

ОСОБЕННОСТИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК В РАЙОНЕ ЮГО-ВОСТОЧНОГО
ЗВЕНА МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН)

С.И. Петухов¹, В.М. Анохин^{2,3,4}, М.Е. Мельников⁵, Т. Е. Седышева⁵

¹ФБГУ Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов мирового океана им. акад. И.С. Грамберга, Английский пр. 1, г. Санкт-Петербург, 190121; e-mail: petukhov@vniio.ru

²Санкт-Петербургский научный Центр РАН, Университетская наб. 5, г. Санкт-Петербург, 199034

³ФГБУН Институт озероведения РАН, ул. Севастьянова 9, г. Санкт-Петербург, 196105

⁴Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, набережная реки Мойки 48, г. Санкт-Петербург, 191186

⁵Акционерное общество «Южморгеология», ул. Крымская 20, г. Геленджик, 53461

Поступила в редакцию 24 мая 2017 г.

На основе подробной батиметрической карты района юго-восточной части Магеллановых гор, построенной по результатам многолучевого эхолотирования, авторами был проведен линеаментный анализ рельефа, выделены линейные объекты рельефа, измерены азимуты их простирания, построена роза-диаграмма направленности линеаментов района. Построены модели глубинного и приповерхностного деформационного поля района с выделением блоков с преобладающим растяжением и преобладающим сжатием. По линиям смены знака напряжений (границ блоков) происходят движения блоков. Направленности границ блоков сопоставлены с направленностью линеаментов, сделан вывод об их пространственной и генетической связи. Системы направленности линейных форм рельефа, границ глубинных и приповерхностных блоков частично соответствуют 4-м главным системам глобальной регматической сети, что говорит о существенном влиянии последней на структурный план района. Перераспределение значений напряжений связано с современными геологическими процессами, приводящими к формированию новых черт рельефа дна и частичному разрушению старых поверхностей гайотов.

Ключевые слова: рельеф, гайот, блок, модель напряжений, растяжение, сжатие, деформация, Магеллановы горы, Тихий океан.

ВВЕДЕНИЕ

Магеллановы горы – дугообразная цепь вулканических построек протяженностью более 1200 км, которая разделяет Восточно-Марианскую котловину на две впадины: северную – Пигафетта и южную – Сайпан. На западе цепь ограничена Марианской системой желобов и поднятий, на юго-востоке – поднятиями Больших Каролинских и Маршалловых островов (рис. 1).

Магеллановы горы являются наиболее перспективным районом кобальтоносного железомарганцевого оруденения коркового типа, однако долгое время их происхождение не привлекало серьезного внимания российских и зарубежных исследователей. Такая ситуация, в определенной мере, затрудняла работу геологам, занимающимся вопросами оруденения, поскольку для познания строения месторождений по-

лезных ископаемых необходимо отчетливо представлять их тектоническую позицию. С накоплением геофизических данных, появлением альтиметрических карт океанов с последнего десятилетия XX века стали появляться многочисленные работы, трактующие природу структуры Магеллановых гор с различных позиций [4, 13, 14, 16, 18, 20].

Приверженцы концепций, близких к новой глобальной тектонике, полагают, что подводные горы возникли как вулканические постройки в южной части Тихого океана в районе горячей точки SOPITA и впоследствии заняли современное положение с дрейфом плиты, на которой они расположены [4, 14, 20].

Другие исследователи придерживаются мнения, что Магеллановы горы собственно и представляют собой широкую зону трансформного разлома (очевидно, разлома Огасавара), которая разделяет фраг-

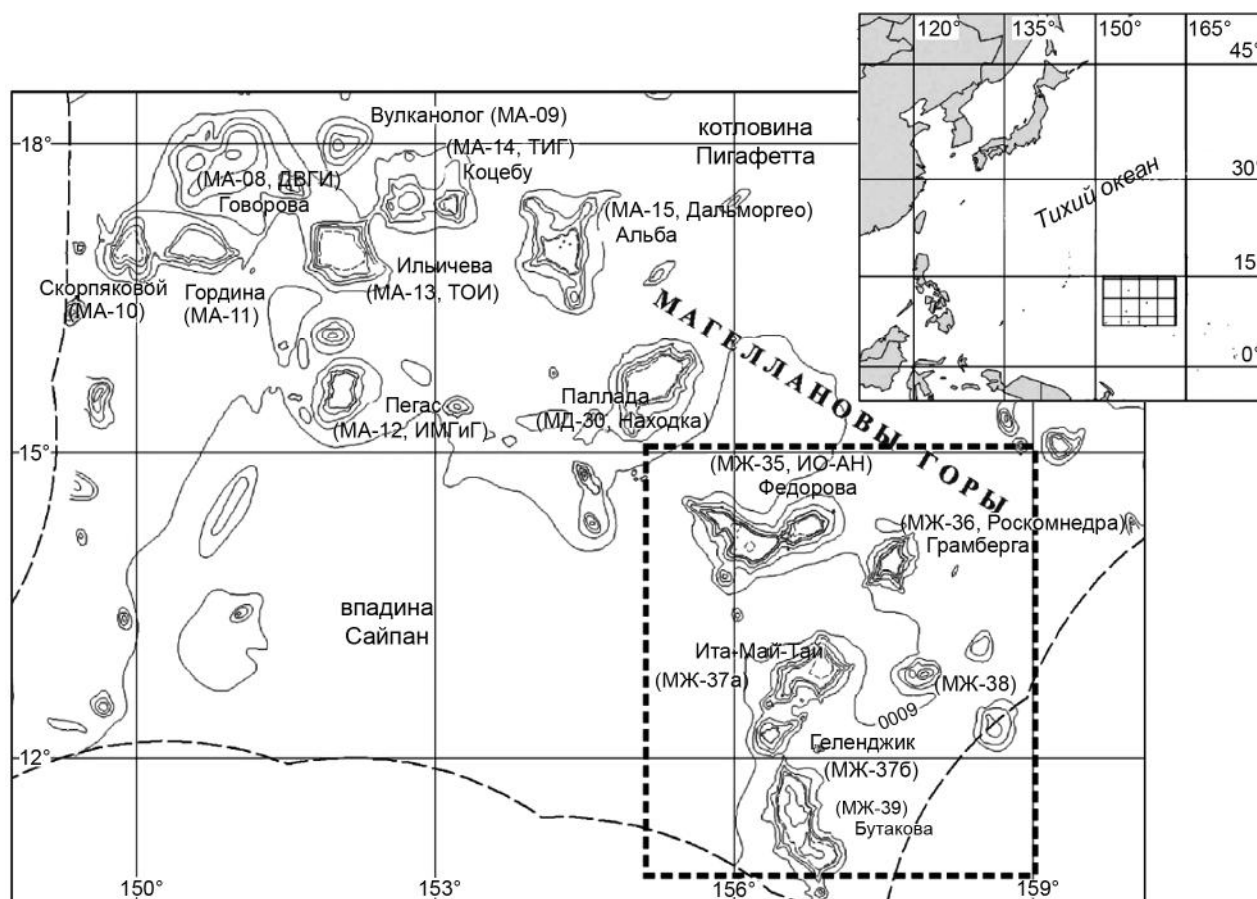


Рис. 1. Участок Магеллановых гор, для которого строилась модель распределения касательных напряжений.

менты плиты среднеюрского (котловина Пигафетта) и позднеюрского (впадина Сайпан) возрастов [4].

Существует и ряд других гипотез о происхождении Магеллановых гор, не связанных с механизмами мобилизма. Согласно В.П. Уткину с соавторами, в формировании гайотов Магеллановых гор определяющую роль играли сдвиговые дислокации различных рангов, проявленные в пликативных и дизъюнктивных формах [16].

