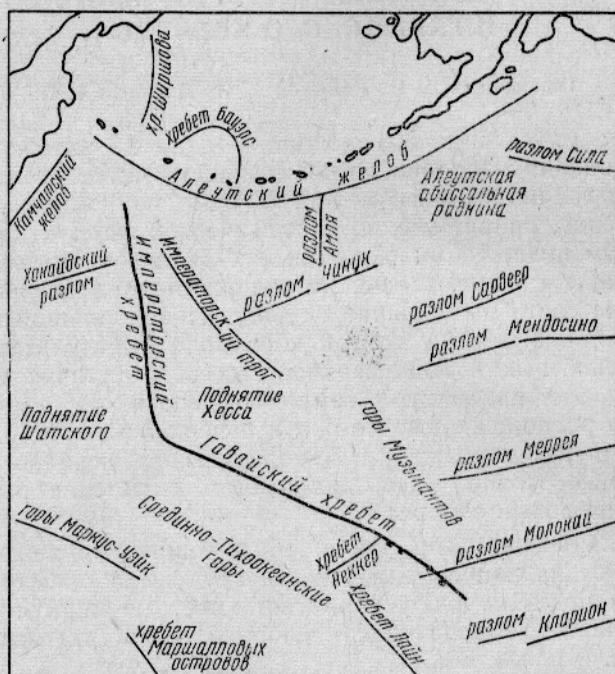


Рис. 1. Принципиальная схема основных структурных линий в северо-восточной и центральной частях Тихого океана (по Менарду, 1967).

одно из важнейших мест, разделяя две основные глубоководные котловины севера Тихого океана — Северо-Восточную и Северо-Западную. К югу и юго-западу от Гавайского хребта находится Центральная глубоководная котловина. Многие вопросы геоморфологии и геологии этих хребтов освещались неоднократно. Решение целого ряда ключевых проблем глубинного строения центральных областей Тихого океана требовали привлечения океанографических, геофизических и других данных по району Гавайского хребта [5, 6, 8, 12, 13, 17, 26, 28 и др.]. Несмотря на это, геоморфологическая изученность Гавайского и Императорского хребтов и прилежащих к ним участков абиссального дна все еще недостаточна. Исследования последних лет, систематически проводившиеся в этой части Тихого океана, дали много новых данных [9, 15, 16, 18, 20, 23]. Плодотворными были и исследования ТИНРО [3].

*Общая характеристика Гавайского и Императорского хребтов.* Гавайский и Императорский (иногда называемый Северо-Западным)

хребты удалены от материков и являются центральноокеаническими поднятиями сводового типа [6]. Их общая протяженность достигает почти 6000 км. На севере Императорский хребет подходит к возвышенности Обручева, которая в свою очередь расположена на стыке двух океанических валов: широкого вала Зенкевича, возвышающегося над ложем океана на несколько сот метров, и Алеутского вала. Глубинным сейсмическим зондированием установлено, что толща осадочных образований на поднятии Обручева достигает 1,5—2 тыс. м, что нехарактерно для типичных океанических поднятий. Далее располагается обычный для океанической коры базальтовый слой.

К востоку от Императорского хребта сравнительно недавно [15] была открыта крупная отрицательная структура — Императорский ров. Это — асейсмичная разломная зона шириной от 150 до 200 км, которая тянется в юго-восточном направлении почти на 3 тыс. км, а ее ось лежит на 1000—1500 м ниже уровня дна окружающего ложа океана. С запада на восток ров ограничен пологими, слабовыраженными поднятиями шириной до 100 км.

Между Гавайским и Императорским хребтами и Императорским рвом находится участок океанского ложа, имеющий форму равнобедренного треугольника, основание которого обращено на северо-восток. В центральной части этого участка находится поднятие Хесса, или Меллиш со сложным рельефом, обусловленным, видимо, разломной тектоникой и наличием разновысотных вулканических образований. Вершина одной из расположенных здесь подводных гор (банка Меллиш) находится на глубине 117 м. На юго-западе поднятие Хесса почти примыкает к стыку Гавайского и Императорского хребтов.

К востоку от Императорского рва и к северу от Гавайского хребта лежит слабо наклоненная к северу абиссальная равнина, в пределах которой часто встречаются невысокие (не более 500 м) с пологими склонами и уплощенными вершинами абиссальные холмы. На юго-востоке эта абиссальная холмистая равнина граничит с зоной разлома Молокаи, который вплотную подходит к структурам Гавайского хребта и, возможно, его пересекает. Зона разлома достигает в ширину 200 км и представляет собой систему чередующихся асимметричных хребтов и узких депрессий, направление которых параллельно разломной зоне. Абиссальная равнина простирается также к востоку и югу от Гавайского хребта, где ее пересекает зона разлома Кларин. По данным Менарда [5], восточнее Гавайских островов расположена линия ветвления трансформных широтных разломов.

Данные по геоморфологии подводных гор Гавайского архипелага и Императорского хребта приведены в работах Дитца и Менарда [12], Эмери [13], Гамильтона [17], Менарда [5], Малахова и Вулларда [23], Чейза и Менарда [9], Удинцева [6], Ларсона и Чейза [20], Джексона и др. [18], Конюхова [3]. В нашей работе сделана попытка рассмотреть некоторые общие геоморфологические характеристики Гавайского и Императорского хребтов как крупнейших элементов макрорельефа дна севера Тихого океана.

*Гавайский хребет.* Подводный рельеф в районе Гавайского хребта сравнительно хорошо изучен американскими экспедициями. Хребет простирается почти на 4 тыс. км от о-ва Гавайи до точки с координатами  $\varphi = 32,5^\circ$  с. ш.,  $\lambda = 171,5^\circ$  в. д. Общее направление хребта — с востока-юго-востока на запад-северо-запад приблизительно под углом  $60^\circ$  к меридиану. В рассматриваемых границах хребет — линейно вытянутая структура, представляющая собой цепь вулканических гор со слившимися основаниями, наложенными на осевую зону Гавайского свода [8]. Сам Гавайский свод имеет ширину до 600 миль (1100 км). Если пренебречь мелкими неровностями рельефа, для свода характер-

на удивительно простая и симметричная форма, близкая к форме мало-амплитудной волны (амплитуда не превышает 900 м).