Высказывались и версии, что Магеллановы горы являются частью кольцевой структуры центрального типа, а возможные механизмы формирования таких структур связывались с явлениями мантийного диапиризма [18].

Предлагаются и концепции, по которым наиболее характерной особенностью тектоники района Магеллановых гор является наличие выделяемой по морфологии рельефа дна и гравитационным аномалиям регулярной сети внутриплитных нарушений. Эта сеть соответствует выделенной в континентальной коре регматической сети, закономерно ориентированной по отношению к оси вращения Земли [2, 15].

Следует заметить, что, несмотря на различие подходов к проблеме, многие исследователи выделяют общие черты строения цепи Магеллановых гор. В первую очередь, это наличие в ней двух звеньев – западного (или северо-западного) и восточного (или юго-восточного) [6, 8, 15, 20]. Кроме того, отмечается, что в западном звене гайоты расположены по нескольким широтным линиям, а в восточном – по меридиональным [8, 16, 17].

Морской геологической службой Минприроды России более 25 лет выполняются геолого-геофизические исследования Магеллановых гор, направленные на определение промышленных перспектив их кобальтоносного железомарганцевого оруденения. За этот период в районе выполнены сейсмоакустическое профилирование и магнитометрические исследования. С 2000 по 2010 гг. с НИС «Геленджик» ГНЦ «Южморгеология» проведена батиметрическая съемка многолучевым эхолотом всех крупных гайотов цепи Магеллановых гор, расположенных как в западном, так и в восточном звеньях. Проведенные работы позволили собрать обширный материал и составить

некоторые представления о строении и природе рассматриваемой структуры. В 2012 г. нами опубликована работа, посвященная строению западного звена [10, 21]. Предлагаемое исследование посвящено особенностям геодинамических обстановок в пределах восточного звена.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе авторы применили тот же подход для изучения геодинамических обстановок, что уже был использован при изучении строения западного звена Магеллановых гор. Исследования основывались на изучении рельефа с проведением линеаментного анализа и созданием деформационных (геомеханических) моделей участков земной коры с выявлением действующих в них напряжений, влияющих на условия формирования и разрушения гайотов.

В пределах восточного звена Магеллановых гор проведена батиметрическая съемка многолучевым эхолотом Simrad EM12 S-120 всех шести наиболее крупных построек. Общий объем площадной батиметрической съемки составил около 38 тыс. км². Помимо этого, каждый гайот обследован детальной фототелевизионной съемкой и геологическим опробованием путем драгирования и бурения неглубоких скважин.

Для характеристики прилегающих участков котловин использованы мелкомасштабные карты, опубликованные зарубежными исследователями [19], а также результаты попутного промера, выполненного тем же многолучевым эхолотом. В целом, обширные данные позволили составить подробную батиметрическую карту района, на основании которой был проведен линеаментный анализ рельефа.

Под «линеаментами» авторы понимают структуры земной коры, выражающиеся в линейных формах рельефа поверхности суши или морского дна, линейных геологических формах, линейных аномалиях физических полей Земли и имеющие прямую или косвенную связь с разрывными нарушениями и зонами повышенной проницаемости в земной коре [2]. Линеаментный анализ проводился исходя из этого определения.

В процессе анализа были выделены линейные объекты рельефа – гребни, ложбины и уступы, измерены азимуты их простирания. Вслед за этим средствами пакета EXEL была построена роза-диаграмма направленности линеаментов района, а далее в программе Maple была построена модель деформационного поля района Магеллановых гор.

В целях изучения геодинамики района восточного звена Магеллановых гор создана его геомеханическая модель, позволяющая понять механические про-

цессы, связанные с гравитацией, тектоникой и сейсмическими явлениями. Информационной основой модели служит рельеф океанического дна (рис. 1). Реальный рельеф дна в модели аппроксимируется двухслойной структурой; мощность верхнего, упруго-пластичного слоя принималась равной 1/5 от мощности нижнего, пластично-деформирующегося слоя. Такой подход представляется оправданным, исходя из слоистого строения океанической коры. При этом предполагалось, что под воздействием веса верхнего слоя происходит пластичная деформация нижнего, величина которой непосредственно зависит от высотных отметок; тем самым реализуется учет всех особенностей в строении рельефа океанического дна [1].

В принятой модели упруго-пластичный слой представлен как эластичная мембрана, прогибающаяся на стержнях различной высоты. Значение высоты стержня (z) и его пространственное положение (x, y) берутся в точках касания мембраны (рис. 2) и таким образом напрямую зависят от батиметрических данных исследуемого района. Далее координаты стержней (x, y, z) в матричной форме импортируются в разработанную нами расчетную программу, созданную в среде пакета Maple Software. По результатам моделирования выявляется напряженное состояние участков рельефа океанического дна.

По своим физическим свойствам (модулю упругости, коэффициенту Пуассона, удельному весу) принятая модель эквивалентна океанической коре мощностью около 5 км, сложенной толеитовыми базальтами, что характерно для многих районов океана [1].

Характер распределения напряжений в предложенной модели определяется методом конечных элементов (МКЭ). В соответствии с МКЭ, сплошная среда моделируется путем разбиения ее на конечные элементы (области небольшого размера, решения на которых могут быть сведены к системе алгебраических уравнений). В результате моделируется поле напряжений для целой конструкции (рис. 3). Основной задачей определения напряженно-деформированного состояния для модели рельефа является получение функции прогибов, по которой в дальнейшем определяются изгибающие, крутящие моменты, а также «нормальные» и «тангенциальные» напряжения, действующие в нем.

Результаты определения функции прогибов в графическом виде приведены на рисунке 4, а. Для сравнения приведен рельеф этого же района, полученный по результатам съемки многолучевым эхолотом (рис. 4, б). Очевидно, что полученная по функции прогибов поверхность достаточно полно описывает реальный рельеф изучаемого района. Системы

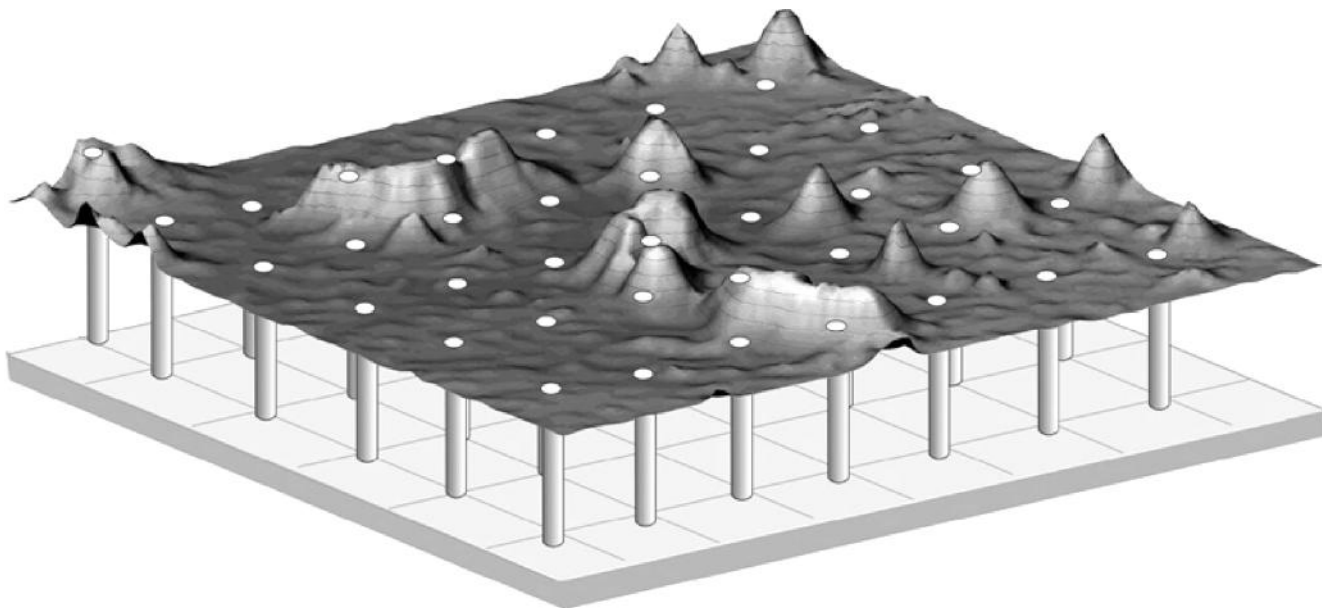


Рис. 2. Модель земной коры, принятая за основу для расчета распределения касательных напряжений.