Там, где свод осложнен массивными вулканическими конусами, наблюдается проседание его отдельных участков под весом вулканических сооружений. При этом крылья свода, которые испытывают значительно меньшее воздействие со стороны хребта, отделены от последнего депрессией. Такая картина особенно хорошо выражена на юго-востоке Гавайского поднятия, где отчетливо выделяются ров и краевой вал (рис. 2). Собственно же Гавайский свод лучше всего прослеживается на северо-западной оконечности хребта, в районе сильной разреженности подводных гор.

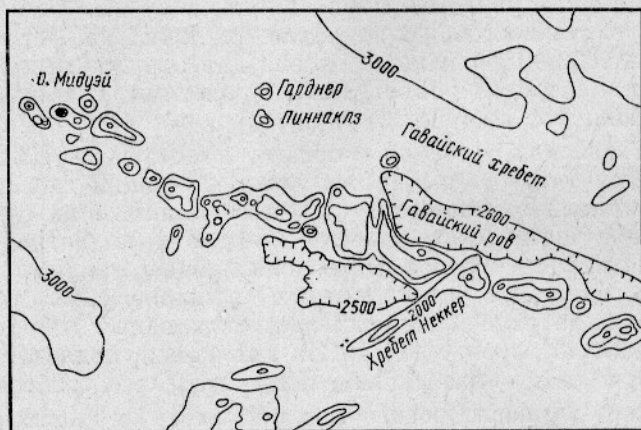


Рис. 2. Гавайский хребет, Гавайский ров и хребет Неккер в районе 165° з. д. (по Дитцу и Менарду, 1953).

Рельеф Гавайского рва и обращенного к нему склона краевого вала сравнительно спокойный. По данным Менарда [5], осадочного материала, который мог быть вынесен при абразии островов и гайотов, явно недостаточно для погребения неровностей рельефа от подножия хребта до гребня вала. По его мнению, эти неровности рельефа обусловлены трещинными излияниями жидкой магмы во время формирования хребта.

Среди вулканических сооружений Тихого океана Гавайский хребет самый крупный. Высота наиболее мощного вулканического образования в составе о-ва Гавайи достигает 9770 м (от дна Гавайского рва до вершины вулкана Мауна-Лоа). На основании сопоставления положения вершин гор в пределах хребта исследователи уже давно установили, что с продвижением на запад-северо-запад вершины понижаются: крупные острова сменяются невысокими небольшими островками, затем подводными банками, глубина которых постепенно возрастает.

Морфологическая выраженность Гавайского хребта крайне неравнозначна (см. рис. 2). Крайняя западная группа подводных гор, известная под названием банки Милуоки, представлена тремя крупными гайотами с единым цокольным основанием. Удинцев [6] относит ее к Императорскому хребту. Ось, соединяющая вершины этих гайотов, почти прямолинейна и направлена с запада-северо-запада на восток-юго-восток, т. е. в генеральном направлении Гавайского хребта, а не в субмеридиональном, которое характерно для Императорского хребта. Размеры всех трех гайотов близки. Один из них шириной около 75 км поднимается с глубины 5300 м. Вершинная поверхность гайотов расположена на глубинах 500—700 м. В отличие от вершин гайотов других групп, которые похожи на столообразные плато, рельеф этих

поверхностей сложнее. Для них характерны пологие склоны и несколько площадок шириной до 3 км, вероятно, древних абразионных террас. В западном направлении наблюдается увеличение глубины расположения вершин гайотов этой группы. Вершина крайней западной подводной горы находится на 100—110 м глубже, чем восточной.

На востоке рассматриваемый участок хребта граничит с крупным узлом подводных гор, центром которого являются атоллы Куре и Мидуэй. Вокруг этих северных атоллов Тихого океана группируется много рифов, мелких гайотов и подводных гор. Куре и Мидуэй представляют собой низменные острова, остатки разрушенных эрузивных сооружений, которые в кайнозой были покрыты мощными шапками рифогенных известняков. Вулканические породы на их поверхности неизвестны. Атоллы имеют округлые замкнутые лагуны диаметром около 10 км. Их окружают крупные кольцевые рифы, покоящиеся на широких абразионных платформах, увенчанных отдельными выступающими пиками. Подводные горы в этой части хребта уже не сливаются, а располагаются на определенном расстоянии друг от друга, разделяясь проходами глубиной 4000—5400 м. Всего здесь насчитывается до 35 крупных подводных гор. Западнее атоллов Куре и Мидуэй известны лишь гайоты с относительно неглубоко залегающими вершинами. Большинство их было открыто сравнительно недавно. На некоторых из этих гайотов взяты образцы коренных пород [3].

Типичный гайот в этой части хребта представляет собой массивный вулканический конус высотой до 5000—5500 м с широкой, срезанной абразией вершиной, как правило, плоской и ровной. Амплитуда мелких неровностей рельефа обычно не более 10—15 м. Вершины имеют овальный или эллипсоидальный контур, длинные оси их чаще всего вытянуты либо с северо-запада на юго-восток, либо с северо-востока на юго-запад. Переход к склонам резкий, крутизна склонов до 15—17°, на склонах наблюдаются своего рода мелкие хребты, возможно, связанные со слившимися паразитическими вулканами в местных участках повышенной проницаемости или разломов. Подобные образования были отмечены Эмери [3] среди других мелких вулканических форм на склонах о-ва Гавайи.

Восточнее 176° з. д. находится другой крупный узел, отделяемый проходом с глубиной более 5100 м. Он простирается примерно до 165° з. д. Центром этого узла можно считать банку Гарднер Пиннаклз. Здесь сгруппированы небольшие острова, рифы и подводные банки — сглаженные вершины крупных подводных вулканов, находящиеся близко от водной поверхности. Узел сменяется частью хребта, где подводные горы разрезаны. Местами они выходят на поверхность океана (о-в Нихоа) или расположены вблизи нее.