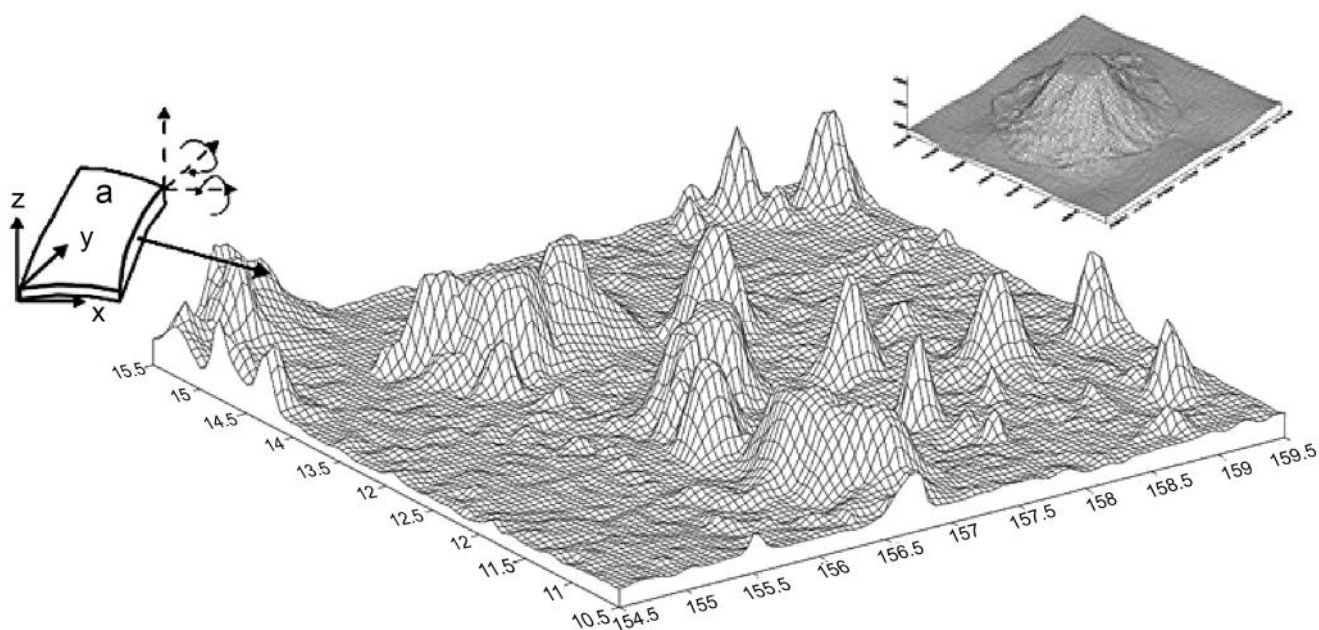


Рис. 3. Вид модели для расчета касательных напряжений методом конечных элементов (МКЭ), «а» – вид конечного элемента.

направлений линейных форм рельефа у модели и у реального рельефа также существенно совпадают, что видно на розах-диаграммах рисунка 4. Хорошее соответствие модели реальному рельефу позволяет ожидать, что вычисленные через функцию прогибов внутренние усилия, возникающие в принятой модели под действием приложенных нагрузок, будут близки реальным.

В наших исследованиях мы использовали два варианта построения деформационной модели. Для первого из них была построена карта-схема блочно-строения рельефа дна методом геодинамического районирования с использованием морфоструктурного анализа (рис. 5). Основным положением метода является представление о различной интенсивности вертикальных движений блоков по системе разновоз-

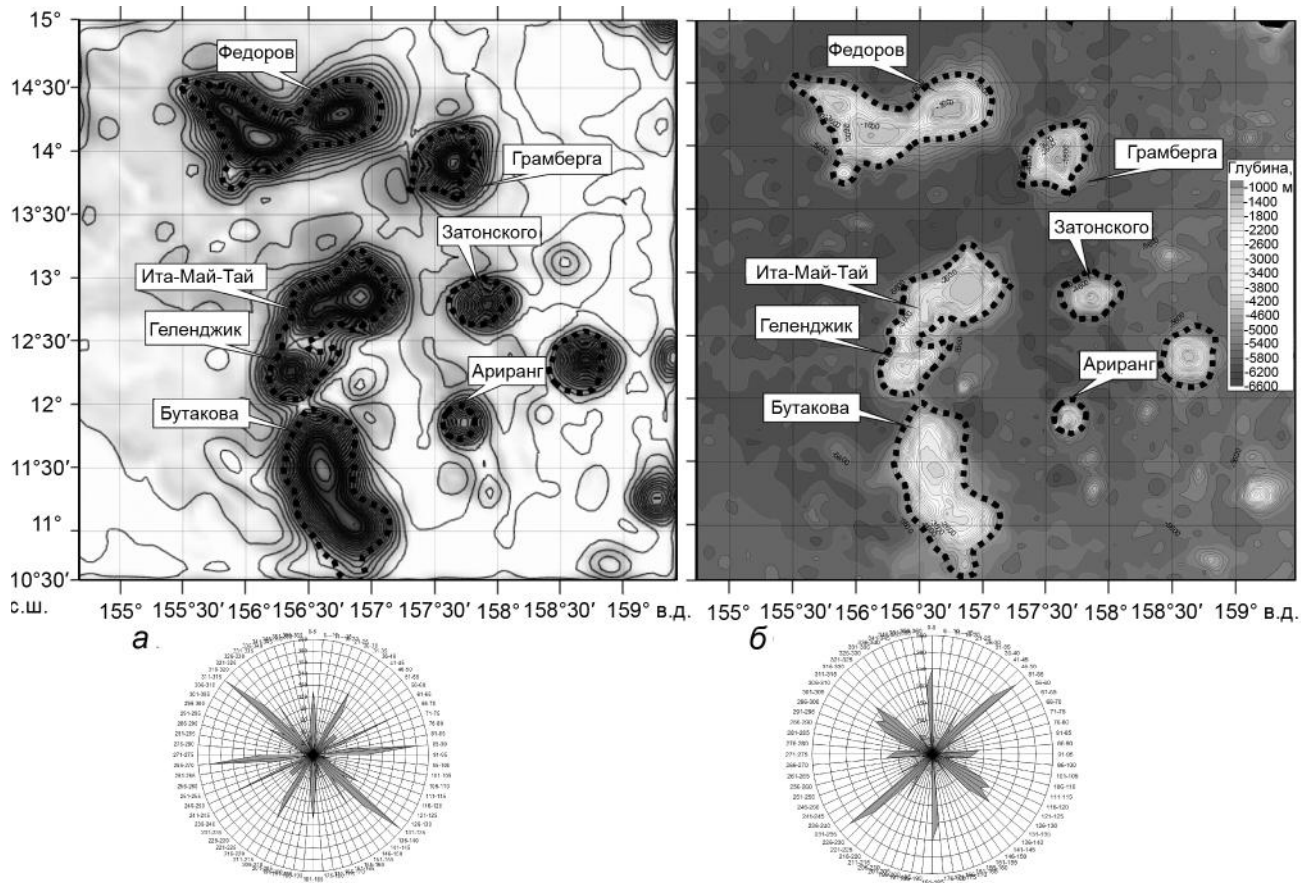


Рис. 4. Сравнение «рельефа», построенного по функции прогибов, с реальным рельефом.
а – «рельеф», построенный по функции прогибов, *б* – рельеф по данным многолучевой съемки.