В строении центрального сектора Гавайского хребта большую роль играет разломная тектоника. Ряд подводных банок (Брукса, Лаперуза и др.) лежат на отрезке прямой, образуя единую платформу. Положение этих банок, по-видимому, связано с извержениями по одному разлому, несколько секущему хребет. К Гавайскому поднятию в этой его части подходят несколько небольших хребтов северо-восточного простираения, являющихся, возможно, южными ветвями Композиторских гор (или гор Музыкантов), которые расположены в районе ветвления и затухания субширотных трансформных разломов севера Тихого океана. Самый интересный из таких хребтов — хребет Неккер шириной около 30 км с крутыми склонами (до 22°) и сильно погруженными вершинами (до 1600 м).

Еще далее к востоку располагается самый крупный узел подводных и надводных гор, составляющих собственно Гавайский архипелаг. Он включает девять островов и подводные горы, расходящиеся веером от о-ва Гавайи (наиболее значительного из Гавайских островов) на

восток, юг и юго-запад. Сам о-в Гавайи образован конусами слившихся пяти щитовых вулканов, из которых Мауна-Лоа поднимается на высоту 4170 м над уровнем океана. Размеры и высота островов убывают на северо-запад от о-ва Гавайи.

Со стороны более древних эруптивных сооружений острова опоясаны террасами, со стороны же молодых вулканов террасы либо отсутствуют, либо замаскированы обильным вулканическим материалом, поступавшим на склоны при извержениях. Террасы расположены на глубинах 350—530 м и отражают размах проседания сооружений при их формировании.

**Императорский хребет.** К северо-западу от Гавайского хребта расположен субмеридиональный Императорский хребет длиной 1850 км. Это широкое сводовое поднятие, осложненное крупными вулканическими конусами. От 33° с. ш. до 50° с. ш. вдоль подножия хребта протягиваются прогибы, аналогичные Гавайскому рву. Глубина их, по Удинцеву [6], превышает 5500 м, а в некоторых районах — даже 6000—6500 м. Максимальная глубина в прогибе зафиксирована с восточной стороны хребта (6830 м). Глубина западного рва 6520 м (рис. 3).

Ширина прогиба у подводной горы Кинмей достигает 50 км, а максимальная его глубина в этом районе 5920 м. Ширина краевого вала, окаймляющего ров со стороны абиссальной равнины, — до 200 км с относительным превышением над ложем океана 350 м. На гребне вала фиксируется разломная зона, по которой произошло проседание внутренней части вала. Можно выделить пологую внешнюю и крутую внутреннюю части вала. Рельеф внешней — неровный, осложненный холмами, высота которых постепенно возрастает в сторону абиссальной равнины до 150 м; рельеф внутренней — спокойный. Подводных гор и холмов здесь нет.

Профиль, выполненный через Императорский хребет в районе горы Джимму, показывает, что вдоль ее основания проходит прогиб шириной до 100 км и глубиной относительно вала до 900 м. У основания Императорского хребта прослеживается на всех профилях узкая депрессия глубиной до 200 м с абсолютной отметкой 6242 м.

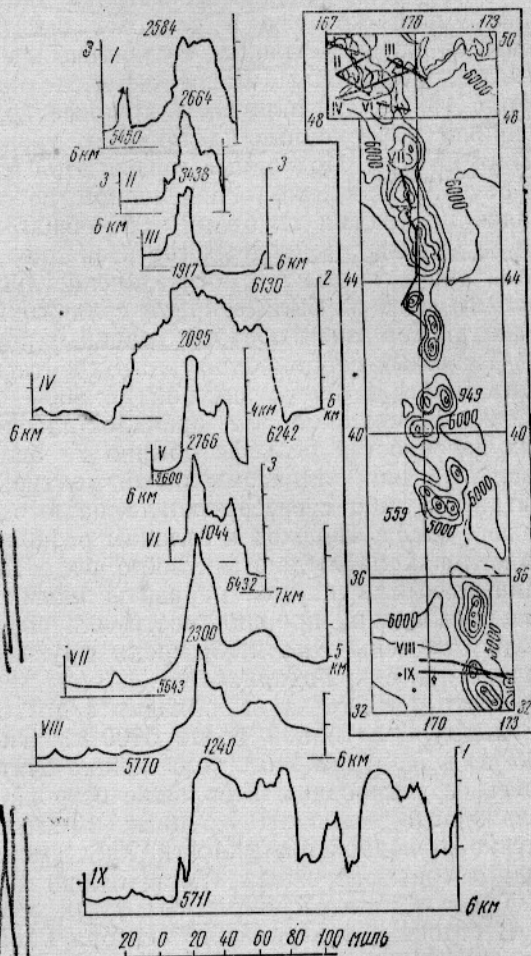


Рис. 3. Профили дна в районе Императорского хребта (по Удинцеву, 1972).

Профиль, проходящий между подводными горами Оджин и Кинмей, позволяет судить о характере Императорского свода [11]. На разрезе он вырисовывается в виде пологой симметричной волны, поднимающейся с глубины 6000 м. Ширина свода около 450 км, высота до 900 м. Краевые прогибы и валы в этом районе не фиксируются. Подводные горы, осложняющие свод, здесь невысоки, не более 1500 м. Естественно, их небольшая масса не привела к оседанию свода. Поэтому вокруг него отмечаются лишь локальные впадины оседания.

Императорский хребет составлен относительно небольшим числом крупных изолированных подводных гор. Наиболее значительные вулканические конусы — Тенчи, Джимму, Суйко, Нинтоку, Джингу, Оджин и Кинмей, вокруг которых группируются более мелкие горы. Глубины залегания вершин подводных гор самые различные: от 300—500 м (гора Кинмей) до 1857 м (гора Тенчи). Общая тенденция — возрастание глубин в северном направлении. Большинство гор изучено пока довольно слабо и только про некоторые из них, например про гору Тенчи, известно с достаточной определенностью, что это гайоты. Ее вершинная поверхность имеет вид широкой платформы, осложненной множеством небольших пиков, возможно, конусами небольших паразитических вулканов. Плоская вершинная поверхность на глубине 1340 м обнаружена и у горы Джимму.

Гора Нинтоку имеет минимальную глубину 930 м, а высоту над основанием — 4600 м. Вершинная поверхность опускается до глубины 1500 м, ниже которой начинается крутой склон. Предполагают, что это также гайот, так как на глубине 960 м была встречена выровненная площадка.