растных разломов различной глубины заложения. При этом имеется в виду, что любые горизонтальные перемещения блоков находят свое отражение в их вертикальных движениях. По некоторым из них происходят современные движения земной коры. Главным элементом в блочной структуре является блок, выделяемый по унифицированному комплексу признаков. За блок, в данном случае, принимается участок земной коры, имеющий относительно одинаковое гипсометрическое поле высотных отметок. Границы блоков проводятся по определенным элементам рельефа [3, 9]. Более подробно этот метод изложен в нашей предыдущей статье [10].

Анализ результатов полученных карт-схем (рис. 6, 7) проходил по следующему алгоритму: сначала выделяют линию с нулевыми значениями касательных напряжений (на рисунках она отмечена жирным пунктиром). Линия с нулевыми значениями маркирует участки, находящиеся в условиях смены вида напряжений (растяжения/сжатия), то есть «разгруженные» зоны. Далее выделяют области с макси-

мальными значениями тангенциальных напряжений растяжения и сжатия. Участки, на которых зоны «разгрузки» граничат с областями, имеющими максимальные значения градиентов напряжений, относятся к наиболее геодинамически активным. По геодинамически активным участкам проходят основные деформации гайотов, на рисунке они выделены тройной черной линией (рис. 6, 7).

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Рельеф дна. Работа посвящена восточному (или юго-восточному) звену Магеллановых гор. Центральную часть рассматриваемого района занимают гайоты восточного звена, западную занимает краевая часть впадины Сайпан, северо-восточную – котловина Пигафетта. С юго-востока и востока подходят структуры поднятия Маршалловых островов. Гайоты восточного звена расположены вдоль двух меридиональных линий. На основной с севера на юг лежат крупные гайоты Федорова, Ита-Май-Тай, Геленджик и Бутакова. Восточнее, на осложняющем отрезке име-

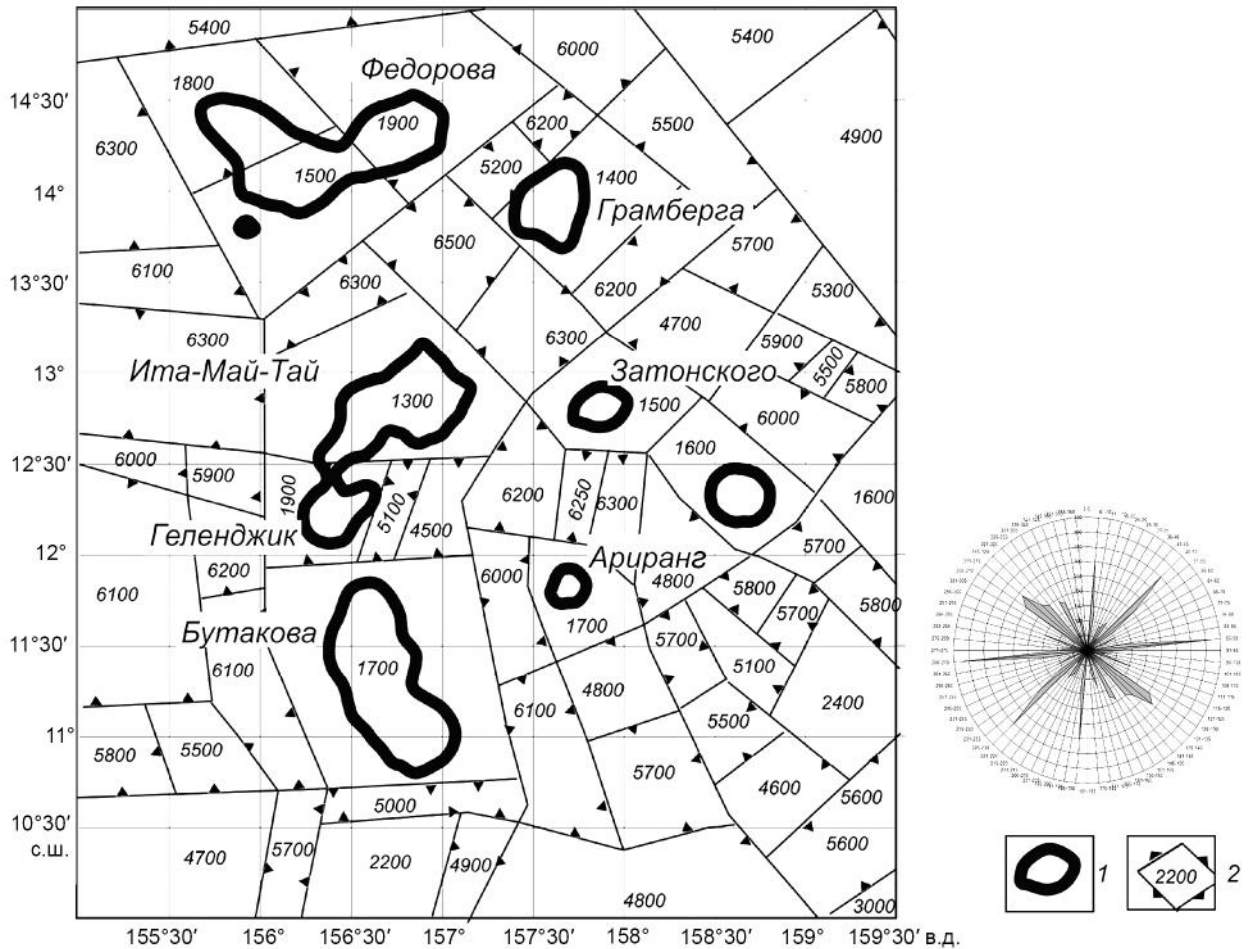


Рис. 5. Карта-схема блочной структуры района Магеллановых гор, выявленная в результате геодинамического районирования.

1 – контуры гайота, 2 – границы блоков и глубины поверхностей.

ют место небольшие гайоты Грамберга, Затонского и Ариранг. Первый находится на широте г. Федорова, второй – г. Ита-Май-Тай. Небольшой гайот Ариранг лежит почти на одной широте с северным куполом гайота Бутакова. Гайоты Ита-Май-Тай, Геленджик и Бутакова образуют единый меридионально ориентированный вулканотектонический массив. Площадь его основания составляет 18 000 км², цоколь фиксируется на уровне 5900 м. Гайоты Ита-Май-Тай и Геленджик оконтуриваются изобатой 4200 м, гайот Бутакова – 5100 м, однако их структуры прослеживаются и глубже, в пределах цоколя массива. Размеры основания гайота Ита-Май-Тай – 106 × 58, Геленджик – 46 × 45, Бутакова – 160 × 55 км. Самый северный на основной линии гайот Федорова состоит из двух построек, оконтуриваемых изобатой 5600 м. Поперечные размеры основания западной постройки – 121 × 58, восточной – 80 × 65 км. Основания гайотов восточной линии

прослеживаются на глубинах 5600–5800 м, а их размеры существенно уступают упомянутым: Грамберга – 66 × 58, Затонского – 48 × 41, Ариранг – 36 × 33 км.