Самый крупный гайот Императорского хребта — гора Кинмей, <sup>Кинма</sup> простирающаяся с севера на юг до 240 км. Этот вулканический массив возник, по-видимому, в результате слияния нескольких подводных гор. Строение его вершинной поверхности, находящейся на глубинах 300—500 м, сложное. Здесь нередки высокие острые пики и глубокие с крутыми бортами ложбины. Эта гора отличается пологим южным склоном (уклон примерно  $0^{\circ}20'$ ); крутизна остальных склонов колеблется от 8 до  $10^{\circ}$ . В южной части здесь так же, как на горе Милуоки, отмечена глубокая впадина, окруженная грядой.

Гайот Лира имеет две вершины, южная по форме близка к остроконечному пику [3].

*Некоторые вопросы глубинного строения хребтов.* По морфологии и происхождению Императорский хребет подобен Гавайскому и, по-видимому, они являются продолжением один другого. Морфологически это выражено, в частности, в том, что ни один из них не переходит за точку встречи в характерном для него направлении (рис. 4). Кроме того, глубины погружения вулканических гор постепенно возрастают — от о-ва Гавайи на крайнем юго-востоке системы до горы Тенчи — на крайнем севере. Правда, Удинцев [6] склонен рассматривать Императорский хребет как самостоятельную структуру.

Если глубину погружения вершин гайотов условно брать в качестве критерия возраста этих вулканических сооружений, то, приняв скорость погружения вулканов в океане равной 0,02 мм в год [4], можно определить возраст горы Тенчи, равный примерно 90 млн. лет, горы Джимму — 60 млн., горы Суйко — 55 млн., горы Нинтоку — 46 млн., горы Джингу — 40 млн. и горы Лира — 23 млн. лет.

Однако при расчетах возраста следует учитывать мощность карбонатной шапки, покрывающей большинство подводных гор. Поэтому возраст гор рассчитан очень приблизительно и, по-видимому, в наибольшей степени соответствует действительному лишь в северной группе гайотов Императорского хребта, которые не покрыты значительным слоем карбонатных отложений. К тому же гора с мощным

основанием будет оседать быстрее, чем одиночная островершинная, поэтому ориентировочная скорость 0,02 мм в год не отражает всего многообразия тектонической жизни подводных гор.

О глубинном строении вулканических хребтов в северо-западной части Тихого океана можно судить на основании данных сейсмических,

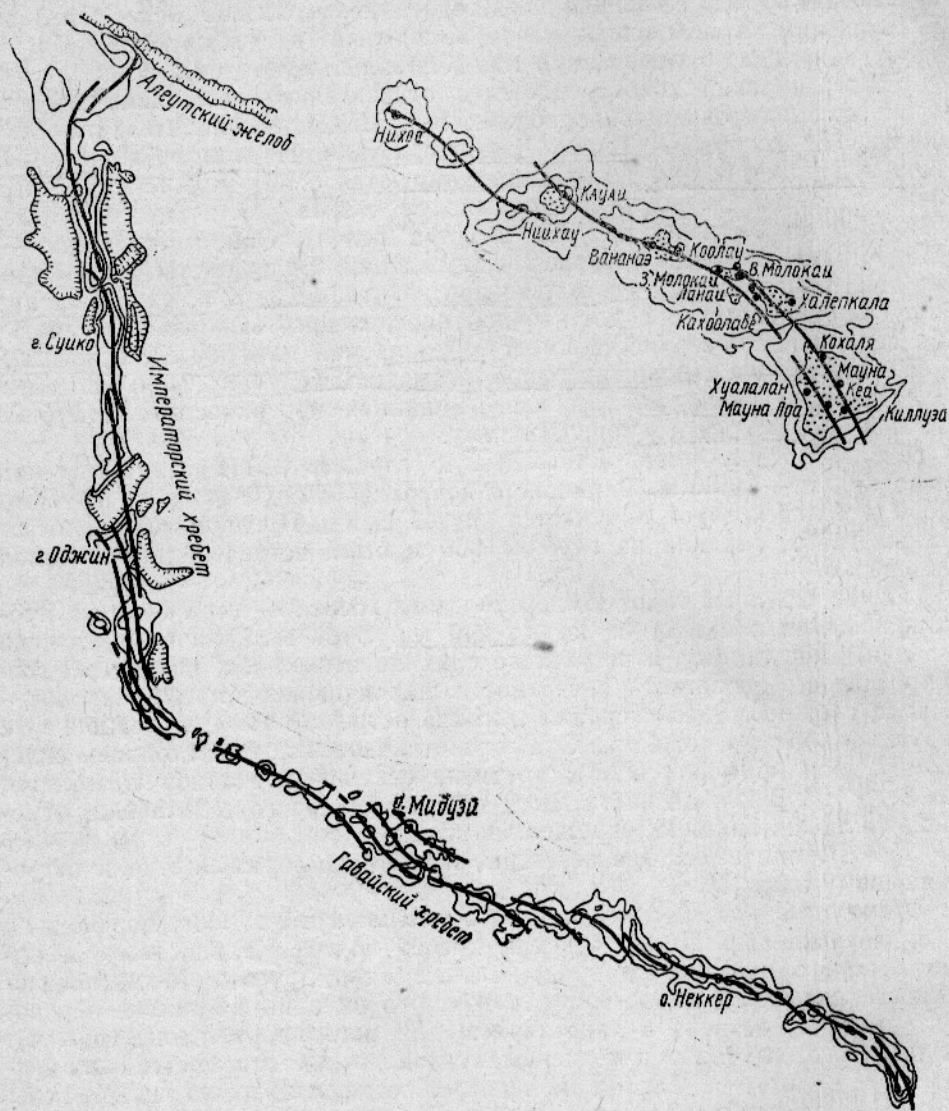


Рис. 4. Схема основных структурных линий в Гавайском и Императорском хребтах (По Джексону и др., 1972).

гравиметрических и магнитометрических исследований. Данные глубинного сейсмического зондирования [25] к северу от банки Гарднер Пиннаклз по профилю через склон, ров и вал Гавайского поднятия говорят о трехслойном строении коры в этом районе. Скорости прохождения сейсмических волн в поверхностном слое составляют 2,6—3 км/с. Вертикальные и горизонтальные скорости в этом слое в области Гавайского рва одинаковы, что свидетельствует о недостаточной уплотненности выполняющих его отложений.