В отличие от западного звена, где вершинные плато гайотов расположены в близком батиметрическом интервале, характерной особенностью восточного звена является последовательное увеличение глубин положения плато гайотов с севера на юг. Бровка плато г. Федорова на западной вершине расположена на глубине 1800 м, г. Ита-Май-Тай – 2000 м, г. Геленджик – 2100 м и г. Бутакова – 2650 м. Минимальные отметки над гайотами (их наивысшие точки) при этом проявляют обратную тенденцию: г. Федорова (западная постройка) – 1425 м, г. Ита-Май-Тай – 1319 м, г. Геленджик – 1284 м, г. Бутакова – 1185 м. Эти встречные закономерности могут являться отражением изостатической уравновешенности положения гайотов. На гайотах Грамберга и Затонского, так же как

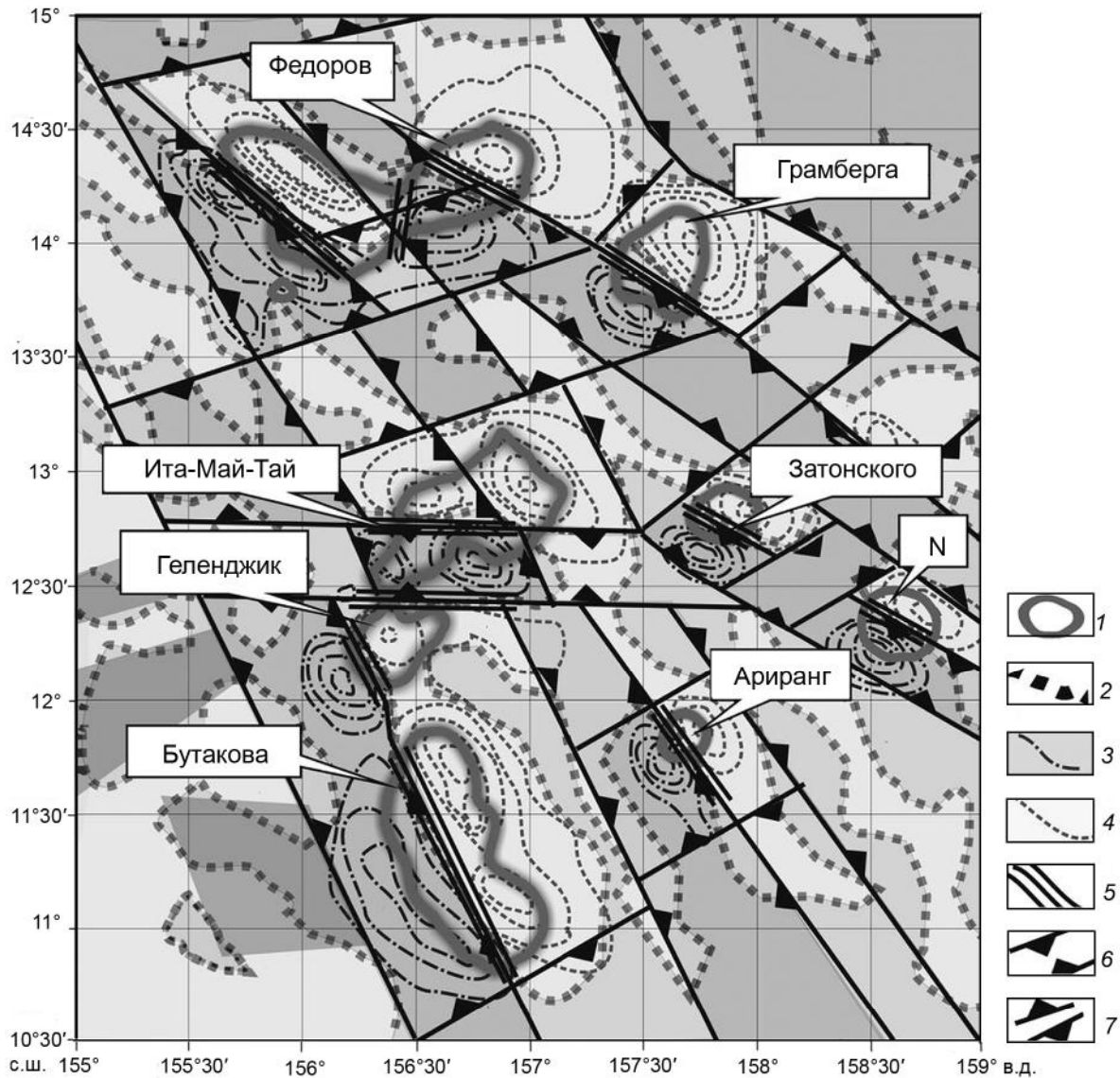


Рис. 6. Распределение касательных напряжений в деформационной модели приповерхностной части гейзотов.

1 – контуры гейзотов, 2 – нулевая линия (смена вида напряжений), 3 – изолинии зоны сжатия, 4 – изолинии зоны растяжения, 5 – наиболее активные участки, 6 – границы областей с напряжениями сжатия, 7 – границы областей с напряжениями растяжения.

и на восточной постройке г. Федорова, бровка плато приурочена к глубине 1500 м, г. Ариранг – 1700 м. Минимальные отметки над восточной постройкой г. Федорова, г. Грамберга, г. Затонского и г. Ариранг сходны – 1275, 1215, 1273 и менее 1300 м, соответственно.

Все гейзоты восточного звена, за исключением небольших гейзотов Затонского и Ариранг, характеризуются резкими угловатыми очертаниями, осложнены отрогами, спутными постройками, многочисленными мезоформами.

Поверхности окружающих котловин – пологоволнисты, отмечаются отдельные абиссальные хол-

мы. Базисные участки предельно выровнены. Во впадине Сайпан средний уровень таких участков около 6000 м. При смыкании со шлейфами гейзотов он повышается до 5800–5900 м. Нередко гейзоты окружают переуглубленные участки (вероятно, компенсационные впадины) с глубинами поверхностей около 6100 м. Поверхность котловины Пигафетта расположена на глубинах 5800–5900 м, а поверхности впадин вокруг гейзотов – около 6000 м.

Общие особенности геологического строения. Подводные горы восточного звена, как и другие гейзоты Магеллановых гор, сложены преимущественно вулканическими породами нижнего мела, представ-

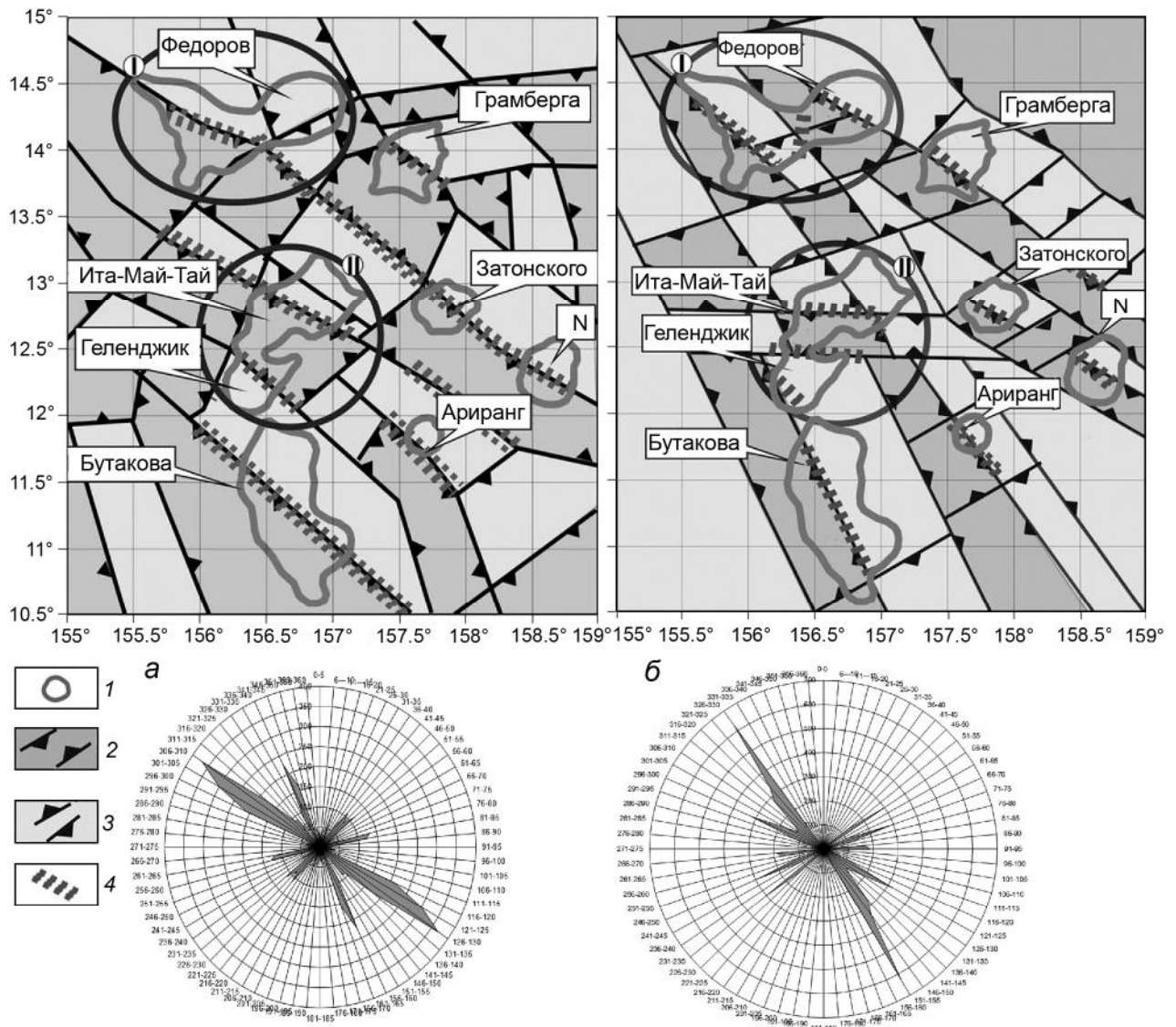


Рис. 7. Сопоставление двух вариантов деформационных моделей района Магеллановых гор.

Распределение касательных напряжений в деформационной модели вулканотектонического пьедестала гейзеров (*а*), распределение касательных напряжений в деформационной модели приповерхностной части гейзеров (*б*),

1 – контуры гейзота, *2* – границы областей с напряжениями «сжатия», *3* – границы областей с напряжениями «растяжения», *4* – наиболее активные разломные участки. Римскими цифрами отмечены гейзоты, имеющие сложную деформационную структуру: *I* – гейзот Федорова, *II* – гейзот Ита-МайТай.

ленными толеит-щелочнобазальтовой ассоциацией гавайского типа [5]. В них выделяется два комплекса. Нижний представлен плитотолеитами, а верхний ярус слагают субщелочные и щелочные базальтоиды, среди которых идентифицированы пикриты, щелочные оливиновые базальты и трахибазальты.

Осадочный чехол может достигать по мощности одного километра и состоит из комплексов осадочных и вулканогенно-осадочных пород апта–турона, кампана-маастрихта, позднего палеоцена–эоцена и мио-

цена [5, 6, 11, 12]. Венчает разрез толща нелигифицированных осадков плиоцен-четвертичного возраста. Состав всех возрастных комплексов пород сходен и включает рифогенные и планктоногенные известняки, эдафогенные брекчии, мелкообломочные породы. В миоценовом комплексе мелководные отложения отсутствуют. В каждом комплексе присутствуют вулканогенно-обломочные и вулканогенно-осадочные породы узких возрастных интервалов. Их присутствие в разрезе свидетельствует о регулярном проявлении

вулканотектонических активизаций в районе с позднего мела по миоцен включительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Земная кора в пределах восточного звена Магеллановых гор разбита на многочисленные блоки (рис. 5), обычно четырехугольной формы. Их размеры по длинным осям колеблются от 20 до 60 км. Уровни субгоризонтальных поверхностей блоков находятся на глубинах от 1900 до 6500 м, образуя подобие «клавишной» структуры. Наиболее высоко стоящие блоки содержат постройки гайотов и имеют глубины поверхностей 1300–1900 м. Высокие блоки с гайотами опоясаны совокупностью самых глубоких блоков (6000–6500 м), образующих впадины, окружающие горные цепи. Блоки со средними глубинами поверхностей (4500–5800 м) расположены в периферийных частях изучаемого района, образуя «борта» впадин. Блок в южной части района с отметкой 2200 м соответствует продолжению цепи Магеллановых гор в сторону Каролинского поднятия, а блоки на востоке с отметками 1600 и 2400 м отражают влияние подходящих с этой стороны структур поднятия Маршалловых островов.

Ориентировка границ блоков отражена на розе-диаграмме к рисунку 5. Разломы, являющиеся границами выделенных блоков, имеют 4 главных направления – субмеридиональное (6–10°), субширотное (86–90°), диагональное северо-восточное (46–50°) и диагональное юго-восточное (131–135°). Эти четыре системы прямо соответствуют четырем главным системам планетарной трещиноватости [2]. Заметно, что практически все гайоты изучаемой группы располагаются в пределах одиночных наиболее приподнятых блоков. Исключение составляют наиболее сложно построенные гайоты Федорова и Ита-Май-Тай, цоколи которых состоят из нескольких поднятых блоков. В западном звене нами было отмечено, что гайот Коцебу также построен тремя блоками, а гайот Говорова – по меньшей мере, пятью [10]. Общий структурный план района делится на две области – северо-восточную и юго-западную (рис. 5). В северо-восточной области удлиненные блоки и ограничивающие их разломы ориентированы в основном по направлению ЮВ-СЗ, а в юго-западной преобладают субмеридиональные ориентировки.

На рисунке 6 и 7 (а, б) приведены результаты двух вариантов построения деформационной модели.

Для первой модели, характеризующей распределение напряжений вулканотектонического пьедестала гайотов, информационной основой являлась карта-схема блочного строения рельефа (рис. 5). Вторая модель, отражающая распределение напряжений на

поверхности гайотов, построена на основе модели рельефа, созданного в программе Maple (рис. 4).

В обоих случаях выявлялись области, находящиеся в условиях сжатия и растяжения, показанные на схеме изолиниями, а также относительно разгруженные участки, характеризующиеся «нулевыми» значениями касательных напряжений.

На схемах распределения касательных напряжений (рис. 6, 7) зоны напряжений растяжения-сжатия имеют линейно-вытянутые формы с основной ориентировкой на ЮВ. На розах-диаграммах показана направленность границ зон напряжений, здесь видны две ЮВ системы 120–130° и 150–160°, причем для модели по блочной структуре более значимым является направление 120–130°, а для модели по батиметрии – 150–160°. Учитывая первичность блоковой делимости по отношению к рельефу, смена направлений ЮВ систем напряженных зон может означать тенденцию к смещению тектонической активности всей системы по часовой стрелке.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оба варианта деформационных моделей отражают блочное строение восточного звена Магеллановых гор на различных этапах своего развития. Первый вариант характеризует распределение напряжений вулканотектонического пьедестала гайотов (рис. 7, а), а второй – поверхностной части (рис. 6, 7, б). Блоки, составляющие гайоты, имеют различные по знаку напряжения (сжатие/растяжение), границами которых являются участки смены вида напряжений (зоны «разгрузки»), преимущественно северо-западного простирания. Западные участки бортов почти всех гайотов располагаются в блоках с напряжениями сжатия, а северо-восточные – растяжения. Чередование блоков с различными видами напряжений проходит по типу гармошки. Это явление, возможно, связано с тем, что развитие региона, как считают некоторые исследователи, происходило в условиях сжатия океанической коры с преобладанием горизонтальных напряжений меридионального направления [16]. При этом образование гайотов – компенсация тектонических напряжений океанической коры.