Ниже залегает слой со скоростью 4,7 км/с, под которым находится маломощный слой, характеризующийся скоростями 5,5 км/с. Полага-



ют, что этот слой составлен вулканогенным материалом, так как он становится гораздо толще под хребтом (до 8 км) и тоньше к его периферии. Подошва слоя погружается к центру хребта. Скорости нижнего слоя океанической коры 6,7—6,9 км/с. Его средняя мощность, несколько увеличивающаяся к центру хребта, достигает 5—6 км. Поверхность Мохоровичича быстро погружается по направлению к центру хребта от 9 до 15—17 км. Сейсмические исследования регистрируют резкие изменения глубины верхней мантии: от 20 км под горой Мауна Кеа до 5—7 км под вулканом Коолау (о-в Оаху). Скорости прохождения сейсмических волн здесь субнормальные — 7,7—7,8 км/с, что связано с существованием древних интрузивных мантийных тел [16]. Подобные явления были встречены также при изучении хребта Тонга и о-ов Сообщества.

Средняя мощность коры вдоль оси Гавайского вала не превышает 5—6 км, а глубина залегания поверхности Мохоровичича равна 10,5 км. Непосредственно под хребтом эта поверхность проходит на разных глубинах, что связано, по-видимому, с существованием столбобразных тел, выполненных мантийноподобным материалом, распространенным под кальдерами древних вулканов на глубинах от 4,5 до 7 км от поверхности океана. На интрузивную природу этих тел указывают высокие значения плотности слагающих их пород — 3,25 г/см<sup>3</sup>, полученные на основании гравиметрических данных [26]. Широкие магнитометрические работы, проведенные в районе Гавайских островов, между 155 и 170° з. д., показали, что зоны разломов Мереей и Молокаи, не прерываясь, проходят через Гавайский свод в направлении на юго-запад [23], хотя на самом своде они никак не выражены.

Геофизических работ в районе Императорского хребта было значительно меньше. Разрез земной коры у гайота Лира [11] начинается слоем с малыми скоростями сейсмических волн — около 2 км/с. Внутри этого акустически прозрачного слоя имеются прослойки, акустически непрозрачные. Второй слой в верхней своей части характеризуется скоростью около 3,7 км/с, а в нижней — до 6,2 км/с. Мощность этого слоя резко ундулирует: от 1,5 км на периферии свода до нескольких километров в осевой его части, местами слой погружается на глубину 10 км. Мощность третьего слоя со скоростями 6,9 км/с — до 4 км. Кровля мантии ундулирует очень сильно в пределах самого свода: от 1 км в краевой части до 17 км в центральной. Скорость продольных волн в этом слое равна 8,2—8,3 км/с. По-видимому, разрез такого типа характерен в целом для свода, будь то Императорский или Гавайский, в том случае, когда он не осложнен структурами, вызывавшими оседание в коре.

Величина теплового потока в районе гор Джингу и Нинтоку [27] равна  $1,0—1,5 \cdot 10^{-6}$  кал/(с·см<sup>2</sup>), т. е. находится в пределах значений, характерных для северо-западной части океана в целом. Таким образом, Императорский хребет является асейсмичной, в геотермальном плане — невыраженной структурой.

*Породы, встреченные на подводных горах Гавайского и Императорского хребтов.* Вулканы на крупных островах Гавайского архипелага сложены покровами базальтовой лавы, образовавшимися в результате многократных и обширных извержений на стадии щитового вулкана, через которую прошли все вулканические горы. Лава, изливавшаяся на этой начальной стадии, была очень жидкой и представляла собой толеитовый и оливиновый базальт.

Верхняя часть щитов многих вулканов сложена лавовыми потоками, разделенными прослоями пепла, а местами — и погребенными почвами. Выброс пирокластического материала становится во времени все более значительным, а промежутки между извержениями постепенно возрастают. В заключительной стадии происходили изверже-

ния щелочных базальтов, тонким покровом лежащих на породах основной фазы формирования щита.

В последнее время подтвердилось, что обширные области океанического дна сложены своеобразными толеитовыми базальтами, отличающимися от континентальных более низким содержанием  $K_2O$  [14]. Океанические толеиты формируют пьедесталы большинства внутриокеанических островов, а серия «щелочной базальт — трахит» образует только «шапку», не превышающую 3—5% от всего объема острова [21].

Мак-Дугал [22] на основании определения возраста древнейших лав Гавайских островов, а также на основании увеличения эродированности вулканов в северо-западном направлении установил, что время затухания Гавайских вулканов возрастает вдоль островной гряды в направлении на северо-запад. Средняя скорость продвижения вулканизма, т. е. образования хребта, составляла 10—15 см в год. Суммированные данные о возрасте вулканизма в районе Гавайского и Императорского хребтов приводят Клиго и Джаррард [10]. Максимальный возраст в Гавайском хребте составляет по атоллу Мидуэй 22,5 млн. лет, в Императорском хребте на гайоте Мейфин — 67—70 млн. лет, гайотах Коко и Суйко — свыше 40 млн. лет.

В рейсе «Витязя» в северо-западной части Тихого океана с вершины гайота Суйко был поднят образец щелочного оливинового базальта со свежим сколом (содержание щелочей 5,78%) [7]. У основания горы Джимму с глубины 4650—5100 м было поднято 55 обломков пород [19]. Эти обломки — либо скатившиеся по склону продукты абразии вершины горы, либо они занесены сюда айсбергами в плейстоценовое время. Чернышева [7], сравнив химический состав базальтов с гор Джимму и Суйко, а также с Гавайских островов, показала, что первые скорее всего были снесены с вершины горы. Таким образом, породы гавайского комплекса оказались типичными и для подводных гор Императорского хребта.

При драгировании на вершине гайота Нинтоку были подняты, помимо образцов базальтов, обломки пород среднего и кислого состава (андезитов и липаритов), вулканогенно-осадочных пород и кремнистых известняков. При драгировании на гайоте с глубины 1000—1050 м в рейсе «Радуги» было поднято два крупных обломка коренной породы до 50 см в диаметре со следами свежего скола. Со всех сторон, кроме скола, обломок был покрыт толстой железо-марганцевой корочкой (до 5 см). По составу это толеитовый, сильно измененный базальт. Была поднята также галька вулканических пород 1—3-го класса окатанности.