При определенной схожести двух схем распределения напряжений для гайотов восточного звена видны и различия. Так, на карте-схеме, характеризующей распределение напряжений вулканотектонического пьедестала гайота Федорова, деформационное поле состоит из одного блока с напряжениями сжатия и трех – растяжения (рис. 7, а). На схеме же для поверхностной модели структуры напряжений меняют свою конфигурацию. Западная часть, охватывающая бровку гайота, находится в условиях сжатия, далее к

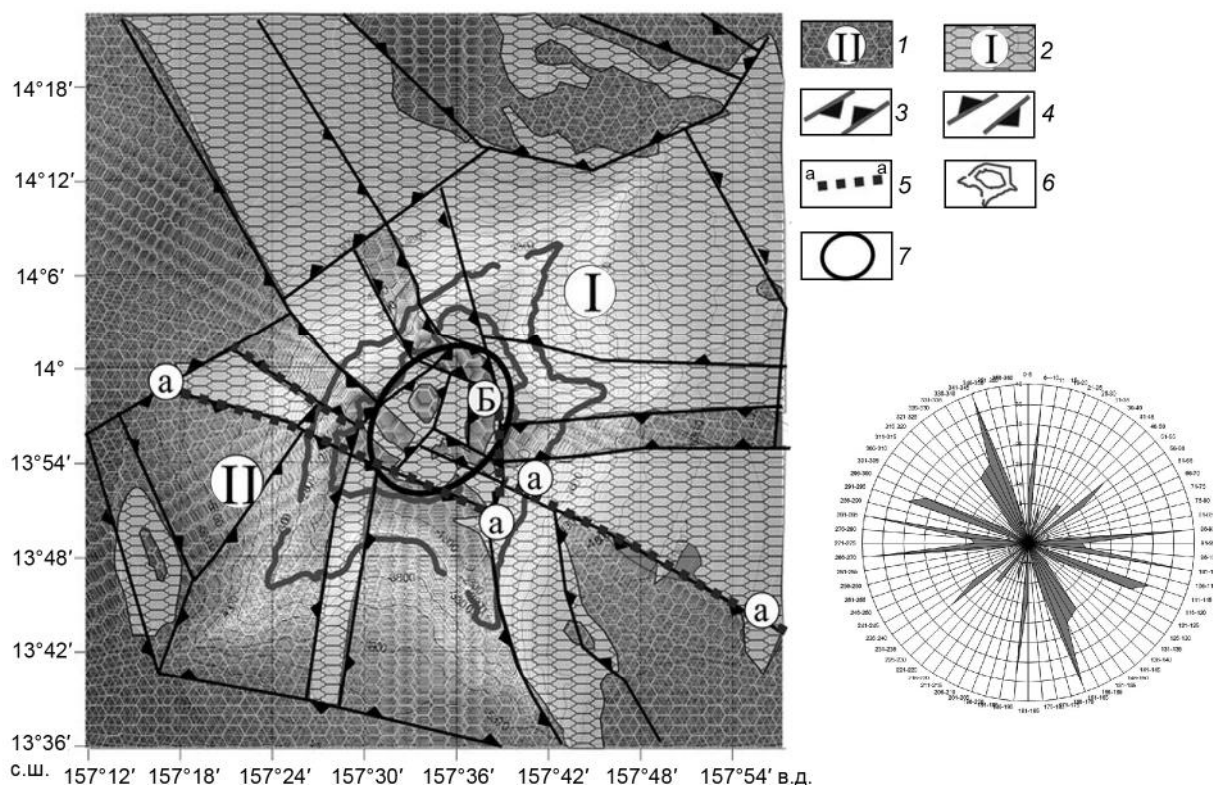


Рис. 8. Схема распределение напряжений на гайоте Грамберга.

1 – зоны «сжатия», 2 – зоны «растяжения», 3 – границы областей «сжатия», 4 – границы областей с напряжениями «растяжения», 5 – наиболее «активные» зоны, 6 – границы гайота, 7 – граница «безрудной» зоны. Обозначения на схеме: I – зона сжатия, II – зона растяжения, а – наиболее активные зоны, Б – «безрудная» зона гайота.

востоку единая на предыдущей схеме зона растяжения распадается на два блока, разделенных зоной сжатия (рис. 6, 7, б).

Отмечаются различия в схемах распределения напряжений двух вариантов моделей и на других гайотах. На глубинной деформационной модели, отражающей распределение напряжений вулканотектонического пьедестала гайотов Ита-Май-Тай и Геленджик, выделяется обширная протяженная зона с напряжением сжатия (рис. 7, а), в пределах которой оказываются части самих гайотов и участок, разделяющий их. На поверхностной модели разделяющая гайоты зона сжатия уменьшилась, и уже весь гайот Геленджик оказался в условиях действия напряжений растяжения (рис. 6, 7, б). Структура напряженного поля гайота Ита-Май-Тай также изменила свою конфигурацию, и зона растяжения теперь охватывает всю его основную часть.

Структура деформационного поля гайота Бутакова, отражающая напряжения вулканотектонического пьедестала, делится диагональной активной геодинамической зоной на два блока с различными видами напряжений: западный – сжатия, а восточный – растя-

жения. В приповерхностной деформационной модели гайота, единый на предыдущей схеме восточный блок распадается на два, и при этом северный блок находится в зоне действия более высоких напряжений растяжения чем южный (рис. 6).

На поверхностных деформационных моделях гайотов Федорова, Ита-Май-Тай и Бутакова структуры растяжения имеют по две вершины, в отличие от моделей, характеризующих напряжения пьедестала, что может свидетельствовать об идущих процессах деструкции поверхностей гайотов по ослабленным зонам на современном этапе (рис. 6). Изменения конфигураций деформационных структур связано с тенденцией к смещению тектонической активности всей системы восточного звена Магеллановых гор по часовой стрелке.

Деформационные структуры «небольших» гайотов восточного звена Магеллановых гор, таких как Грамберга, Затонского и Ариранг состоят их двух блоков с напряжениями сжатия западной части и растяжения восточной. Межблоковые границы северо-западного простирания маркируют ослабленные участки гайотов. На схемах, иллюстрирующих рас-

пределение напряжений таких гайотов, видно, что деформационные модели как глубинные (рис. 7, а), так и приповерхностные (рис. 6, 7, б) имеют практически один и тот же «простой» вид. Это говорит о малой активности процессов деструкции этих гайотов на современном этапе развития.

Крупномасштабные модели таких гайотов выявляют более сложную картину распределения напряжений. Это видно на примере крупномасштабной схемы распределения напряжений на гайоте Грамберга, построенной на кондиционной батиметрической основе масштаба 1:200 000 (рис. 8). Картина распределения напряжений в пределах гайота значительно сложнее, чем на его мелкомасштабной схеме (рис. 7, б), хотя основные черты структуры напряжений при этом сохраняются.

Если принять, что рисунок распределения напряжений на гайоте Грамберга контролирует простирающиеся границы блоков гайота, то последние образуют системы направлений $6-10^\circ$, $51-55^\circ$, $86-90^\circ$, $101-105^\circ$, $111-115^\circ$, $161-165^\circ$.

В этих системах просматривается влияние напряжений 3-х иерархических уровней:

1) планетарного – системы $6-10^\circ$ (субмеридиональная), $86-90^\circ$ (субширотная), $51-55^\circ$ (диагональная СВ) соответствуют системам планетарной трещиноватости;

2) регионального – система $161-165^\circ$ соответствует направлению значимой системы разломов всего района (роза-диаграмма к рис. 7, б);

3) локального – системы $101-105^\circ$, $111-115^\circ$, по видимому, являются местными локальными системами напряжений, вычлениющимися в теле гайота серию мелких блоков.