С вершины горы Оджин подняли монолит массой до 15 кг, сложенный толеитовым базальтом со следами хлоритизации. В виде обломков и гальки встречены толеитовый и оливиновый базальты, туфолавы основного состава, андезит, породы метаморфического и интрузивного происхождения.

На гайоте Лира с глубин 560—580 м драгой были захвачены обломки толеитового базальта, андезита и органогенно-обломочных известняков в форме шаровидных образований с раковинами моллюсков внутри них. Образцы базальтовой лавы подняты и с вершины горы Кинмей. Здесь же встречены органогенно-обломочные известняки, фораминиферовые известняки и обломки древних ветвистых кораллов.

Базальты с подводных гор Императорского хребта по составу чаще всего оливиновые, причем оливин нередко нацело замещен хлоритоподобными минералами, обладают гиалопилитовой структурой. Встречаются разновидности с нацело иддинксированным оливином. Известно, что иддинкситы обычно образуются в наземных условиях. Для толеитовых разновидностей характерны выделения плагиоклазов в микролитах.

Пустоты в породе по стенкам выполняются опалом, иногда карбонатом.

Сравнительно редки гиалобазальты. Состав излившихся пород в целом характерен для подводных хребтов центральноокеанического типа. Интересно присутствие иддинкситов и опациitizedированной роговой обманки, свидетельствующих о сложной истории развития подводных гор. Одним из этапов такого развития, по-видимому, было существование островов — надводных вулканов. Эруптивная деятельность последних протекала долгое время в субазральных условиях. После затухания вулканической деятельности острова, снивелированные абразией, постепенно погрузились в океанские воды.

Средние и кислые изверженные породы, а также осадочные и метаморфические образования скорее всего принесены плавучими льдами с Камчатки, Курильских и Алеутских островов. Эти породы постепенно исчезают по мере продвижения на юг, кроме того, среди поднятых образцов они ни разу не были представлены сколотыми обломками.

Если количество находок средних и кислых изверженных, а также метаморфических пород сокращается к юго-востоку, то число карбонатных обломков, поднятых в тралах и драгах, напротив, быстро увеличивается. Драгирование на подводных горах Лира и Кинмей показывает, что большая часть вершин этих подводных гор, по-видимому, покрыта плащом карбонатных образований. В пределах Гавайского хребта, начиная с банки Милуоки, карбонатные породы и прежде всего органогенно-обломочные и фораминиферовые известняки становятся единственным типом пород, которые обнажаются на вершинах подводных гор.

На банках Гавайского хребта преобладают известняки кремового и буровато-желтого цвета, очень плотные, почти сливные, со слоистой текстурой. На свежем поперечном сколе можно видеть более светлые прослойки известняка, как правило, пористого или кавернозного мощностью от 0,5 до 1,5 см. Они чередуются с прослойками кремового микрозернистого сливного известняка, лишнего макроscopicеских пор, неоднородными по мощности, утоняющимися либо разрастающимися по простиранию. Встречаются тонкие прослойки мелоподобного, сильно крошащегося известняка. В пределах описываемых прослоек выделяются более тонкие слои с различной морфологией. Так, в кавернозном слое различаются тонкие слои с кавернами различной величины: в одних довольно крупные, в других мелкие. В сливном микрозернистом известняке также просматриваются тонкие миллиметровые слои, окрашенные с различной интенсивностью. На выветренной стороне образцов встречаются крупные каверны глубиной до 1—2 см, чаще всего в прослойках относительно мягкого, более светлого известняка. Над кавернами в виде козырьков нависают прослойки кремового известняка. Повсеместно со стороны выветренной поверхности образцы покрыты черным налетом окислов железа и марганца.

Известняки сложены в различной степени перекристаллизованными скелетными остатками разных морских организмов, больше всего раковин фораминифер и мелких моллюсков, остатков трубочек серпулид или близких к ним организмов.

Находки обызвесткованных обломков древних ветвистых кораллов на вершине горы Кинмей дают право предположить, что в не очень отдаленном прошлом вершина находилась вблизи водной поверхности. Возможно, что когда-то на Кинмее существовали крупные рифовые постройки. Некоторые особенности рельефа южной части вершины Кинмей могут свидетельствовать о существовании лагуны, защищенной барьерным рифом. Возможны, однако, и другие объяснения.

Основываясь на характере размещения и составе пород, образцы которых были подняты с вершин подводных гор Императорского и Гавайского хребтов, можно прийти к следующим выводам относительно этапов развития этих вулканических гор. На первом этапе развитие вулканов в пределах описываемых хребтов приводило к появлению вулканических островов, отличавшихся резко расчлененным рельефом. Излияния продолжались и в субаральных условиях. В этот период проседание всего сооружения под тяжестью вулканических масс отставало от темпа поступления магматических расплавов и, следовательно, от роста вулканического конуса.

На втором этапе проседание стало преобладать над ростом вулкана. В теплых широтах на абразионных площадках в периферийных частях вершин проседание сопровождалось ростом коралловых построек. Надводная часть конуса частично была разрушена эрозионными процессами, частично погребена под разросшимся рифом. На третьем этапе вулканическая часть конуса оказывалась ниже уровня океанских вод. Надводную часть горы составляли рифовые сооружения. Эта стадия рифа или атолла была необязательной для вулканических гор самой северной группы.

В результате резкого проседания дна либо какого-нибудь другого катастрофического для кораллов события атолл погибал и разрушался частично в результате действия волновой абразии. Вершина горы приобретала форму, типичную для гайота. При последующем медленном прогибании, вызванным постепенным накоплением карбонатного материала, вершина горы теряла очертания, характерные для столовой горы. Карбонаты быстрее аккумуляровались в центральной части вершины, вследствие чего осадочная «шапка» здесь росла быстрее. В конце концов вершина приобретала вид сахарной головы.

В высоких широтах накопление карбонатов было в значительной степени подавлено. Если скорость проседания океанского дна была достаточно высокой, эрозионные процессы не могли разрушить надводную часть конуса, на что указывают обломки пород, образовавшихся при наземных излияниях. Такая гора не приобретала черт, типичных для классического гайота.

*О происхождении подводных хребтов.* Проблема происхождения Гавайского и Императорского хребтов привлекала внимание многих исследователей. В данной работе не имеется в виду дать характеристику всех точек зрения по этой проблеме и их анализ. Отметим лишь, что еще в 1942 г. было высказано предположение, что Гавайский свод является огромной линзой вулканических излияний, происшедших по линии очень длинного разлома коры. При этом вал и ров образовались при эластичном изгибании последней [8]. Идея прямолинейного, большого по протяженности разлома поддерживалась многими исследователями. Гамильтон [17] наметил стадийность в образовании гавайских структур на месте разломной зоны в осевой части свода.

Менард несколько модернизировал идею главного разлома, отметив, что линейно вытянутые группы подводных гор вулканического происхождения образуются следующим путем: вдоль части главного разлома возникают вулканы; под их давлением на океанической коре возникают периферические рвы и валы; в местах растяжения коры, особенно там, где валы пересекают главную линию разлома, появляются новые вулканы. В 1965 г. было сделано предположение, что Гавайские острова образовались на пересечении основного Гавайского разлома с линией разлома Молокаи [26].

Опираясь на сравнительно детальные геофизические и батиметрические исследования, Малахов и Вуллард [23] пришли к выводу, что основой формирования Гавайского хребта явились сдвиговые напряжения, в результате которых образовался разлом океанической коры

и началось последующее дробление ее вдоль разлома. Поверхностные излияния магмы обусловили возникновение подводных гор, а в некоторых случаях и хребтов, при интенсивном росте которых появились острова с надводными вулканическими куполами и кальдерами. При прекращении вулканизма возникшие образования погружаются, чтобы достигнуть состояния изостатического равновесия, вокруг погружающихся островов образуются рифы и атоллы.

Удинцев [6] связывает возникновение Гавайского и Императорского хребтов с пододвиганием плиты Северо-Восточной котловины под плиты Северо-Западной и Центральной котловин, которое вызывается горизонтальными перемещениями литосферы в области Восточно-Тихоокеанского поднятия как срединно-океанического хребта.

Однако в свете имеющихся данных главного Гавайского разлома на столь большом протяжении, по-видимому, не существует [23]. Кроме того, гипотезы о происхождении хребта должны дать объяснение таким важным фактам, как увеличение возраста вулканов в северо-восточном направлении от действующих вулканов о-ва Гавайи и существование Императорского хребта, связанного с Гавайским.

Еще в 1953 г. Дитц и Менард [12] обратили внимание на роль вертикальных сил в виде конвекционного потока, который, подходя к океанической коре, вызывает деформации и вулканизм и расходится в разные стороны. Идея о большом значении вертикальных сил в формировании Гавайской зоны получила дальнейшее развитие. В работах Вильсона [28, 29] она обосновывается теоретическими и практическими данными и используется для объяснения возможного происхождения Гавайских островов. Гипотеза, основанная на этой идее, получила название гипотезы «горячих точек».

Согласно Вильсону, источник тепла находится в верхней мантии. Поднимающийся тепловой поток вспучивает океаническую кору, что приводит к растрескиванию и излияниям лавы. При этом вулканический конус и океаническая кора в целом продвигаются над «горячей точкой» за счет раздвижения в срединно-океаническом хребте. В итоге, если направление движения океанической плиты не меняется, образуется длинный протяженный вулканический хребет, возраст которого увеличивается при удалении от действующего вулкана.

Хотя гипотеза Вильсона объясняла главную особенность вулканических хребтов Гавайского типа — увеличение возраста вдоль цепи вулканов, — она не давала ответа на многие другие вопросы, в частности относительно резкого разворота Гавайского хребта по отношению к Императорскому, о группировании вулканов вдоль хребта в узлы, о происхождении асейсмичных хребтов, отходящих в сторону от Гавайского и некоторых других хребтов.

При изучении магнитных аномалий в северо-западной части Тихого океана [20 и др.] выяснилось, что Гавайский и Императорский хребты — структуры, наложенные на океаническую кору. Они секут магнитные аномалии. Океанические плиты в этой части океана продвигались на север с некоторым разворотом по часовой стрелке. Вулканы, видимо, возникали при движении плиты над «горячей точкой» с диаметром около 300 км [10].

В рассматриваемом варианте гипотеза «горячей точки» хотя и объясняет в какой-то мере происхождение хребтов центральноокеанического типа, все же нуждается в существенных дополнениях. В частности, стоит отметить следующее.

1. «Горячие точки» образуют свод на поверхности ложа океана при прохождении над ней плиты за счет вспучивания океанической коры.

2. Крупные вулканы формируются в высокопроницаемых зонах, представляющих собой участки дробления коры глубинными разлома-

ми. Действительно, районы пересечения сводов центральноокеанических поднятий трансформными разломами отмечены крупными узлами вулканических гор. Так, Гавайские острова находятся в зоне разломов Молокаи, гора Гарднер Пиннаклз и группирующиеся вокруг нее вулканы — в зоне подхода к хребту разлома Меррей, меньшему по размерам разлому Пайонир соответствует скопление гор в узле Куре-Мидуэй и т. д.

3. Вулканы обычно выстраиваются в цепочки, ориентированные в том же направлении, в каком секут свод зоны разломов. Районы отсутствия на своде крупных гор находятся там, где отсутствуют разломы. Вулканическая деятельность зафиксирована при прохождении проницаемых зон над «горячей точкой». Сама по себе «точка» не приводит к образованию вулканов на своде поднятия, так как проницаемость коры достаточно слаба. Но там, где формирующий свод накладывается на зоны трансформных или даже одиночных, но достаточно крупных разломов, проницаемость коры становится значительно выше и на гребне свода вырастают крупные подводные горы или целые вулканические узлы.

Естественно, проблема происхождения Гавайского и Императорского хребтов и связанных с ними подводных гор разработана недостаточно и нуждается в дальнейшем изучении как с общетектонических и общегеоморфологических, так и с региональных позиций.

### Выводы

1. Гавайский и Императорский хребты могут рассматриваться как единая система поднятий центральноокеанического типа, разделяющих две основные глубоководные котловины на севере Тихого океана.

2. В геоморфологии хребтов имеются общие черты. Важное значение принадлежит вулканическому узлам, в которых сосредоточена большая часть подводных гор.