Наиболее геодинамически активная часть гайота отмечена на схеме пунктирной линией «а-а». Эта линия маркирует зону, где области разгрузки граничат с областями максимальных значений градиентов тангенциальных напряжений растяжения. Такая ситуация указывает на существование наибольших сдвиговых усилий в этой части гайота, и где проходит его основная деструкция. Центральная часть гайота (вершинное плато) представляет собой мозаичную деформационную структуру, состоящую из мелких участков с напряжениями различного знака. По данным детальных исследований, она сложена вулканическими и вулканокластическими породами раннего мела и перекрыта толщей плиоцен-четвертичных неконсолидированных осадков небольшой (до 50 м) мощности [7]. Учитывая конфигурацию границ блоков и общую структуру напряжений, можно предположить, что гайот Грамберга находится в ситуации (относи-

тельно или умеренно) изометричного растяжения, направленного от центра гайота к его периферическим частям. Распределение систем разломов по ряду радиальных направлений создает подобие структуры «битой тарелки». Классическая структура «битой тарелки» образуется в кровле воздымающихся диапиров при частичном ее обрушении. Можно предположить нечто подобное и здесь. Выявленная структура может свидетельствовать о вертикальном поднятии тектономагматической постройки гайота Грамберга при воздымании глубинного вещества и частичном проседании некоторых периферических блоков гайота в выработанные магматические очаги.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать ряд наиболее общих выводов.

1. В целом район юго-восточной ветви Магеллановых гор имеет блоковое «клавишное» строение. При этом наиболее поднятые блоки построек гайотов окружены тектоническими впадинами – зонами наиболее опущенных блоков.

2. Моделирование геомеханических процессов, проходящих в пределах гайотов, позволило выявить неоднородный характер строения района восточного звена Магеллановых гор и определить вид касательных напряжений (сжатия/растяжение), действующих на каждом участке.

3. Все восточные борта гайотов восточного звена Магеллановых гор находятся в условиях действия касательных напряжений растяжения, западные – сжатия. Это может быть связано с тенденцией к смещению тектонической активности всей системы восточного звена Магеллановых гор по часовой стрелке. Выявленные при моделировании участки, на которых линии разгрузки граничат с областями максимальных градиентов изменения напряжений, относятся к наиболее геодинамически активным, и по ним проходит основная деструкция гайота.

4. Направления разломов, ограничивающих блоки гайотов, в масштабе всего района в общем повторяют четыре системы планетарной трещиноватости с некоторым преобладанием ЮВ систем.

5. При укрупнении масштаба модели до размеров одного гайота картина распределения напряжений резко усложняется: в частности, на гайоте Грамберга выявляется распределение систем направлений разломов по ряду радиальных направлений, с образованием подобия структуры «битой тарелки», что может свидетельствовать о вертикальном поднятии тектономагматической постройки гайота Грамберга при воздымании глубинного вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П.А., Анисеева Л.И., Андреев С.И., Петухов С.И. Талассохимия рудогенеза Мирового океана. СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2009. 222 с.
2. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб.: Недра, 2006. 161 с.
3. Батугина И.М., Петухов И.М. Геодинамическое районирование месторождений при строительстве и эксплуатации рудников. М.: Недра, 1988. 166 с.
4. Брусиловский Ю.В., Городницкий А.М., Соколов В.А. Вулканотектоническая эволюция Магеллановых подводных гор в свете их геомагнитного изучения // Геотектоника. 1992. № 5. С. 96–106.
5. Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность. М.: Наука, 1995. 368 с.
6. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.
7. Мельников М.Е., Плетнев С.П., Басов И.А., Седышева Т.Е. Новые данные о морфологии и геологическом строении гайота Грамберга (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 105–115.
8. Мельников М.Е., Седышева Т.Е., Агапова Г.В., Анохин В.М. Особенности геоморфологического строения гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Изв. РГО. 2013. Т. 145, № 6. С. 29–43.
9. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. М.: Недра коммюникейшенс ЛТД», 1999. 256 с.
10. Петухов С.И., Анохин В.М., Мельников М.Е. Особенности геодинамических обстановок в районе северо-западного звена Магеллановых гор (Тихий океан) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. № 20. С. 78–88.
11. Плетнев С.П., Мельников М.Е., Пунина Т.А. и др. Меловые отложения гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Меловая система России и ближнего зарубежья / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, И.В. Благовещенского. Ульяновск: УлГУ., 2010. С. 283–286.
12. Плетнев С.П., Мельников М.Е., Палеогеографические этапы развития гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Вестн. ДВО РАН. № 2. 2015. С. 33–43.
13. Рашидов В. А., Невретдинов Э. Б., Селянгин О. Б., Невретдинов Эр. Б. Геолого-геофизические исследования гайотов Магеллановых гор Тихого океана // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. Вып. 13. С. 103–126.
14. Седов А.П., Матвеевков В.В., Волокитина Л.П. и др. Качественная модель формирования цепей подводных гор // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 24–44.
15. Углов Б. Д., Мельников М. Е. Тектоника рудной провинции Магеллановых гор Тихого океана по геофизическим данным // Руды и металлы. 2015. № 4. С. 26–38.
16. Уткин В.П., Ханчук А.И., Михайлик Е.В. и др. Роль сдвиговых дислокаций океанической коры в формировании гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Докл. АН. 2004. Т. 395, № 5. С. 646–650.
17. Уткин В.П., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Хершберг Л.Б. Структурно-динамические условия формирования гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 2. С. 3–14.
18. Gavrilo A.A. Ring morphostructures of the Pacific ocean floor // Regularities of the structures and evolution of exospheres // Proc. VII Int. Interdisciplinary sci. symp. and Int. geosci. prog. Vladivostok, 2005. P. 73–78.
19. Hein James R., Wong Florence L., Mosier Dan L. Bathymetry of the Republic of the Marshall Islands and Vicinity. 1999 (rev. 2007) <https://pubs.usgs.gov/mf/1999/2324/>
20. Koppers A.A.P., Staudigel H., Wijlbrans J.R., Pringle M.S. The Magellan seamount trail: implication for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion // Earth Planet. Sci. Lett. 1998. V. 163. P. 53–68.
21. S.I. Petukhov, V. M. Anokhin, M.E. Mel'nikov, V.G. Vdovin. Geodynamic features of the northwestern part of the Magellan Seamounts, Pacific Ocean // J. Geogr. Geol. 2015. V. 7, N 1. Publ. by Canadian Center of Sci. and Education. P. 35–45.

*Рекомендована к печати Ю.А. Мартыновым
после доработки 04.12.2019 г.
принята к печати 19.05.2020 г.*

S.I. Petukhov, V.M. Anokhin, M.E. Melnikov, T.E Sedysheva

Specific features of the geodynamic settings in the area of the southeastern link of the Magellan Mountains, Pacific Ocean

On the basis of a detailed bathymetric map of the area of the southeastern part of the Magellan Mountains constructed on the results of multi-beam echolocation, the authors performed a lineament analysis of the relief, distinguished linear relief objects, measured their azimuths, and built a rose-diagram of the direction of the area's lineaments. Models of the deep and near-surface deformation field of the area with the selection of blocks with the predominant stretching and the predominant compression are constructed. Along the lines of changing the sign of stress (block boundaries), block movements occur. The directions of the block boundaries are compared with the direction of the lineaments, and a conclusion is made about their spatial and genetic relationship. Systems of the direction of linear landforms and boundaries of deep and near-surface blocks partially correspond to four main systems of the global regmatic network indicating a significant influence of the latter on the structural plan of the area.

The redistribution of stress values is associated with modern geological processes that lead to the formation of new features of the bottom relief and partial destruction of the old guyot surfaces.

Key words: relief, guyot, block, stress model, tension, compression, deformation, Magellan Mountains, Pacific Ocean.