3. Прослеживается изменение глубинного уровня вершин подводных гор и их возраста в направлении с северо-запада на юго-восток, а также состава пород, слагающих вершины.

4. Происхождение Гавайского и Императорского хребтов может быть объяснено с привлечением гипотезы «горячих точек».

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Е. И., Косминская И. П. Строение земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М., «Наука», 1964. 306 с.

2. Гершанович Д. Е., Натаров В. В., Черный Э. И. Океанологические основы формирования повышенной продуктивности в Тихом океане. — «Труды ВНИРО», 1974, т. 98, с. 35—42.

3. Конюхов А. И. К геоморфологии подводных гор в Тихом океане. — «Труды ВНИРО», 1974, т. 98, с. 120—135.

4. Леонтьев О. К., Медведев В. С. Эволюция атоллов Тихого океана. — «Природа», 1972, № 9, с. 80—87.

5. Менард Г. У. Геология дна Тихого океана. М., «Мир», 1966. 276 с.

6. Удинцев Г. Б. Геоморфология и тектоника дна Тихого океана. М., «Наука», 1972. 394 с.

7. Чернышева В. И. Оливиновый базальт в районе северного окончания подводного Гавайского хребта. — «ДАН СССР», 1963, т. 151, № 6, с. 1433—1436.

8. Betz F., Hess H. The floor of the North Pacific ocean.—Geogr. Rev., 1942, vol. 32, p. 99—116.

9. Chase T. E., Menard H. W., Mammerrick J. Topography of the North Pacific (chart TR—17). La Jolla, Inst. of Marine Resources, Univ. California at San Diego, 1971.

10. Clague D. A., Jarrad R. D. Tertiary Pacific plate motion deduced from the Hawaiian—Emperor Chain.—Bull. Geol. Soc. Amer., 1973, vol. 84, N 4, p. 1135—1154.

11. Den N., Ludwig W. J., Murauchi S., Ewing J. I., Hotta H., Edgar N. T., Yoshii T., Asanuma S., Hagiwara K., Sato S., Ando S.

Seismic—refraction measurements in the Northwest Pacific Basin.—*J. Geophys. Res.*, 1969, vol. 74, N 6, p. 1421—1434.

12. Dietz R. S., Menard H. W. Hawaiian swell, Deep and rath and subsidence of the Hawaiian islands.—*J. Geol.*, 1953, vol. 61, N 2, p. 99—113.

13. Emery K. O. Submarine topography South of Hawaii.—*Pacif. Sci.*, 1955, vol. 9, N 3, p. 286—291.

14. Engel C., Engel A. Volcanic rocks dredged southwest of the Hawaiian islands, *Geol. Survey Res. Prof. Paper.*, 550-d, 1966, p. 104—108.

15. Erickson B. H., Nangler F. P., Lucas W. H. Emperor Fracture zone: a newly discovered feature in the Central North Pacific.—*Nature*, 1970, vol. 225, N 5227, p. 53—54.

16. Furumoto A. S., Wollard, G. P., Campbell J. F., Hussong D. M. Variations in the thickness of the crust in the Hawaiian Archipelago. The Crust: and Upper Mantle of the Pacific Area. *Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr.*, 1968, N 12, p. 94—111.

17. Hamilton E. L. Marine geology of the southern Hawaiian Ridge.—*Bull. Geol. Soc. America*, 1957, vol. 68, N 8, p. 1011—1026.

18. Jackson E. D., Silver E. A., Dalrymple G. B. Hawaiian—Emperor chain and its relation to Cenozoic circumpacific tectonic. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1972, vol. 83, N 3, p. 601—618.

19. Kuno H., Fisher R. L. and Nasu N. Rocks fragments and pebbles dredged near Jimmu Seamount, Northwestern Pacific.—*Deep-Sea Res.*, 1955, vol. 3, N 2, p. 126—133.

20. Larson R. L., Chase C. G. Late Mesozoic evolution of the western Pacific Ocean. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1972, vol. 83, N 12, p. 3327—3344.

21. MacDonald G. A. and Katsura T. Chemical composition of Hawaiian-Pan lavas.—*Journ. Petrology*, 1964, vol. 5, p. 82—133.

22. McDougall J. Potassium—Argon ages from lavas of the Hawaiian islands. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1964, vol. 75, p. 107—127.

23. Malahoff A., and Woollard G. P. Magnetic and tectonic trends over the Hawaiian ridge.—In „The Sea“, vol. 4, p. 2, N. Y., Wiley, 1970, p. 241—276.

24. Menard H. W. Extension of Northeastern Pacific fracture zones. „*Science*“, 1967, vol. 155, N 3758, p. 72—74.

25. Shor G. G. Crustal structure of the Hawaiian ridge near Gardner Pinnacles.—*Bull. Seism. Soc. Amer.*, 1960, vol. 50, N 4, p. 563—573.

26. Strange W. E., Woollard G. P., Rose J. C. An analysis of the gravity field over the Hawaiian Islands in terms of crustal structure.—*Pacif. Science*, 1965, vol. 19, N 3, p. 381—389.

27. Vacquier V., Uyeda S., Yasui M., Sclater Q., Corry C., Watanabe T. Heat flow measurements in the northwestern Pacific. *Bull. Earthg. Res. Inst. Tokyo University*, 1966, vol. 44, p. 1519—1535.

28. Wilson G. I. A possible origin of the Hawaiian Islands.—*Canadian Journ. of Physics*, 1963, vol. 41, p. 863—870.

29. Wilson J. T. Mantle plumes and plate motions.—*Tectonophysics*, 1973, vol. 19, N 2, p. 149—164.

### *Main geomorphologic features of the Emperor and Hawaiian ridges*

D. E. Gershanovich, A. I. Konyukhov, A. P. Licitsin

#### SUMMARY

The Hawaiian and Emperor ridges are the most important structural formations dividing the Northwest Pacific from the Northeast Pacific. A great number of submerged mounts with different oceanologic regimes and biological productivity are situated within the limits of the mounts which seem to be morphologically and genetically connected with each other. A brief characteristics of typical submerged mounts is given. Some peculiarities of their geological structure are analysed. Principle hypotheses on the origin of the ridges are cited.